

คุณภาพเนื้อและการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อ
การสร้างไขมันแทรก กระบวนการเมแทบอลิซึม และการย่อยสลายโปรตีน
ในกล้ามเนื้อสันนอกของสุกรดูโรคพันธุ์แท้และสุกรลูกผสม

MEAT QUALITY AND EXPRESSION OF MUSCLE FIBER TYPES, INTRAMUSCULAR FAT
DEPOSITION, METABOLISM, AND PROTEIN DEGRADATION-RELATED GENES
IN *Longissimus dorsi* OF DUROC PUREBRED AND CROSSBRED PIGS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาครุศาสตร์เกษตร
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2566

KMITL-2023-ED-M-241-001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MEAT QUALITY AND EXPRESSION OF MUSCLE FIBER TYPES,
INTRAMUSCULAR FAT DEPOSITION, METABOLISM, AND PROTEIN
DEGRADATION-RELATED GENES IN *Longissimus dorsi*
OF DUROC PUREBRED AND CROSSBRED PIGS



WUTTIKORN BUAJOOM

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULEILLMENT
OF THHE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN AGRICULTURAL EDUCATION
SCHOOL OF INDUSTRIAL EDUCATION AND TECHNOLOGY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2023

KMITL-2023-ED-M-241-001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2023

SCHOOL OF INDUSTRIAL EDUCATION AND TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

คุณภาพเนื้อและการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับ
ชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อ การสร้างไขมันแทรก กระบวนการ
เมแทบอลิซึม และการย่อยสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อ
สันนอกของสุกรดุรอคพันธุ์แท้และสุกรลูกผสม

นักศึกษา

นายวุฒิกร บัวจุม

รหัสประจำตัว

60603073

ปริญญา

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต

สาขาวิชา

ครุศาสตร์เกษตร

พ.ศ.

2566

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

รองศาสตราจารย์ ดร.จันทร์พร เจ้าทรัพย์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

รองศาสตราจารย์ ดร.พรรณีภา ศิวะพิรุฬห์เทพ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณลักษณะของเนื้อและการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อ การสร้างไขมันแทรก ขบวนการเมตาบอลิซึมและการสลายตัวของโปรตีนในกล้ามเนื้อสันนอกของสุกรดุรอคพันธุ์แท้ สุกรลูกผสมสองสายและสุกรลูกผสมสามสายรวมทั้งหมด 5 กลุ่ม ได้แก่ 1) สุกรดุรอคพันธุ์แท้ (Duroc : D) 2) สุกรลูกผสม 2 สายพันธุ์จากแหล่งที่ 1 ลาร์จไวท์ (LW) x แลนด์เรซ (LR) (LWLR1) 3) สุกรลูกผสม 2 สายพันธุ์จากแหล่งที่ 2 ลาร์จไวท์ (LW) x แลนด์เรซ (LR) (LWLR2) 4) สุกรลูกผสม 3 สายพันธุ์ ดุรอค (D) x (ลาร์จไวท์ (LW) x แลนด์เรซ (LR) จากแหล่งที่ 1) (DLWLR1) และ 5) สุกรลูกผสม 3 สายพันธุ์ ดุรอค (D) x (ลาร์จไวท์ (LW) x แลนด์เรซ (LR) จากแหล่งที่ 2) (DLWLR2) ในแต่ละกลุ่มสุกรมีเพศผู้ 5 ตัว และสุกรเพศเมีย 5 ตัว ทำการเลี้ยงสุกรจากน้ำหนัก 20 กิโลกรัม และทำการฆ่าสุกรเมื่อน้ำหนัก 110 กิโลกรัม

ผลการวิจัยไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างพันธุ์และเพศต่อการแสดงออกของยีนที่ศึกษาทุกยีน การศึกษารังนี้พบว่ายีนที่เกี่ยวข้องกับกล้ามเนื้อชนิด MYHC IIB (26.91-67.27%) และ MYHC IIX (32.67-70.42%) มีปริมาณการแสดงออกของยีนสูงกว่า MYHC IIA (2.55-4.58%) และ MYHC I (0.12-1.28%) โดย MYHC IIB มีปริมาณการแสดงออกของยีนสูงสุดในสุกรลูกผสมสามสาย DLWLR1 และ สุกรลูกผสมสองสาย LWLR1 รองลงมาคือ DLWLR2 และ LWLR2 และต่ำที่สุดในสุกรพันธุ์แท้ D ซึ่งตรงกันข้ามกับปริมาณการแสดงออกของยีน MYHC IIX ที่พบว่าในสุกรพันธุ์แท้ D มีปริมาณสูงกว่ากลุ่มอื่น ($p < 0.01$) ในขณะที่ปริมาณการแสดงออกของยีน MYHC IIA และ MYHC I มีความแตกต่างระหว่างกลุ่มสุกรแต่มีปริมาณการแสดงออกของยีนที่ค่อนข้างน้อยจึงมีอิทธิพลต่อชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อน้อยด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาครั้งนี้ไม่พบอิทธิพลของพันธุ์และเพศต่อปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างไขมันแทรก แต่พบอิทธิพลร่วมของพันธุ์และเพศต่อปริมาณการแสดงออกของยีน PGM1 ($p < 0.05$) โดยพบว่าสุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ DLWLR1 เพศผู้ตอนมีการแสดงออกของยีน PGM1 สูงกว่าเพศเมีย และพบอิทธิพลของพันธุ์ต่อการแสดงออกของยีน TPI1 และ cGPD ($p < 0.05$) ซึ่งพบว่าสุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ DLWLR1 มีการแสดงออกของยีน TPI1 และ cGPD สูงที่สุด และพบว่าพันธุ์มีผลต่อปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของโปรตีนในกล้ามเนื้อสันนอกของสุกรโดยพบว่าสุกรลูกผสมสามสายโดยเฉพาะอย่างยิ่ง DLWLR2 มีปริมาณการแสดงออกของยีน CAPN1 และ CAPN2 สูงกว่าสุกรกลุ่มอื่น ($p < 0.05$) ส่วนยีน CAST มีการแสดงออกในสุกรลูกผสมสองสายพันธุ์ LWLR2 สูงที่สุด ($p < 0.05$)

การศึกษาครั้งนี้พบอิทธิพลร่วมระหว่างพันธุ์และเพศสุกรต่อค่า pH_{24} L^* และเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการปรุง ($p < 0.05$) โดยพบว่าสุกรลูกผสมสองสาย LWLR2 เพศเมียมีค่า pH_{24} สูงแต่มีค่า L^* ต่ำกว่าเพศผู้ตอน ในขณะที่สุกรลูกผสมสองสาย LWLR2 เพศผู้ตอนมีค่า pH_{24} ต่ำกว่าแต่มีค่า L^* สูงกว่าสุกรเพศเมีย แต่เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงพบว่าสุกรลูกผสมสองสาย LWLR1 เพศผู้ตอนมีค่าสูงกว่าสุกรเพศเมีย นอกจากนี้ยังพบอิทธิพลของพันธุ์ต่อค่า pH_{45} a^* และ b^* ($p < 0.01$) โดยพบว่าสุกรดुरอคพันธุ์แท้ D มีค่า pH_{45} ต่ำกว่ากลุ่มอื่น ในขณะที่ DLWLR2 และ LWLR2 มีค่า a^* และ b^* สูงกว่ากลุ่มอื่น ค่าแรงตัดผ่านเนื้อของสุกรดुरอคพันธุ์แท้ D มีค่าต่ำกว่าสุกรกลุ่มอื่น ทั้งยังพบว่าหลังการบ่ม 5 วันค่าแรงตัดผ่านเนื้อลดลงเพียงเล็กน้อย ในขณะที่ LWLR2 LWLR1 และ DLWLR2 มีค่าแรงตัดผ่านเนื้อสูงกว่าสุกรดुरอคพันธุ์แท้ และสุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ DLWLR1 ที่การบ่ม 1 วัน ($p < 0.01$) แต่พบว่าหลังการบ่ม 5 วันสุกรลูกผสมสองสายพันธุ์ LWLR1 มีค่าแรงตัดผ่านเนื้อสูงกว่าสุกรกลุ่มอื่น ($p > 0.05$)

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในกล้ามเนื้อสันนอกพบว่า สุกรลูกผสมสองสายพันธุ์ LWLR1 มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นสูงกว่าสุกรกลุ่มอื่น ($p < 0.05$) และสุกรกลุ่มที่มีปริมาณโปรตีนสูงจะมีปริมาณไขมันต่ำโดย LWLR1 มีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด ($p < 0.01$) แต่มีปริมาณไขมันในเนื้อต่ำที่สุด ($p < 0.01$)

Thesis Title	MEAT QUALITY AND EXPRESSION OF MUSCLE FIBER TYPES, INTRAMUSCULAR FAT DEPOSITION, METABOLISM, AND PROTEIN DEGRADATION-RELATED GENES IN <i>Longissimus dorsi</i> OF DUROC PUREBRED AND CROSSBRED PIGS
Student name	Mr. WUTIIKORN BUAJOOM
Student ID No.	60603073
Degree	Master of Science
Program	Agricultural Education
Academic Year	2023
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Chanporn Chaosap
Thesis Co-Advisor	Assoc. Prof. Dr. Panneepa Sivapirunthep

ABSTRACT

The aim of this study was to investigate meat characteristics and expression of genes related to muscle fiber types, intramuscular fat deposition, metabolism, and protein degradation in the longissimus dorsi (LD) of purebred Duroc pigs, two-way and three-way crosses. Five groups of pigs were studied: 1) purebred Duroc pigs (D), 2) two-way crosses (Large White x Landrace 1) (LWLR1), 3) two-way crosses (Large White x Landrace 2) (LWLR2), 4) three-way crosses (purebred Duroc pigs x (Large White x Landrace 1)) (DLWLR1), and 5) three-way crosses (purebred Duroc pigs x (Large White x Landrace 2)) (DLWLR2). Each group consisted of 5 gilts and 5 barrows. Each group of pigs was raised at an initial weight of 20 kg and slaughtered at approximately 110 kg.

The results showed that there was no interaction between breed and sex on the expression of all studied genes ($p > 0.05$). Among the genes related to muscle fiber type, the highest expression was MYHC II B (26.91-67.27%), followed by MYHC IIX (32.67-70.42%), MYHC IIA (2.55-4.58%) and MYHC I (0.12-1.28%). MYHC IIB had the highest gene expression in crossbred DLWLR1 pigs and LWLR1 pigs, followed by DLWLR2 and LWLR2, and the lowest in purebred D pigs. In contrast, the expression of MYHC IIX was higher in purebred D pigs than in the other groups ($p < 0.01$), whereas the

expression of the MYHC IIA and MYHC I genes differed between the pig groups, but the amount of gene expression was comparatively low.

In this study, there was no effect of breed and sex on the expression of genes involved in intramuscular fat deposition in muscle. The present study found a significant interaction between breed and sex on PGM1 gene expression ($p < 0.05$). Castrated male DLWLR1 crossbred pigs had higher PGM1 gene expression than females. The expression of TPI1 and cGPD genes was higher those in DLWLR1. However, pig breed was found to influence the expression of genes involved in protein degradation, with three-way crossbred pigs, particularly DLWLR2, having higher expression of CAPN1, CAPN2, and CAST genes than other groups of pigs ($p < 0.05$).

The present study found a significant interaction between breed and sex on pH_{24} , L^* , and % cooking loss ($p < 0.05$). Female DLWLR1 crossbred pigs had high pH_{24} but lower L^* than males. LWLR1 two-cross pigs had higher pH_{24} values but lower L^* values than female pigs. Percent cooking loss was also higher in male LWLR1 pigs than in female pigs. In addition, an influence of breeds on pH_{45} a^* and b^* ($p < 0.01$) was found, as D had lower pH_{45} than others, while DLWLR2 and LWLR2 had higher a^* and b^* than others.

Shear force of purebred Duroc pigs was lower than others ($p < 0.01$) and slightly decreased during 5-day ageing. Crossbred pigs DLWLR1 and LWLR1 had higher shear force than purebred Duroc pigs on the first day of ageing ($p < 0.01$), whereas LWLR2 LWLR1 and DLWLR2 had higher shear force than purebred Duroc pigs after 5 days of ageing than Duroc purebred. In contrast, LWLR1 had higher shear force than purebred Duroc pigs at both the first and fifth days of ageing ($p < 0.01$).

The results of the muscle chemical composition analysis of the LD muscle showed high moisture content in LWLR1 two-crosses, while LWLR1 two-crosses had high protein content ($p < 0.01$) but had low fat content ($p < 0.01$).

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ก็ด้วยความอนุเคราะห์จาก รศ.ดร.จันทร์พร เจ้าทรัพย์ และ รศ.ดร.พรรณนิภา ศิวะพิรุฬห์เทพ ที่ทุ่มเทและเสียสละทั้งร่างกาย แรงใจ ในการถ่ายทอดความรู้และประสบการณ์ รวมทั้งให้คำแนะนำ ช่วยเหลือและตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์ ผู้วิจัยซาบซึ้งในความกรุณา วิทยานิพนธ์เล่มนี้จะเสร็จสมบูรณ์ไม่ได้หากขาดคณะกรรมการทุกท่านที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ตรวจสอบ แก้ไข ข้อบกพร่อง จนถึงขั้นตอนสุดท้ายทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องสมบูรณ์ อีกทั้งนักวิทยาศาสตร์และนักวิชาการประจำภาคครุศาสตร์ เกษตร นายตรัส เคแสง ที่ดูแลและถ่ายทอดความรู้การใช้อุปกรณ์และเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ต่าง ๆ ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้ช่วยให้ผู้วิจัยได้เรียนรู้สิ่งต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาการศึกษา ขอขอบคุณที่ ๆ นื่อง ๆ ค.144 ที่ให้การช่วยเหลือตลอดจนเป็นกำลังใจในการปฏิบัติงาน และผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาและครอบครัวที่คอยให้กำลังใจ สนับสนุนในทุกด้าน อีกทั้งช่วยเหลือในเรื่องทุนทรัพย์ในการทำการศึกษาวิจัย จัดพิมพ์ หารูปเล่ม และอุปกรณ์ อื่น ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ ขาดมิได้ที่จะกล่าวขอบคุณนางสาวพัชรี เกตบางลาย นางสาวสุภาพร สิงหา และนางสาววิดา ฉิมสุนทร ที่คอยเป็นกัลยาณมิตรและช่วยเหลือผู้วิจัยตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอกล่าวขอบพระคุณทุกท่านที่ช่วยเหลือทั้งทางตรงและทางอ้อม คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่านด้วยความเคารพยิ่ง หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้วิจัย ขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

นายวุฒิกกร บัวจุม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญภาพ.....	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	4
1.3 สมมติฐานของการวิจัย.....	5
1.4 ขอบเขตในการวิจัย	5
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัย.....	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 พันธุ์สุกร	7
2.1.1 สุกรพันธุ์ลาร์จไวท์ (Large White)	7
2.1.2 สุกรพันธุ์แลนด์เรซ (Landrace).....	7
2.1.3 สุกรพันธุ์ดูโรค (Duroc).....	9
2.2 คุณภาพเนื้อ (meat quality)	9
2.2.1 สี (color).....	10
2.2.2 ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ (water holding capacity)	11
2.2.3 ไขมันแทรก (intramuscular fat หรือ marbling).....	11
2.2.4 อิทธิพลของพันธุ์สุกรต่อคุณภาพเนื้อ	12
2.3 ชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อ (muscle fiber type)	14
2.3.1 เส้นใยกล้ามเนื้อสีแดง (red fiber หรือ type I).....	14
2.3.2 เส้นใยกล้ามเนื้อสีชมพูแดง (intermediate type หรือ Type IIa).....	14
2.3.3 เส้นใยกล้ามเนื้อสีขาว (White fiber หรือ type IIb)	15

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 การจำแนกชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อ.....	15
2.4.1 การจำแนกชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อด้วยวิธี histochemistry	15
2.4.2 การจัดจำแนกด้วยชนิดของโปรตีน Myosin Heavy Chain (MYHC).....	16
2.4.3 อิทธิพลของพันธุกรรมต่อการแสดงออกของเส้นใยกล้ามเนื้อ	19
2.4.4 อิทธิพลของชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อต่อคุณภาพเนื้อ.....	20
2.5 ความสัมพันธ์ของยีนกับการสะสมไขมันแทรกในเนื้อสุกร.....	22
2.6 ความสัมพันธ์ของยีนกับการสลายพลังงานในกล้ามเนื้อ.....	25
2.7 เอนไซม์คาลเพน (calpain enzyme).....	28
2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเอนไซม์คาลเพนกับคุณภาพเนื้อ	28
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	30
3.1 สัตว์ทดลอง.....	30
3.2 การเก็บตัวอย่างเพื่อศึกษาการแสดงออกของยีน	30
3.3 การศึกษาปริมาณการแสดงออกของยีน	31
3.3.1 การสกัด RNA	31
3.3.2 การวัดความเข้มข้นของ RNA.....	31
3.3.3 การสลาย DNA (DNase step).....	31
3.4 การสังเคราะห์ complementary DNA (cDNA).....	32
3.5 การวิเคราะห์การแสดงออกของยีนด้วยเทคนิค Real-Time PCR.....	32
3.5.1 การเตรียม Standard Curve	32
3.5.2 การศึกษาการแสดงออกของยีนด้วยเทคนิค Real-Time PCR.....	33
3.6 การเก็บตัวอย่างเนื้อเพื่อศึกษาคุณภาพเนื้อ	33
3.6.1 การวัดค่าสีของเนื้อ (color)	34
3.6.2 การวัดค่าความเป็นกรดต่าง (pH).....	34
3.6.3 การวัดค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (Warner-Bratzler shear force ; WBSF) และเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงสุก (cooking loss) ตามวิธีของ Bocard et al. (1981)	34
3.6.4 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษา (drip loss) ตามวิธีที่แนะนำโดย Muhlisin et al. (2014).....	35

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.6.5 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อ.....	35
3.7 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	36
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์.....	39
4.1 การแสดงออกของยีนชนิดต่าง ๆ.....	39
4.1.1 อิทธิพลของพันธุ์สุกรและเพศของสุกรต่อการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับ ชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อ.....	39
4.1.2 อิทธิพลของพันธุ์สุกรและเพศของสุกรต่อการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับ การสังเคราะห์ไขมัน.....	39
4.1.3 อิทธิพลของพันธุ์สุกรและเพศของสุกรต่อการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับ กระบวนการเมแทบอลิซึมในกล้ามเนื้อ.....	40
4.1.4 อิทธิพลของพันธุ์และเพศของสุกรต่อการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับ การสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อ.....	41
4.2 อิทธิพลของพันธุ์และเพศของสุกรที่มีผลต่อคุณภาพเนื้อ.....	45
4.2.1 อิทธิพลของพันธุ์และเพศที่มีผลต่อค่า pH และสีของเนื้อ.....	45
4.1.2 อิทธิพลของพันธุ์และเพศที่มีผลต่อค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษา ค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงสุกและค่าแรงตัดผ่านของเนื้อ.....	47
4.2.3 อิทธิพลของพันธุ์และเพศของสุกรที่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของ กล้ามเนื้อสันนอก.....	48
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	51
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	51
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	52
5.2.1 ข้อเสนอแนะจากงานวิจัย.....	52
5.2.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป.....	52
บรรณานุกรม.....	53
ประวัติผู้เขียน.....	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติของเนื้อสุกรพันธุ์ Duroc Landrace และ Yorkshire.....	13
2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อสุกรพันธุ์ Duroc, Pietrain และสุกรลูกผสม	13
2.3 ร้อยละการแสดงออกของชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อที่จำแนกด้วยเทคนิค Histochemistry และการแสดงออกของ myosin heavy chain (MYHC) isoforms ที่ทดสอบด้วยเทคนิค real-time PCR และค่าความสัมพันธ์ระหว่างเส้นใยกล้ามเนื้อแต่ละชนิดที่จำแนกด้วย ATPase ที่ pH 4.6 และเทคนิค real-time RT-PCR.....	19
2.4 ร้อยละการแสดงออกของ myosin heavy chain isoforms (MYHC) ในสุกร 5 พันธุ์ ที่ศึกษาด้วยเทคนิค real-time PCR.....	20
2.5 ร้อยละการแสดงออกของ MYHC ของกล้ามเนื้อสันนอก (LD) และกล้ามเนื้อสันใน (Psoas.) ในสุกร 4 สายพันธุ์.....	21
2.6 ปริมาณของไขมันแทรกในสุกรแต่ละสายพันธุ์.....	24
3.1 แสดง primer ในการศึกษาการแสดงออกของยีนในกล้ามเนื้อสันนอกของสุกรดุรอคพันธุ์แท้และสุกรลูกผสมทางการค้า.....	37
4.1 อิทธิพลของพันธุ์สุกรและเพศต่อการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อ	43
4.2 อิทธิพลของพันธุ์สุกรและเพศต่อการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ไขมัน.....	43
4.3 อิทธิพลของพันธุ์สุกรและเพศต่อการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเมตาบอลิซึมในกล้ามเนื้อ	44
4.4 อิทธิพลของพันธุ์สุกรและเพศต่อการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อ.....	44
4.5 อิทธิพลของพันธุ์สุกรและเพศต่อลักษณะทางกายภาพของกล้ามเนื้อสันนอก.....	49
4.6 อิทธิพลของพันธุ์สุกรและเพศต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ และค่าแรงตัดผ่านของเนื้อ	49
4.7 อิทธิพลของพันธุ์สุกรและเพศต่อองค์ประกอบทางเคมีของกล้ามเนื้อสันนอก.....	50

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 สุกอร์พันธุ์ลาร์จไวท์.....	8
2.2 สุกอร์พันธุ์แลนด์เรซ	8
2.3 สุกอร์พันธุ์คูรีอค	9
2.4 การจับออกซิเจนของธาตุเหล็กในไมโอโกลบิน.....	10
2.5 การจำแนกชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อด้วยวิธี Histochemistry หลังจากการ acid pre-incubation ที่ pH 4.35 ของกล้ามเนื้อสันนอก (longissimus muscle) ของสุกอร์พันธุ์ Large White ซึ่งเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด type I จะมีสีดำ type IIa จะมีสีขา และ type IIb จะมีสีเทา.....	17
2.6 การจำแนกชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อตามความแตกต่างกันของเอนไซม์ succinate dehydrogenase (SDH) โดยเส้นใยกล้ามเนื้อ slow oxidative (SO) จะมีสีเข้ม เส้นใย fast oxido-glycolytic (FOG) จะมีสีจางกว่า SO ส่วนเส้นใย fast glycolytic (FG) จะมีสีจางที่สุด.....	17
2.7 ยีน โปรตีน และการแสดงออกของเส้นใยกล้ามเนื้อในกล้ามเนื้อโครงร่างของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม.....	18
2.8 การจำแนกชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อตามการทำงานของเอนไซม์ ATPase ด้วยวิธี histochemistry โดยการบ่มที่ pH 4.6 สามารถจำแนกเส้นใยกล้ามเนื้อตามชนิดของ MYHC ได้เป็น 3 ชนิด ได้แก่ MYHC I MYHC IIA และ MYHC IIX+IIB.....	18
2.9 ปริมาณการแสดงออกของ myosin heavy chain (MYHC) isoform (I, IIA, IIX, และ IIB) ในเนื้อสันที่มีหน้าตัดขนาดใหญ่และขนาดเล็กของสุกอร์.....	21
2.10 ปริมาณการแสดงออกของยีน A-FABP ในเนื้อเยื่อไขมันใต้ผิวหนัง (subcutaneous adipose tissue ; SAT) เนื้อเยื่อไขมันช่องท้อง (ventral adipose tissue ; VAT) และ เนื้อเยื่อไขมันบนเยื่อแขวนลำไส้ (mesenteric adipose tissue ; MAT) ของสุกอร์ที่น้ำหนักต่างกัน.....	23
2.11 โครงสร้างและการทำงานของ PPARs และ FABP.....	24
2.12 การแสดงออกของยีน PPAR γ ของสุกอร์พันธุ์ Laiwu Black (LW), Lulai Black (LL), Large White (LY).....	24
2.13 กระบวนการสลายพลังงาน (glycolysis) และกระบวนการสังเคราะห์กลูโคส (glucogenesis)	26

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.14 การเปลี่ยน dihydroxyacetone phosphate (DHAP) ให้เป็น glycerol 3-phosphate ด้วยเอนไซม์ cytosolic glycerol-3-phosphate dehydrogenase (cGPD)	27
2.15 การแสดงออกของยีน 7 ชนิด ของสุกรพันธุ์ Meishan และ Large White ซึ่งทดสอบด้วยวิธี realtime-PCR	27
2.16 การทำงานของเอนไซม์คาลเพน (calpain activities) และ calpastatin ที่เป็นตัวขัดขวางการทำงานของเอนไซม์คาลเพน	29
3.1 แสดงการจัดสุกรพันธุ์แท้และสุกรลูกผสมพันธุ์ดรอคที่ใช้ในการทดลอง	30
4.1 อิทธิพลร่วมระหว่างเพศและพันธุ์ของสุกรต่อการแสดงออกของยีน PGM1	42
4.2 อิทธิพลร่วมระหว่างเพศและพันธุ์ของสุกรต่อค่า pH ₂₄	46
4.3 อิทธิพลร่วมระหว่างเพศและพันธุ์ของสุกรต่อค่า L*	46
4.4 อิทธิพลร่วมระหว่างเพศและพันธุ์ของสุกรต่อค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงสุกของเนื้อที่บ่ม 1 วัน (CL1)	47

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื้อสุกรเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญ มีแร่ธาตุ วิตามินและไขมันที่เหมาะสมแก่การบริโภคของมนุษย์ กระบวนการผลิตและการปรับปรุงพันธุ์สุกรจึงมีส่วนช่วยทำให้เกิดการเพิ่มศักยภาพในการผลิตให้สูงขึ้น โดยผ่านกระบวนการให้อาหารและการคัดเลือกทางพันธุกรรม (Li et al., 2013) ในการผลิตสุกรในระดับอุตสาหกรรมแต่เดิมมุ่งเน้นการผลิตสุกรที่มีปริมาณของเนื้อแดงในซากมาก จึงจำเป็นที่จะต้องอาศัยการคัดเลือกทางพันธุกรรม ซึ่งทำให้ปริมาณเนื้อแดงในซากเพิ่มขึ้นและไขมันในซากลดลง (Jiang et al., 2012) แต่ในปัจจุบันการผลิตสุกรมุ่งเน้นการผลิตสุกรที่มีคุณภาพเนื้อดี คือ มีไขมันแทรกในเนื้อสูง เนื่องจากไขมันแทรกมีอิทธิพลต่อคุณภาพเนื้อ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องของความนุ่มของเนื้อและความชุ่มฉ่ำของเนื้อ (Li et al., 2013; Newcom et al., 2004) จากงานวิจัยจำนวนมากรายงานว่าพันธุ์ของสุกรมีอิทธิพลต่อคุณภาพเนื้อ โดยเฉพาะสุกรพันธุ์ Duroc ที่นิยมนำมาใช้เป็นพ่อพันธุ์ของสุกรลูกผสมทางการค้า เนื่องจากเป็นสุกรที่มีปริมาณของไขมันแทรกในเนื้อสูงทำให้เนื้อสุกรมีความนุ่มหลังการปรุงสุก (Jeleníková et al., 2008)

การจำแนกชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อในสัตว์สามารถจำแนกได้โดยอาศัยคุณสมบัติที่แตกต่างกันในการยึดหดตัวของเส้นใยกล้ามเนื้อแต่ละชนิด เดิมการจำแนกชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้ออาศัยวิธี histochemistry ที่จำแนกชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อตามคุณสมบัติในการยึดหดตัว โดยสามารถจำแนกเส้นใยกล้ามเนื้อออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ type I (slow twitch oxidative fiber), IIa (fast twitch oxidative fiber) และ IIb (fast twitch glycolytic fiber) ซึ่งเรียงลำดับตามความเร็วในการยึดหดตัวจากน้อยไปมาก (Karlsson et al., 1999; Lefaucheur and Gerrard, 2000) แต่เนื่องจากวิธี histochemistry นั้นใช้เวลานานในการศึกษาจึงมีการนำวิธีการอื่นมาใช้ในการจำแนกชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อ จากการศึกษพบว่า ภายในกล้ามเนื้อพบโปรตีนไมโอซิน (myosin) ในปริมาณมากที่สุดจึงมีการจำแนกชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อตามชนิดของไมโอซิน โดยโครงสร้างของเส้นใยไมโอซินประกอบด้วย myosin heavy chain (MYHC) และ myosin light chain (MYLC) โดยความเร็วในการยึดหดตัวของเส้นใยกล้ามเนื้อขึ้นอยู่กับชนิดของ MYHC โดยพบว่าในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมสามารถพบ MYHC จำนวน 4 รูปแบบ (isoform) ได้แก่ MYHC I, MYHC IIA, MYHC IIX และ MYHC IIB ซึ่งเรียงลำดับตามความเร็วในการยึดหดตัวจากน้อยไปมาก การจำแนกโปรตีน MYHC แต่ละรูปแบบสามารถจำแนกโดยใช้วิธี electrophoresis (Oury et al., 2010) ในการสังเคราะห์โปรตีน MYHC นั้นเกิดขึ้นจากการถอดรหัสพันธุกรรมจากกลุ่มยีน MYHC จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานการศึกษาปริมาณการแสดงออกของยีน MYHC ด้วยเทคนิค real-time PCR ในเนื้อสุกร พบความสัมพันธ์เชิงบวกของการแสดงออกของเส้นใยกล้ามเนื้อที่จำแนกด้วยวิธี histochemistry และเทคนิค real-time PCR (Wimmers et al., 2008) มีรายงานผลการวิจัยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพเนื้อกับชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อ โดย Ryu and Kim (2005) รายงานว่าเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด type I มีค่าสหสัมพันธ์เชิงลบกับค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษา (drip loss) และการสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงสุก (cooking loss) และค่าความสว่าง (lightness) ของสีเนื้อ ในขณะที่กล้ามเนื้อที่มีปริมาณเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด type IIb จะมีค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษาสูงกว่า เนื่องจากมีค่า pH ที่ต่ำกว่านั่นเอง สำหรับปริมาณไขมันแทรก (intramuscular fat) เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อคุณภาพเนื้อ โดย Renand et al., (2001) รายงานค่าสหสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างปริมาณไขมันแทรกและความนุ่มของเนื้อ ซึ่ง Calkins et al., (1981) พบว่าเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด type I มีค่าสหสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณไขมันแทรก จึงทำให้ชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อมีอิทธิพลต่อคุณภาพเนื้ออย่างยิ่ง

คุณภาพเนื้อสุกรสามารถประเมินโดยอาศัยคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของกล้ามเนื้อ (Lee et al., 2012) ซึ่งคุณสมบัติของเนื้อและการยอมรับของผู้บริโภคมักมีผลต่อการเลือกซื้อของผู้บริโภค ในการวัดคุณภาพของเนื้อโดยอาศัยวิธีการทางวิทยาศาสตร์ประกอบไปด้วยการวัดค่าสีของเนื้อ (meat color) ค่าความอุ้มน้ำของเนื้อ (Water holding capacity : WHC) และเนื้อสัมผัส (texture) ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นผลจากกระบวนการทางชีวภาพของเนื้อที่เกิดขึ้นภายหลังสัตว์ตาย (Van Der Wal et al., 1997) จากการศึกษาของ Jelenikova (2008) พบว่า สายพันธุ์ของสุกรมีอิทธิพลต่อความนุ่มของเนื้อสุกรหลังการปรุงสุก ซึ่งสุกรพันธุ์ Duroc มีความนุ่มของเนื้อที่ดีกว่าสุกรพันธุ์ Large white และ Landrace และยังพบว่าความนุ่มของเนื้อมีความสัมพันธ์กับปริมาณไขมันแทรก และค่า pH ในเนื้อ เนื่องจากเนื้อสุกรที่มีไขมันแทรกสูงจะมีค่าแรงตึงผ่านเนื้อต่ำ และมีค่า pH ที่ 45 นาที (pH_{45}) ภายหลังสัตว์ตายสูง ซึ่งสอดคล้องกับ Li et al. (2013) ที่รายงานว่าเพศและพันธุ์ของสุกรมีอิทธิพลต่อคุณภาพเนื้อโดยมีความสัมพันธ์กับค่า pH ที่ 24 ชั่วโมง (pH_{24}) ซึ่งสุกร Duroc มีค่า pH_{24} สูงและมีผลการประเมินคะแนนไขมันแทรกที่สูงกว่าสุกรพันธุ์ Landrace และ Yorkshire ในการประเมินคุณภาพเนื้อในด้านความนุ่มพบว่ามีอิทธิพลมาจากปริมาณของไขมันแทรก (intramuscular fat) จากการศึกษาของ Wu et al. (2015) ที่ทำการศึกษสุกรพันธุ์พื้นเมือง พบว่า สุกรพันธุ์พื้นเมืองประเภทมัน (fat type) ที่มีการสะสมไขมันมากและมีปริมาณไขมันแทรกที่สูงจะพบการแสดงออกของยีน peroxisome proliferator-activated receptors gamma (PPAR γ) และ adipocyte fatty acid-binding protein gene (A-FABP) สูงตามไปด้วย

ในกระบวนการสลายกลูโคส (glycolysis) เพื่อให้ได้พลังงาน พบเอนไซม์ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ได้แก่

เอนไซม์ Triosephosphate isomerase (TPI) เอนไซม์ Phosphoglucosmutase (PGM) และ เอนไซม์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

cytosolic glycerol-3-phosphate dehydrogenase (cGPD) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงปริมาณของเอนไซม์ข้างต้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของสารที่ก่อให้เกิดพลังงานและมีความสัมพันธ์มากต่อการเจริญเติบโตของกล้ามเนื้อ เอนไซม์ TPI จัดเป็นเอนไซม์ที่มีความจำเพาะต่อการกระตุ้นการเปลี่ยนแปลงระหว่าง dihydroxyacetone phosphate และ d-glyceraldehyde-3-phosphate ใน เซลล์ และ เนื้อเยื่อ ของ สิ่งมีชีวิต (Hollán et al., 1995; Xu et al., 2009) ส่วนเอนไซม์ PGM มีหน้าที่ในการเปลี่ยนแปลง glucose-1-phosphate ให้กลายเป็น glucose-6-phosphate ซึ่งทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของปฏิกิริยา phosphorylation ภายในเซลล์ และพบว่าในกล้ามเนื้อที่มีเอนไซม์ PGM สูงจะมีการแสดงออกของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด type I ต่ำ (Hemmer et al., 1993) เอนไซม์ cGPD พบในของเหลวภายในเซลล์ (cytosol) มีความสำคัญต่อปฏิกิริยา oxidation ในกระบวนการ glycolysis ซึ่ง glycerol-3-phosphate dehydrogenase (GPD) ทำหน้าที่ขนส่งและกระตุ้นการเปลี่ยนแปลง dihydroxyacetone phosphate ให้กลายเป็น glycerol-3-phosphate ที่จะนำไปสร้างเป็นไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) (Fell and Small, 1986) cGPD จึงถูกนำมาใช้เป็นตัวบ่งชี้อัตราการสังเคราะห์ไขมัน (adipogenesis) (Salazar-Olivo et al., 1995) ซึ่งเอนไซม์ TPI สังเคราะห์ขึ้นจากยีน TPI1 เอนไซม์ PGM สังเคราะห์ขึ้นจากยีน PGM1 และเอนไซม์ cGPD สังเคราะห์ขึ้นจากยีน cGPD จากการศึกษาของ Xu et al. (2009) รายงานว่า ในสุกรพันธุ์ Large White มีการแสดงออกของเอนไซม์ PGM1 และ TPI1 สูงกว่าสุกรพันธุ์ Meishan การที่สุกรมีเอนไซม์ PGM1 และ TPI1 ที่สูงสามารถระบุได้ว่าเนื้อสุกรจะมีความสามารถในการสลายพลังงานในรูปแบบ glycolytic metabolism โดยมีการใช้พลังงานจากโคชนะกลุ่มคาร์โบไฮเดรตมากกว่าไขมัน ทำให้สุกรมีการสะสมไกลโคเจนในเนื้อมากและมีเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด glycolytic (type IIb) ในสุกรพันธุ์ Meishan พบเอนไซม์ cGPD ที่สูงกว่าทำให้มีความสามารถในการสะสมไขมันและสร้างไขมันแทรกได้ดี

คุณภาพเนื้อของสุกรมีอิทธิพลมาจากพันธุ์สุกร อาหาร ชนิดของกล้ามเนื้อ โภชนาในอาหาร และเอนไซม์ที่ย่อยสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อ ซึ่งเอนไซม์ที่มีความเกี่ยวข้องกับการย่อยสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อคือ เอนไซม์คาลเพน (calpains enzyme) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ต้องการแคลเซียม (calcium-dependent proteinases) ที่อยู่ในรูปประจุ (Ca^{2+}) มาเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการทำงาน (Koochmaraie, 1994) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำงานได้ดีในเนื้อที่มีสภาวะค่า pH ที่ 6.0-7.0 โดยพบว่ามี calpastatin เป็นตัวยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ calpain โดยเอนไซม์กลุ่มนี้ประกอบด้วยเอนไซม์สำคัญ 2 ชนิด คือ calpain I หรือ μ -calpain และ calpain II หรือ m-calpain เอนไซม์ calpain I เป็นเอนไซม์ที่สังเคราะห์ขึ้นจากยีน CAPN1 และเอนไซม์ calpain II สังเคราะห์ขึ้นจากยีน CAPN2 ส่วน calpastatin สังเคราะห์ขึ้นจากยีน CAST (Gandolfi, 2011) จากการศึกษา พบว่า ในการผลิตสุกรลูกผสมที่มีคุณภาพเนื้อที่ดี สุกรลูกผสม 3 สายพันธุ์มีคุณภาพเนื้อที่ดีกว่าสุกรพันธุ์แท้และสุกรลูกผสมสองสายพันธุ์ (Nelson and Robison, 1976) Wang et al. (2015) รายงานว่า สุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ (Duroc x Landrace x Yorkshire) มีการแสดงออกของยีน CAPN1 และกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ calpain I สูงกว่าสุกรพันธุ์ Meishan อย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งการศึกษาการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อยังมีการศึกษาจำนวนน้อย จึงเป็นที่น่าสนใจในการศึกษาเพื่อทราบถึงอิทธิพลต่าง ๆ ที่มีผลต่อการแสดงออกของยีน

ปัจจุบันในการผลิตสุกรขุนนิยมใช้สุกรลูกผสมสามสายพันธุ์เนื่องจากจะมีพันธุกรรมที่ดีจากทั้งสายพ่อและสายแม่ โดยสายพ่อที่นิยมใช้ คือ สุกรดรูคคัพพันธุ์แท้ เนื่องจากเป็นสุกรที่มีการเจริญเติบโตและคุณภาพเนื้อที่ดี ส่วนสายแม่นิยมใช้สุกรลูกผสมสองสายพันธุ์ คือ สุกรพันธุ์ Large White และ Landrace เนื่องจากมีความสามารถในการให้ลูกต่อครอกสูง มีลำตัวยาวทำให้มีคุณภาพซากดี และมีการเจริญเติบโตเร็ว ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้ต้องการศึกษาอิทธิพลของสายพันธุ์สุกรทั้งสายพ่อและสายแม่ต่อคุณลักษณะของเนื้อและปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะของเนื้อในการศึกษาครั้งนี้จะทำการศึกษาโดยใช้สุกรดรูคคัพพันธุ์แท้ที่เกิดจากพ่อสุกรดรูคคัพที่คาดว่าจะนำมาเป็นพ่อพันธุ์สุดท้ายในการผลิตสุกรขุนที่เป็นลูกผสมสามสายพันธุ์ และทำการศึกษาในสุกรลูกผสมสองสายพันธุ์ Large White และ Landrace ที่คาดว่าจะนำมาใช้เป็นสายแม่สำหรับผลิตสุกรลูกผสมสามสายพันธุ์จำนวน 2 กลุ่ม คือ LWLR1 และ LWLR2 นอกจากนี้ยังทำการศึกษาในสุกรลูกผสมสามสายพันธุ์อีกสองกลุ่ม ที่เกิดจากพ่อพันธุ์ดรูคคัพที่ผสมพันธุ์กับสุกรลูกผสมสองสายพันธุ์ทั้งสองกลุ่มที่กล่าวมาข้างต้น เพื่อศึกษาคุณลักษณะของเนื้อที่จะถ่ายทอดจากสุกรสายพ่อและสายแม่พันธุ์มายังสุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ที่จะนำไปผลิตเป็นสุกรขุนต่อไป ซึ่งข้อมูลที่ได้คาดว่าจะมีประโยชน์ในการคัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์สุกรที่จะนำไปผลิตสุกรขุนที่เป็นสุกรลูกผสมทางการค้าต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

การศึกษานี้ทำการศึกษาในสุกร 5 กลุ่ม คือ สุกรดรูคคัพพันธุ์แท้ 1 กลุ่ม สุกรลูกผสมสองสาย 2 กลุ่ม (LWLR1 และ LWLR2) และสุกรลูกผสมสามสาย 2 กลุ่ม (DLWLR1 และ DLWLR2) โดยมีวัตถุประสงค์ ดังนี้

1.2.1 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบคุณภาพเนื้อ ได้แก่ สีของเนื้อ ค่าความเป็นกรดต่าง ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ ค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษา ค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงสุก ความชื้น ปริมาณไขมัน และปริมาณโปรตีนในกล้ามเนื้อสันนอกของสุกรทั้ง 5 กลุ่ม

1.2.2 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อ การสร้างไขมันแทรก กระบวนการเมแทบอลิซึมและการย่อยสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อสันนอก คือ MYHC isoform, PPAR γ , A-FABP, cGPD, PGM1, TPI1, CAPN1, CAPN2 และ CAST ของสุกรทั้ง 5 กลุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

คุณภาพเนื้อ ได้แก่ ปริมาณไขมัน ปริมาณโปรตีน ค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษา การสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงสุก ค่าความเป็นกรดต่าง สีและค่าแรงตัดผ่านเนื้อ และปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อ (MYHC isoform) การสร้างไขมันแทรก (PARY และ A-FABP) กระบวนการเมแทบอลิซึม (cGPD, PGM1 และ TPI1) และการย่อยสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อสันนอก (CAPN1, CAPN2 และ CAST) ในกล้ามเนื้อสันนอกของสุกรดุรอคพันธุ์แท้และสุกรลูกผสมมีความแตกต่างกัน

1.4 ขอบเขตในการวิจัย

ศึกษาและเปรียบเทียบคุณภาพเนื้อ ได้แก่ ปริมาณไขมัน ปริมาณโปรตีน ค่าการสูญเสียน้ำของเนื้อ การสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงสุก ค่าความเป็นกรดต่าง สีและค่าแรงตัดผ่านเนื้อ และการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อ (MYHC isoform) การสร้างไขมันแทรก (PARY และ A-FABP) กระบวนการเมแทบอลิซึม (cGPD, PGM1 และ TPI1) และการย่อยสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อสันนอก (CAPN1, CAPN2 และ CAST) ของสุกรดุรอคพันธุ์แท้และสุกรลูกผสมทางการค้า ทำการศึกษาจากสุกรทั้งหมด 5 กลุ่ม ได้แก่ 1) สุกรดุรอคพันธุ์แท้ (D), 2) สุกรลูกผสมสองสายพันธุ์จากแหล่งที่ 1 [ลาร์จไวท์ (LW) × แลนด์เลซ (LR)] (LWLR1) 3) สุกรลูกผสมสองสายพันธุ์จากแหล่งที่ 2 [ลาร์จไวท์ (LW) × แลนด์เลซ (LR)] (LWLR2) 4) สุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ [D × (ลาร์จไวท์ (LW) × แลนด์เลซ (LR) จากแหล่งที่ 1)] (DLWLR1) และ 5) สุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ [D × (ลาร์จไวท์ (LW) × แลนด์เลซ (LR) จากแหล่งที่ 2)] (DLWLR2) ในแต่ละกลุ่มมีสุกร 10 ตัว แบ่งเป็นสุกรเพศผู้ 5 ตัว และสุกรเพศเมีย 5 ตัว รวมทั้งหมด 50 ตัว ทำการเลี้ยงสุกรจากน้ำหนักเริ่มต้นประมาณ 20 กิโลกรัม โดยที่สุกรทุกกลุ่มได้รับอาหารเหมือนกัน และทำการฆ่าสุกรเมื่อน้ำหนักประมาณ 110 กิโลกรัม ณ โรงฆ่าบริษัท เบทาโกร เซฟตี้มีท แพคกิ้ง จำกัด จังหวัดลพบุรี

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัย

1.5.1 MYHC isoform หมายถึง รูปแบบของโปรตีนไมโอซินเฮฟวีเชน (Myosin Heavy Chain) ที่จำแนกตามความเร็วในการยึดหดตัวของเส้นใยกล้ามเนื้อ ซึ่งแบ่งเป็น 4 ชนิด ได้แก่ MYHC I MYHC IIA MYHC IIX และ MYHC IIB ตามลำดับของความเร็วในการยึดหดตัวจากน้อยไปมาก

1.5.2 PPAR γ หมายถึง ยีน Peroxisome Proliferator-Activated Receptors ชนิด gamma ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเอนไซม์ Peroxisome Proliferator-Activated Receptors ที่มีหน้าที่รับกรดไขมันอิสระจากเอนไซม์ FABP ภายในนิวเคลียส เพื่อทำการสังเคราะห์ไขมัน

1.5.3 A-FABP หมายถึง ยีน adipocyte fatty acid-binding protein gene ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเอนไซม์ adipocyte fatty acid-binding protein gene พบในเซลล์ไขมัน (adipocyte) ซึ่งทำหน้าที่ในการดักจับกรดไขมันเพื่อส่งให้กับเอนไซม์ PPAR ภายในนิวเคลียสเพื่อทำการสังเคราะห์ไขมัน

1.5.4 cGPD หมายถึง ยีน cytosolic glycerol-3-phosphate dehydrogenase ที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการสร้างเอนไซม์ cytosolic glycerol-3-phosphate dehydrogenase ซึ่งมีหน้าที่ในการเร่งปฏิกิริยาในการเปลี่ยน dihydroxyacetone phosphate ให้เป็น glycerol-3-phosphate ในกระบวนการ glycolysis

1.5.5 PGM1 หมายถึง ยีน Phosphoglucomutase-1 ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเอนไซม์ Phosphoglucomutase ที่มีความเกี่ยวข้องกับการบวนการ glycolysis ที่มีหน้าที่ในการกระตุ้นการเปลี่ยนแปลงของ glucose-1-phosphate และ glucose-6-phosphate ซึ่งทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของปฏิกิริยา phosphorylation ภายในเซลล์กล้ามเนื้อ

1.5.6 TPI1 หมายถึง ยีน Triosephosphate isomerase-1 ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเอนไซม์ Triosephosphate isomerase ซึ่งจัดเป็นเอนไซม์ที่มีความจำเป็นต่อการกระตุ้นการเปลี่ยนแปลงระหว่าง dihydroxyacetone phosphate กับ d-glyceraldehyde 3-phosphate ในเซลล์และเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต

1.5.7 CAPN1 หมายถึง ยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเอนไซม์ calpain I ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ต้องการความเข้มข้นของแคลเซียมมาเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการทำงานในระดับ 10 ไมโครโมล มีบทบาทในการย่อยสลายโปรตีนไมโอไฟบิลลารีในกล้ามเนื้อภายหลังสัตว์ตาย

1.5.8 CAPN2 หมายถึง ยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเอนไซม์ calpain II ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ต้องการความเข้มข้นของแคลเซียมมาเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการทำงานในระดับ 200-300 ไมโครโมล มีบทบาทในการย่อยสลายโปรตีนไมโอไฟบิลลารีในกล้ามเนื้อภายหลังสัตว์ตาย

1.5.9 CAST หมายถึง ยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเอนไซม์ calpastatin ซึ่งเป็นตัวยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ calpain

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พันธุ์สุกร

ปัจจัยแรกที่มีความสำคัญต่อการผลิตสุกร คือ พันธุ์สุกร เนื่องจากพันธุ์สุกรเป็นตัวกำหนดผลผลิตของสุกร เช่น อัตราการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประสิทธิภาพในการสืบพันธุ์ การปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อม คุณภาพซาก และคุณภาพเนื้อ ซึ่งสิ่งเหล่านี้มีผลต่อต้นทุนในการเลี้ยง และราคาของสุกร เป็นผลทำให้ผู้เลี้ยงจะได้รับผลตอบแทนมากหรือน้อยต่างกัน (สุวรรณ, มปป.) การเลี้ยงสุกรในประเทศไทยได้มีการนำเข้าสุกรพันธุ์ต่าง ๆ เพื่อนำมาเลี้ยงและใช้ในการปรับปรุงพันธุ์แต่พันธุ์สุกรทางการค้าที่ได้รับความนิยม ได้แก่

2.1.1 สุกรพันธุ์ลาร์จไวท์ (Large White)

เป็นสุกรที่เกิดจากการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างสุกรพันธุ์ไลเคสเตอร์ เป็นสุกรพันธุ์สีขาว ผสมพันธุ์กับสุกรพันธุ์ยอร์กเชียร์ เป็นสุกรพันธุ์พื้นเมืองของเมืองยอร์กเชียร์ ประเทศอังกฤษ สุกรพันธุ์ลาร์จไวท์จัดเป็นพันธุ์สุกรที่ดีและนิยมเลี้ยงกันมากที่สุดพันธุ์หนึ่งในหลาย ๆ ประเทศ มีลักษณะประจำพันธุ์ที่สำคัญคือ ลำตัวสีขาว ใบหูตั้ง ลำตัวยาว หลังตรง บริเวณเอวแคบ ช่วงไหล่หนาและแข็งแรง มีขาที่แข็งแรง หางยาว มีใบหน้าคล้ายจาน หัวโตปานกลาง มีคุณภาพซากดี ขนาดรูปร่างของสุกรพันธุ์นี้มีขนาดใหญ่ เลี้ยงง่ายสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อม และสภาพภูมิอากาศของไทยได้เป็นอย่างดี ตัวเมียสามารถให้ลูกได้ครอกละประมาณ 9-10 ตัว มีความสามารถในการเลี้ยงลูกดี ให้ลูกได้ถึง 8-10 ครอก เป็นสุกรพันธุ์ที่มีอัตราการเจริญเติบโตเร็ว มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อสูง อัตราการเจริญเติบโตต่อวันเฉลี่ย 0.7 กิโลกรัมต่อวัน ลักษณะของซากเมื่อทำการชำแหละมีปริมาณเนื้อแดงมาก มันน้อย มันใต้ผิวหนังน้อยมีเนื้อปนมันหรือเนื้อสามชั้นพอเหมาะ จากคุณสมบัติข้างต้นสามารถบ่งบอกได้ว่าสุกรพันธุ์ลาร์จไวท์เหมาะสำหรับการนำมาใช้เป็นพ่อและแม่พันธุ์ในการผลิตสุกรลูกผสมเพื่อใช้เป็นสุกรขุนส่งตลาด (สำนักพัฒนาพันธุ์สัตว์ กรมปศุสัตว์, 2020)

2.1.2 สุกรพันธุ์แลนด์เรซ (Landrace)

เป็นสุกรลูกผสมที่เกิดจากสุกรพันธุ์ลาร์จไวท์กับสุกรพันธุ์พื้นเมืองประเทศเดนมาร์ก และได้คัดเลือกพันธุ์เพื่อปรับปรุงให้กลายเป็นสุกรพันธุ์แท้ จัดเป็นสุกรที่มีชื่อเสียงด้านการเจริญเติบโต คุณภาพซาก และเป็นที่ยอมรับในการเลี้ยงในหลายประเทศเช่นเดียวกับสุกรพันธุ์ลาร์จไวท์ ลักษณะประจำพันธุ์ที่สำคัญคือ มีลำตัวสีขาว หูปรก มีจมูกยาว ลำตัวยาว หลังตรง สะโพกกลมหนา มีหัวขนาดเล็ก และใบหน้าที่แคบ ขาสั้นค่อนข้างอ่อน คุณสมบัติในการให้เนื้อดี จุดเด่นคือ มีลำตัวที่ยาวกว่าสุกรพันธุ์อื่น เนื่องจากมีซี่โครงมากกว่าสุกรพันธุ์อื่น 1-2 คู่ ตัวเมียให้ลูกดกพอสมควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณครอกละ 10-12 ตัว ความสามารถในการเลี้ยงลูกดี ข้อเสียของสุกรพันธุ์นี้ คือ กระจุกขา ค่อนข้างเล็กทำให้มีปัญหาเกี่ยวกับขาหรือข้อเท้าอ่อนอยู่เสมอ สุกรพันธุ์แลนด์เรชมีการเจริญเติบโตเร็ว ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนอาหารดี และมีคุณภาพซากที่ดี คือ มีปริมาณเนื้อแดงมาก ปริมาณไขมันน้อย สุกรพันธุ์นี้สามารถใช้เป็นทั้งพ่อและแม่พันธุ์ในการผลิตสุกรลูกผสม แต่โดยทั่วไปความนิยมของเกษตรกรใช้เป็นแม่พันธุ์มากกว่าเนื่องจากมีลำตัวยาวทำให้มีจำนวนเต้านมเยาะสามารถให้นมลูกได้ดี (สำนักพัฒนาพันธุ์สัตว์ กรมปศุสัตว์, 2020)



ภาพที่ 2.1 สุกรพันธุ์ลาร์จไวท์

ที่มา : สำนักพัฒนาพันธุ์สัตว์ กรมปศุสัตว์ (2020)



ภาพที่ 2.2 สุกรพันธุ์แลนด์เรช

ที่มา : สำนักพัฒนาพันธุ์สัตว์ กรมปศุสัตว์ (2020)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 สุกรพันธุ์ดูโรค (Duroc)

เป็นสุกรพันธุ์พื้นเมืองของประเทศสหรัฐอเมริกา มีลำตัวสีแดง ต่อมาได้มีการคัดเลือกพันธุ์ และปรับปรุงขึ้นที่รัฐนิวยอร์กและรัฐนิวเจอร์ซีย์ ลักษณะประจำพันธุ์ที่สำคัญคือ ลำตัวสีแดงหรือสีแดงเข้ม ใบหูเล็กกึ่งตั้งกึ่งปรก ลำตัวสั้น สันหลังโค้งหนา ใบหน้าสั้น ให้ปริมาณไขมันมากกว่าสุกรพันธุ์ลาร์จไวท์ มีสะโพกกลมใหญ่เด่นชัด ความยาวลำตัวสั้นกว่าสุกรพันธุ์ลาร์จไวท์และแลนด์เรซ ทำให้ดูบึกบึนแข็งแรง เป็นสุกรพันธุ์เนื้อที่มีคุณภาพซากที่ดี สุกรพันธุ์นี้เป็นสุกรที่มีการเจริญเติบโตเร็วขุนให้อ้วนง่าย สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมทั่วไปได้เป็นอย่างดี จึงนิยมใช้เป็นพ่อพันธุ์ นำมาผสมข้ามพันธุ์กับสุกรลูกผสมเพื่อผลิตสุกร 3 สายเลือดสำหรับใช้ในการเลี้ยงเป็นสุกรขุน (สำนักพัฒนาพันธุ์สัตว์ กรมปศุสัตว์, 2020)



ภาพที่ 2.3 สุกรพันธุ์ดูโรค

ที่มา : สำนักพัฒนาพันธุ์สัตว์ กรมปศุสัตว์ (2020)

2.2 คุณภาพเนื้อ (meat quality)

คุณภาพของเนื้อโดยปกติสามารถระบุได้โดยอาศัยคุณสมบัติที่เป็นองค์ประกอบภายในของเนื้อ (สัดส่วนของเนื้อต่อไขมัน) และปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการของผู้บริโภค เช่น ลักษณะของเนื้อที่ปรากฏ สี กลิ่น ความคงตัว ความชุ่มฉ่ำ ความนุ่ม และรสชาติ (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2014)

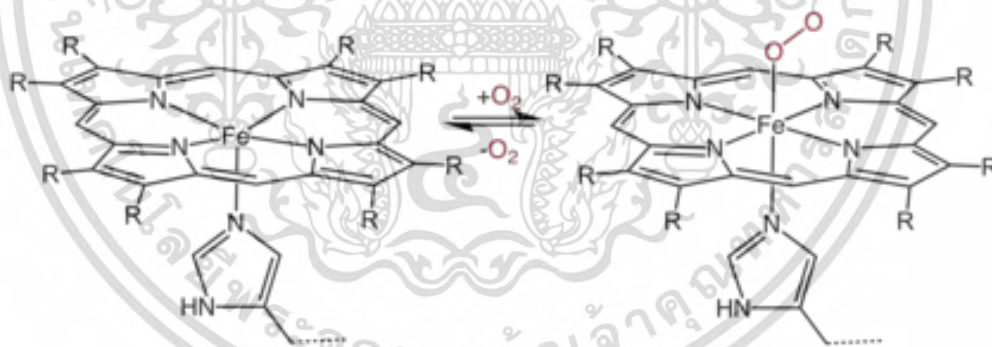
ชัยณรงค์ (2529) กล่าวว่าคุณภาพเนื้อเป็นสิ่งที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญเป็นอันดับแรกในการตัดสินใจเลือกซื้อเนื้อ ในปัจจุบันผู้ประกอบการผลิตสุกรได้เห็นความสำคัญของคุณภาพเนื้อเป็นหลักในการผลิต ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพเนื้อเกิดขึ้นจากหลายปัจจัยในการผลิต โดยเฉพาะ อาหาร และการจัดการ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติต่าง ๆ ของเนื้อที่มีส่วนทำให้เนื้อมีคุณภาพ แบ่งออกได้ดังต่อไปนี้

2.2.1 สี (color)

จันทรพร (2554) กล่าวว่า สีของเนื้อสัตว์เป็นสิ่งแรกที่ผู้บริโภคจะรับรู้ได้ ความแตกต่างของสีเนื้อที่มองเห็นสีเนื่องมาจาก 3 องค์ประกอบ คือ hue chroma และ value โดย hue เป็นคลื่นแสงที่ตาสามารถมองเห็นได้ เช่น แดง เหลือง เขียว และน้ำเงิน เป็นต้น ส่วน chroma หรือ saturation หมายถึง ระดับความเข้มของสีพื้นฐานซึ่งขึ้นอยู่กับว่ามีปริมาณสีขาวผสมอยู่มากน้อยเพียงใด และ value หมายถึง ค่าการสะท้อนแสงของสีหรือค่าความสดใสของสี (brightness) สารสีที่พบในเนื้อประกอบด้วยไมโอโกลบินเป็นส่วนใหญ่ ประมาณ 80-90 เปอร์เซ็นต์ และส่วนที่เหลือเป็นฮีโมโกลบิน โครงสร้างของไมโอโกลบินประกอบด้วยโปรตีนทรงกลมที่เรียกว่า โกลบิน และส่วนที่ไม่ใช่โปรตีนที่เรียกว่า heme ring ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่มีผลต่อสีของเนื้อ โดยเป็นผลมาจากการเปลี่ยนสถานะของธาตุเหล็กที่อยู่ภายในโมเลกุลเมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจน (O_2) (ภาพที่ 2.4) ปัจจุบันการวัดค่าสีของเนื้อส่วนใหญ่จะใช้เครื่องมือในการวัดสี ก่อนทำการวัดสีของเนื้อจะต้องเตรียมเนื้อโดยการตัดเนื้อให้สัมผัสอากาศประมาณ 30-45 นาที มีการควบคุมสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ แสง จากนั้นจึงทำการวัดสี ค่าที่ได้จะแสดงเป็นค่า L^* (Lightness) คือ ค่าความสว่าง a^* (Redness) คือ ค่าสีแดง และ b^* (Yellowness) คือ ค่าสีเหลือง การเกิดเนื้อซีด นิ่มและมีน้ำเยิ้ม (Pale soft and exudative; PSE) หรือเนื้อสีแดงเข้ม นิ่มและมีน้ำเยิ้ม (Red soft and exudative ; RSE) มีผลต่อค่า L^* ของเนื้อ (ศุภลักษณ์และคมแข, 2560)



ภาพที่ 2.4 การจับออกซิเจนของธาตุเหล็กในไมโอโกลบิน

ที่มา : David. (2000)

ปริมาณของไมโอโกลบินจะมีความแปรผันตามชนิด อายุ เพศ ลักษณะการทำงานของกล้ามเนื้อ และกิจกรรมที่สัตว์ทำ เช่น สีของเนื้อโคจะมีสีแดงกว่าสีของเนื้อสุกร ส่วนสัตว์ที่มีอายุน้อยจะมีปริมาณไมโอโกลบินต่ำกว่าสัตว์ที่มีอายุมาก และกล้ามเนื้อบริเวณที่ทำงานหนักจะมีสีเข้มกว่ากล้ามเนื้อบริเวณที่ทำงานน้อย เพราะในการทำงานของกล้ามเนื้อจำเป็นต้องใช้ออกซิเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งไมโอโกลบินเป็นแหล่งเก็บออกซิเจน ดังนั้นกล้ามเนื้อส่วนที่ทำงานหนักจึงมีปริมาณไมโอโกลบินมากกว่า ส่งผลทำให้กล้ามเนื้อส่วนนั้นมีสีที่เข้มกว่าส่วนอื่น (David, 2000; จันทรพร, 2554; สัญชัย, 2547) และในสุกรต่างสายพันธุ์กันจะมีปริมาณไมโอโกลบินในเนื้อที่แตกต่างกัน และสุกรที่มีปริมาณไมโอโกลบินในเนื้อสูงจะมีค่า a^* สูงกว่าสุกรพันธุ์อื่น (Newcom et al., 2004)

2.2.2 ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ (water holding capacity)

ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อเป็นความสามารถของเนื้อที่พยายามในการเก็บรักษาระดับน้ำให้มีปริมาณเกือบเท่าเดิม แม้ว่าจะมีแรงจากภายนอกมากระทำ เช่น แรงตัด แรงบด หรือการใช้ความร้อน โปรตีนที่มีความสำคัญในการจับน้ำในเนื้อ คือ โปรตีนไมโอไฟบิลลา (myofibrillar protein) ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อมีอิทธิพลต่อลักษณะทางกายภาพของเนื้อ เช่น สี (color) เนื้อสัมผัส (texture) ความคงตัว (stability) และความแน่นของเนื้อ (firmness) ส่วนเนื้อที่ผ่านการปรุงสุกแล้วความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อจะมีผลต่อความนุ่ม ความชุ่มฉ่ำของเนื้อ นอกจากนี้ยังมีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักของเนื้อในระหว่างการเก็บรักษา (shrinkage) หากความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อต่ำจะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมาก ส่งผลให้น้ำหนักของเนื้อลดลง นอกจากนี้ในกระบวนการแปรรูป เช่น กระบวนการตัดแต่ง การให้ความร้อนและการบด ล้วนส่งผลต่อการสูญเสียน้ำของเนื้อ ซึ่งเกี่ยวกับความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ ทำให้คุณภาพเนื้อและผลผลิตที่ได้มีปริมาณลดลง (Aberle and Forrest, 2001; ชัยณรงค์, 2529) เนื้อที่มีคุณภาพดี คือ เนื้อที่มีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำของเนื้อสูง ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ในเนื้อสัตว์ เนื้อที่มีค่า pH ต่ำจะมีค่าการอุ้มน้ำของเนื้อต่ำด้วย ในทางกลับกันเนื้อที่มีค่า pH สูงจะมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อสูงไปด้วย ในเนื้อสัตว์ที่มีคุณสมบัติของการอุ้มน้ำต่ำพบว่าเกิดการสูญเสียน้ำออกจากเนื้อในระหว่างการเก็บรักษา (drip loss) และระหว่างการปรุงสุก (cooking loss) ที่สูง ทำให้เนื้อมีลักษณะแห้งและหยาบ (จุฑารัตน์, 2540)

2.2.3 ไขมันแทรก (intramuscular fat หรือ marbling)

ไขมันแทรก คือ ลักษณะไขมันที่แทรกอยู่ในมัดกล้ามเนื้อซึ่งจะมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าเป็นเส้นเล็ก ๆ กระจายตัวอยู่ภายในกล้ามเนื้อ (Yang et al., 2006) ปริมาณไขมันแทรกในเนื้อสุกรเป็นสิ่งสำคัญที่จะบ่งบอกคุณภาพเนื้อสุกร และไขมันแทรกมีความสัมพันธ์กับความนุ่มของเนื้อ ความชุ่มฉ่ำ และรสชาติ (Hausman et al., 2008; Lu et al., 2008; Wood et al., 2004) จากรายงานของ Noidad et al., (2019) รายงานว่า เนื้อสุกรที่มีลักษณะของไขมันแทรกสูงมีผลต่อความชอบของผู้บริโภคในด้านความนุ่มของเนื้อสูง แต่ผู้บริโภคกลับชอบเลือกซื้อเนื้อที่มีปริมาณของไขมันแทรกต่ำเนื่องจากความกังวลถึงปริมาณไขมันในเนื้อที่มีผลต่อสุขภาพของผู้บริโภค นอกจากนี้ ชัยณรงค์ (2529) รายงานว่าปริมาณไขมันแทรกยังมีส่วนสำคัญต่อความแน่นของเนื้อ โดยเฉพาะเนื้อที่ผ่านการแช่เย็นซากที่ 0-4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ไขมันเหล่านี้จะเกิดการแข็งตัวทำให้เนื้อที่ได้มีลักษณะค่อนข้างแน่น และสามารถคงรูปร่างได้ดี ทำให้ง่าย

ต่อการตัดแต่ง จึงทำให้เนื้อที่ตัดออกมามีรูปร่างดี มีความสม่ำเสมอ คงรูปร่างตามที่ตัดแต่งได้ดี ทำให้เนื้อดูสวยงามส่งผลต่อความพึงพอใจของผู้บริโภค และช่วยดึงดูดใจผู้บริโภคได้เป็นอย่างดี

2.2.4 อิทธิพลของพันธุ์สุกรต่อคุณภาพเนื้อ

การผลิตสุกรแต่เดิมจะเน้นการปรับปรุงด้านปริมาณเนื้อของสุกร (meat quantity) คือ ต้องการสัดส่วนของเนื้อแดงในซากต่อไขมันสูง เนื่องจากให้ผลตอบแทนที่ดี แต่ปัจจุบันจากงานวิจัยจำนวนมาก พบว่า การพัฒนาสายพันธุ์ทำให้คุณภาพซากของสุกรดีแต่กลับส่งผลทำให้คุณภาพเนื้อของสุกรลดลง (น้ำฝน, 2559) ในการคัดเลือกทางพันธุกรรมสามารถช่วยปรับปรุงรูปร่างของสุกรได้ แต่มีแนวโน้มว่าการปรับปรุงรูปร่าง การเจริญเติบโต และคุณภาพซากของสุกรให้มีปริมาณเนื้อแดงมากขึ้นมักแปรผกผันต่อคุณภาพของเนื้อสุกร (Mogowan et al., 2011)

จากการศึกษาของ Li et al. (2013) ที่เปรียบเทียบคุณภาพเนื้อของสุกรต่างสายพันธุ์ โดยใช้สุกรพันธุ์แท้ จำนวน 215 ตัว โดยแบ่งเป็น สุกรพันธุ์ Duroc จำนวน 98 ตัว สุกรพันธุ์ Landrace จำนวน 45 ตัว และสุกรพันธุ์ Yorkshire จำนวน 72 ตัว พบว่า ค่า pH ที่ 24 ชั่วโมง (pH_{24}) ของสุกรพันธุ์ Duroc มีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) ค่าความหนาของไขมันในซาก (carcass backfat thickness : C bf) และมีร้อยละของไขมันในเนื้อของสุกรพันธุ์ Duroc และสุกรพันธุ์ Yorkshire สูงกว่าสุกรพันธุ์ Landrace อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สุกรพันธุ์ Duroc มีค่าคะแนนไขมันแทรกในเนื้อ (marbling score : MS) สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) ส่วนสุกรพันธุ์ Yorkshire มีค่า L^* สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) และค่า b^* ของสุกรพันธุ์ Duroc และสุกรพันธุ์ Yorkshire มีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 2.1)

Li et al. (2013) ศึกษาคุณภาพเนื้อของสุกรพันธุ์แท้ ได้แก่ สุกรพันธุ์ Duroc สุกรพันธุ์ Landrace และสุกรพันธุ์ Yorkshire และสุกรลูกผสม ได้แก่ สุกรลูกผสมระหว่างพ่อพันธุ์ Landrace กับแม่พันธุ์ Yorkshire (LY) และสุกรลูกผสม 3 สายพันธุ์ระหว่างพ่อพันธุ์ Duroc และแม่พันธุ์ผสมระหว่างสุกรพันธุ์ Landrace กับสุกรพันธุ์ Yorkshire (DLY) พบว่า สุกรพันธุ์ Duroc มีค่า pH_{24} โปรตีนในเนื้อ และไขมันแทรกในเนื้อสูงที่สุด และมีค่าการสูญเสีย น้ำในเนื้อต่ำที่สุด ดังตารางที่ 2.1 Kim et al. (2020) ศึกษาอิทธิพลของพันธุ์และเพศของสุกรที่มีผลต่อคุณภาพเนื้อของสุกรพันธุ์ Duroc สุกรพันธุ์ Pietrain และสุกรลูกผสม 2 สายพันธุ์ระหว่างพ่อสุกรพันธุ์ Duroc กับแม่สุกรพันธุ์ Pietrain (Duroc x Pietrain : DP) ด้านคุณภาพเนื้อพบว่า สุกรพันธุ์ DP มีร้อยละของไขมันในเนื้อสูงที่สุด รองลงมาคือ สุกรพันธุ์ Duroc และสุกรพันธุ์ Pietrain (3.25 2.46 และ 1.85 ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.001$) และสุกรเพศเมียมีร้อยละของไขมันในเนื้อสูงกว่าสุกรเพศผู้ตอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ค่า pH_{24} ของสุกรพันธุ์ Pietrain มีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของเนื้อสุกรพันธุ์ Duroc Landrace และ Yorkshire

Trait	Breeds			SE	F-value
	Duroc	Landrace	Yorkshire		
pH _u	5.71 ^a	5.61 ^b	5.62 ^b	0.12	5.98**
C_bf	14.20 ^a	11.31 ^b	13.46 ^a	0.03	3.49*
MS	2.30 ^a	1.34 ^b	1.70 ^b	0.76	11.42***
Meat color	4.13	3.85	3.93	0.15	1.53
Lightness (L*)	47.83 ^b	45.61 ^c	49.58 ^a	0.67	8.44***
Redness (a*)	4.00	3.51	3.62	0.34	0.69
Yellowness (b*)	13.05 ^a	11.57 ^b	12.34 ^a	0.42	3.01*
CL	21.94 ^a	19.39 ^b	22.34 ^a	0.67	4.87**
Moisture	71.13	71.58	71.58	0.31	0.99
CF	3.32 ^a	2.36 ^{bc}	2.93 ^{ab}	0.27	3.39*
Prosolu	39.64	40.32	39.48	0.57	0.56
MCL	2.14	2.41	2.26	0.11	1.48

^{abc} Least square means in the same row with different superscript letters differ significantly (* $p \leq 0.05$, ** $p \leq 0.01$, and *** $p \leq 0.001$).

pH_u = Ultimate pH, C_bf = Carcass backfat thickness (mm), MS = Marbling score (1 to 5), CL = Cooking loss (%), CF = Crude fat (%), Prosolu = Soluble sarcoplasmic protein (mg/g), MCL = Maximum compressive load (kg/f); DD = Duroc, LL = Landrace, YY = Yorkshire

ที่มา : Li et al. (2013)

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อสุกรพันธุ์ Duroc, Pietrain และสุกรลูกผสม

	Breed			Gender		SEM	Significance		
	D	P	DP	C	G		B	G	BxG
Moisture (%)	74.14	74.61	74.20	74.29	74.27	0.077	ns	ns	ns
IMF (%)	2.46 ^b	1.85 ^c	3.25 ^a	2.22 ^b	2.68 ^a	0.096	***	*	ns
pH	5.63 ^b	5.77 ^a	5.54 ^c	5.61 ^b	5.66 ^a	0.014	***	**	**
Cooking loss (%)	12.80 ^b	12.34 ^b	14.73 ^a	13.13	13.25	0.335	*	ns	ns
WHC (%)	74.89 ^a	76.58 ^a	69.85 ^b	72.14	74.13	0.581	***	ns	***
WBSF (kg/cm ²)	4.17 ^b	4.39 ^b	5.23 ^a	4.66	4.43	0.102	***	ns	ns

^{abc} Least square means in the same row with different superscript letters differ significantly (* $p \leq 0.05$, ** $p \leq 0.01$, and *** $p \leq 0.001$).

D, Duroc (n=79); P, Pietrain (n=42); DP, crossbred Duroc × Pietrain (n=45); C, castrate; G, gilt; B, breed; G, gender; SEM, standard error of means; ns, not significant; IMF, intramuscular fat; WHC, water-holding capacity; WBSF, Warner-Bratzler shear force.

ที่มา : Kim et al., (2020)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อ (muscle fiber type)

กล้ามเนื้อของสัตว์มีโครงสร้างภายในเป็นกล้ามเนื้อลาย (skeletal muscle) ในเซลล์กล้ามเนื้อ (muscle fiber) ประกอบด้วยเส้นใยย่อย (myofibril) ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ กลุ่มโปรตีนหลักที่พบมากที่สุดในการสร้างเซลล์กล้ามเนื้อ คือ ไมโอซิน (myosin) โครงสร้างของไมโอซินประกอบด้วย myosin heavy chain (MYHC) 2 ส่วน และ myosin light chain 4 ส่วน ความเร็วในการยึดหดตัวนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของ MYHC เนื่องจากส่วนหัวของ MYHC จะมีเอนไซม์ ATPase ที่ทำหน้าที่สลาย ATP ให้เป็นพลังงานที่ใช้ในการยึดหดตัวของกล้ามเนื้อ ความแตกต่างกันของปริมาณเอนไซม์ ATPase ในเส้นใยกล้ามเนื้อสามารถนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการจำแนกชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อได้ MYHC มีหลายรูปแบบ (isoform) โดยเป็นโปรตีนที่มีความคล้ายคลึงกันแต่อาจมีความแตกต่างกันบางส่วนในด้านโครงสร้างหรือคุณสมบัติการทำงาน (Schiaffino and Reggiani, 2011)

โครงสร้างของกล้ามเนื้อจะประกอบด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อจำนวนมาก กล้ามเนื้อแต่ละมัดจะมีเส้นใยกล้ามเนื้อหลายชนิดเป็นองค์ประกอบแต่สัดส่วนของเส้นใยกล้ามเนื้อแต่ละชนิดอาจมีไม่เท่ากัน โดยเส้นใยกล้ามเนื้อจะมีโครงสร้างและหน้าที่แตกต่างกัน ในการจัดจำแนกชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อโดยอาศัยคุณสมบัติในการยึดหดตัวของเส้นใยกล้ามเนื้อแต่ละชนิดสามารถจำแนกได้ด้วยวิธี histochemistry ซึ่งสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ชนิด ดังนี้ (Karlsson et al., 1999)

2.3.1 เส้นใยกล้ามเนื้อสีแดง (red fiber หรือ type I)

เส้นใยกล้ามเนื้อชนิดนี้มีความสามารถในการหดตัวช้า (slow twitch oxidative muscle) เป็นเซลล์กล้ามเนื้อขนาดเล็กกว่าเซลล์กล้ามเนื้อชนิดอื่น (Aberle et al., 2012) มีหลอดเลือดฝอยจำนวนมาก ภายในเซลล์ประกอบด้วยไมโทคอนเดรียและไมโอโกลบินและไมโทคอนเดรียจำนวนมาก ทำให้มีสีแดง และสามารถขนส่งออกซิเจน (O_2) ได้มากและมีกระบวนการสลายพลังงานแบบใช้ออกซิเจน (aerobic metabolism) แม้การหดตัวจะช้าแต่มีความทนทานต่อการเมื่อยล้าได้เป็นเวลานาน เส้นใยกล้ามเนื้อ type I จะพบมากในกล้ามเนื้อไหล่ กล้ามเนื้อขา และกล้ามเนื้อสันใน (Psoas major) (Karlsson et al., 1999)

2.3.2 เส้นใยกล้ามเนื้อสีชมพูแดง (intermediate type หรือ Type IIa)

เส้นใยกล้ามเนื้อชนิดนี้มีความสามารถในการหดตัวเร็ว (fast twitch oxidative muscle; red) มีไมโทคอนเดรีย และหลอดเลือดฝอยจำนวนมากทำให้เนื้อสีแดง พลังงานที่ใช้ในการหดตัวมาจากการเผาผลาญพลังงานแบบใช้ออกซิเจน (aerobic metabolism) หรือไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic metabolism) ก็ได้ จึงทำให้เซลล์มีความพิเศษที่หดตัวได้เร็วและทนทานต่อการเมื่อยล้า เส้นใยกล้ามเนื้อชนิด type IIa พบมากในกล้ามเนื้ออรั๊กบี (*Triceps brachii*) และกล้ามเนื้อสันในเทียม (*Supraspinatus*) (Karlsson et al., 1999)

2.3.3 เส้นใยกล้ามเนื้อสีขาว (White fiber หรือ type IIb)

เส้นใยกล้ามเนื้อชนิดนี้มีคุณสมบัติในการหดตัวเร็ว (fast twitch glycolytic muscle; white) กล้ามเนื้อชนิดนี้มีเซลล์กล้ามเนื้อที่มีขนาดใหญ่กว่า มีสีซีดจาง ปริมาณไมโอโกลบินและเส้นเลือดฝอยมีน้อย พลังงานที่ใช้ในการหดตัวมาจากกระบวนการที่ไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic metabolism) เป็นหลักพบมากในกล้ามเนื้อสันนอก (*Longissimus dorsi*) กล้ามเนื้อพับใน (*Semimembranosus*) กล้ามเนื้อพับนอก (*Biceps femoris*) กล้ามเนื้อหางจระเข้ (*Gluteus medius*) และกล้ามเนื้อลูกมะพร้าว (*Rectus femoris*) ในสุกร (Karlsson et al., 1999) นอกจากนี้ยังพบเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดที่มีคุณสมบัติอยู่ระหว่าง type IIa และ type IIb ซึ่งมีการหดตัวเร็วคือเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด type IIx หรือ intermediate fast twitch glycolytic muscle (Schiaffino and Reggiani, 2011)

2.4 การจำแนกชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อ

2.4.1 การจำแนกชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อด้วยวิธี histochemistry

2.4.1.1 การจำแนกตามลักษณะการยึดหดตัวของกล้ามเนื้อ โดยอาศัยภาวะที่มีรูปแบบหลายรูปแบบ (polymorphism) ของโปรตีนไมโอซินเนื่องจากไมโอซินเป็นส่วนประกอบหลักของเส้นใยหนา (thick filament) จึงถูกใช้เป็นตัวชี้วัดการยึดหดตัวของกล้ามเนื้อ การแบ่งตามลักษณะการยึดหดตัวนี้แบ่งเป็นแบบ slow-twitch type I ซึ่งเป็นเส้นใยกล้ามเนื้อที่ใช้ในรักษาการทรงตัว และ fast-twitch type II ซึ่งเป็นเส้นใยกล้ามเนื้อที่ใช้ในการเคลื่อนไหว (Lefaucheur et al., 2002) วิธีการจำแนกโดยอาศัยหลักการ histochemistry นั้นสามารถแบ่ง type I และ type II ด้วย m-ATPase staining โดยเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด type I มีเอนไซม์ m-ATPase ที่จะถูกยับยั้งหลังจาก alkaline pre-incubation และ type II จะถูกยับยั้งหลังจาก acid pre-incubation (Picard et al., 2009) จากการศึกษาของ Lefaucheur et al., (2002) รายงานว่า หลังจากขั้นตอน acid pre-incubation ที่ pH 4.35 สามารถจำแนกเส้นใยกล้ามเนื้อออกได้เป็น 3 ชนิด ได้แก่ type I ซึ่งจะเกิดเป็นสีดำ type IIa จะไม่เกิดสี และ type IIb จะมีสีเทา (ภาพที่ 2.5) วิธีการ histochemistry ที่ใช้ในการวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ mATPase เพื่อแยกระหว่างเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด fast และ slow เอนไซม์ mATPase จะเกี่ยวข้องโดยตรงกับการหดตัวของกล้ามเนื้อ ดังนั้น การวิเคราะห์จากกิจกรรมของ เอนไซม์ ATPase จะสามารถอธิบายในส่วนของคุณสมบัติในการหดตัวได้

2.4.1.2 การจำแนกตามขบวนการเมแทบอลิซึมสามารถวัดจาก activity ของ metabolic enzyme ในไมโทคอนเดรีย เช่น oxidative enzyme succinate dehydrogenase (SDH) โดย oxidative (red fiber) และ non oxidative (white fiber) สามารถแยกจากกันได้ด้วยวิธี SDH staining (Gauthier, 1969) เมื่อรวมทั้งสองวิธี คือ 1) mATPase staining 2) SDH staining เข้าด้วยกันจะทำให้สามารถแบ่งระหว่าง slow type I และ fast type II ด้วย mATPase-based จากนั้นทำการแยกระหว่าง fast oxidative และ fast glycolytic ด้วย metabolic enzyme base ซึ่งสามารถแยกได้โดยอาศัย ความ

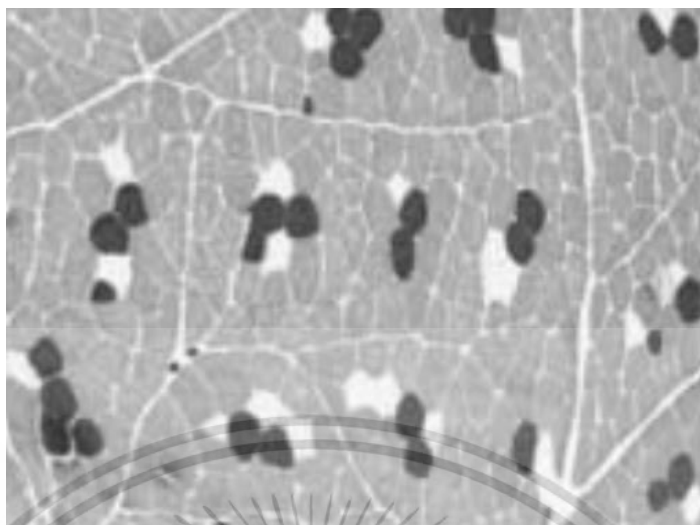
แตกต่างกันของ succinate dehydrogenase (SDH) ในการจำแนกเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด oxidative และ non-oxidative (white fiber) นอกจากนี้ยังมีการใช้เทคนิคการย้อมสีด้วยวิธีอื่น ๆ อีกด้วย เช่น การใช้วิธี histochemistry เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของเส้นใยกล้ามเนื้อ ซึ่งสามารถทำได้โดยอาศัย ความแตกต่างของ succinate dehydrogenase (SDH) ในการจำแนกเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด oxidative และ non-oxidative (white fiber) นอกจากนี้ยังมีการใช้เทคนิคการย้อมสีด้วยวิธีอื่น ๆ อีกด้วย เช่น การใช้วิธี histochemistry เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของเส้นใยกล้ามเนื้อ ซึ่งสามารถทำได้โดยอาศัย ความ

non-oxidative เส้นใยกล้ามเนื้อชนิดที่มีการเกิด oxidative สูงจะมีความสามารถในการสร้าง ATP ผ่านปฏิกิริยา oxidative ได้สูง เอนไซม์ SDH อยู่ในเนื้อเยื่อชั้นในของไมโทคอนเดรีย เอนไซม์ SDH จะเป็นตัวรับอิเล็กตรอนทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีกับ nitro blue tetrazolium (NBT) ที่มีสีม่วง ซึ่งทำให้เห็นถึงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในรูปของจุดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในไมโทคอนเดรีย และสามารถบอกสัดส่วนของไมโทคอนเดรียและกิจกรรมของเอนไซม์ SDH ที่เกิดขึ้นได้ เส้นใยกล้ามเนื้อที่มี SDH มาก (มีไมโทคอนเดรียสูง) จะย้อมติดสีได้มาก เส้นใยชนิด oxidative จะมีจุดที่ย้อมติดสีม่วงหนาแน่นทึบ ในขณะที่เส้นใยกล้ามเนื้อชนิด non-oxidative จะมีจุดสีม่วงกระจุกกระจายกว่า ภาพที่ 2.6

2.4.2 การจัดจำแนกด้วยชนิดของโปรตีน Myosin Heavy Chain (MYHC)

การจัดจำแนกชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อที่อาศัยความแตกต่างกันของโปรตีน MYHC ในกล้ามเนื้อของสัตว์ที่เจริญเติบโตเต็มที่แล้ว โปรตีน MYHC ที่พบในกล้ามเนื้อของสัตว์มีหลายรูปแบบ (isoform) ซึ่งในกล้ามเนื้อของสัตว์มีการพบโปรตีน MYHC อยู่ 4 รูปแบบ คือ MYHC I, MYHC IIA, MYHC IIX, และ MYHC IIB การจัดจำแนกโปรตีน MYHC แต่ละรูปแบบสามารถจำแนกโดยใช้วิธี electrophoresis (Oury et al., 2010) การสังเคราะห์โปรตีน MYHC นั้นเกิดขึ้นจากการถอดรหัสพันธุกรรมจากกลุ่มยีน MYHC ในการศึกษาปริมาณการแสดงออกของยีน MYHC สามารถศึกษาโดยใช้เทคนิค real-time PCR (Wimmers et al., 2008) ซึ่งการสังเคราะห์โปรตีน MYHC เกิดจากการถอดรหัสพันธุกรรมจากยีนที่แตกต่างกัน โดยโปรตีน MYHC- β /slow หรือ MYHC I เกิดจากยีน *Myh7* โปรตีน MYHC IIA เกิดจากยีน *Myh2* โปรตีน MYHC IIX เกิดจากยีน *Myh1* และ MYHC IIB เกิดจากยีน *Myh4* (ภาพที่ 2.7) (Baldwin et al., 2013; Chal and Pourquie, 2017; Talmadge, 2000; Schiaffino and Reggiani 2011) Picard and Cassar-Malek (2009) รายงานว่า ในกล้ามเนื้อที่มีเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด type I จะมี MYHC I ส่วนในกล้ามเนื้อที่มีเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด type IIA พบ MYHC IIA ในขณะที่ type IIX fiber พบ MYHC IIX และ type IIB พบ MYHC IIB

จากการศึกษาของ Wimmers et al. (2008) ที่ศึกษาชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อด้วยวิธี Histochemistry และการแสดงออกของยีน MYHC ด้วยเทคนิค real-time PCR ในสุกร พบว่าการใช้วิธี histochemistry ศึกษาชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อโดยอาศัยการทำงานของเอนไซม์ ATPase ในเส้นใยกล้ามเนื้อที่บ่มใน pH ที่แตกต่างกัน เมื่อบ่มตัวอย่างที่ pH 4.3 และ 9.4 จะสามารถจำแนกเส้นใยกล้ามเนื้อออกเป็น type I และ type II แต่เมื่อทำการบ่มที่ pH 4.6 สามารถจำแนกเส้นใยกล้ามเนื้อตามการแสดงออกของ MYHC ได้เป็น MYHC I MYHC IIA และ MYHC IIX+IIB (ภาพที่ 2.8) เมื่อทดสอบการแสดงออกของยีน MYHC ด้วยเทคนิค real-time PCR พบว่ามีการแสดงออกของยีนจำนวน 4 ชนิด คือ MYHC I MYHC IIA MYHC IIX และ MYHC IIB นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างการแสดงออกของเส้นใยกล้ามเนื้อและการแสดงออกของยีน MYHC (ตารางที่ 2.3)



ภาพที่ 2.5 การจำแนกชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อด้วยวิธี Histochemistry หลังจากการ acid pre-incubation ที่ pH 4.35 ของกล้ามเนื้อสันนอก (longissimus muscle) ของสุกรพันธุ์ Large White ซึ่งเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด type I จะมีสีดำ type IIa จะมีสีขาว และ type IIb จะมีสีเทา
ที่มา : ดัดแปลงจาก Lefaucheur et al. (2002)

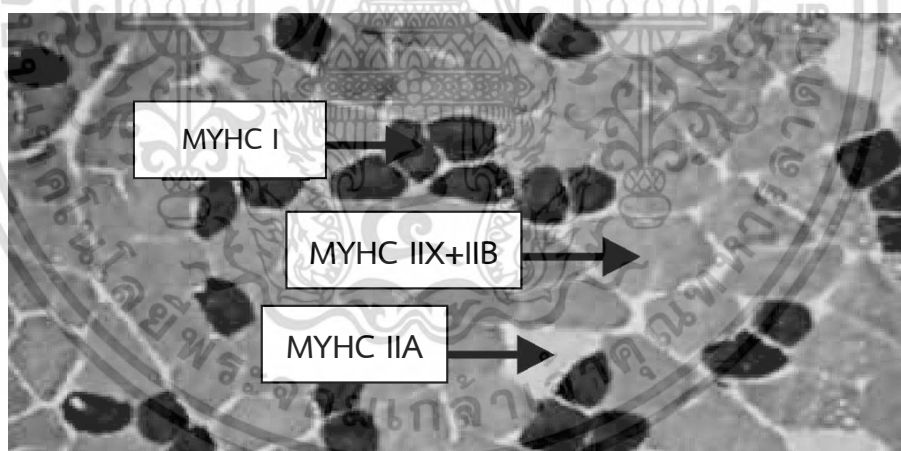


ภาพที่ 2.6 การจำแนกชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อตามความแตกต่างกันของเอนไซม์ succinate dehydrogenase (SDH) โดยเส้นใยกล้ามเนื้อ slow oxidative (SO) จะมีสีเข้ม เส้นใย fast oxido-glycolytic (FOG) จะมีสีจางกว่า SO ส่วนเส้นใย fast glycolytic (FG) จะมีสีจางที่สุด
ที่มา : ดัดแปลงจาก Picard et al., (2002)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Gene	Proteins	Expression
Skeletal	MYH13	MYHC-EO	Extraocular m.
	MYH8	MYHC-neo	Developing m.
	MYH4	MYHC IIB	Fast IIB fibers ¹
	MYH1	MYHC IIX	Fast IIX fibers
	MYH2	MYHC IIA	Fast IIA fibers
	MYH3	MYHC-emb	Developing m.
Cardiac	MYH6	MYHC- α	Jaw m. ¹ (&heart)
	MYH7	MYHC- β /slow/I	Slow m. (&heart)

ภาพที่ 2.7 ยีน โปรตีน และการแสดงออกของเส้นใยกล้ามเนื้อในกล้ามเนื้อโครงร่างของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม¹ แสดงออกเฉพาะสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมบางชนิดเท่านั้น
ที่มา : ดัดแปลงจาก Schiaffino and Reggiani (2011)



ภาพที่ 2.8 การจำแนกชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อตามการทำงานของเอนไซม์ ATPase ด้วยวิธี histochemistry โดยการบ่มที่ pH 4.6 สามารถจำแนกเส้นใยกล้ามเนื้อตามชนิดของ MYHC ได้เป็น 3 ชนิด ได้แก่ MYHC I, MYHC IIA และ MYHC IIX+IIB

ที่มา : ดัดแปลงจาก Wimmers et al., (2008)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ร้อยละการแสดงออกของชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อที่จำแนกด้วยเทคนิค histochemistry และการแสดงออกของ myosin heavy chain (MYHC) isoforms ที่ทดสอบด้วยเทคนิค real-time PCR และค่าความสัมพันธ์ระหว่างเส้นใยกล้ามเนื้อแต่ละชนิดที่จำแนกด้วย ATPase ที่ pH 4.6 และเทคนิค real-time PCR

Muscle fiber type	histochemistry			real-time PCR	Correlation coefficient ²
	ATPase pH 4.3	ATPase pH 9.4	ATPase pH 4.6		
I	18.4± 1.8	17.3± 1.6			
II	81.6± 1.8	82.7± 1.6			
MYHC I			16.1± 1.9	18.3± 1.8	0.72 (P =0.004)
MYHC IIa			3.5± 0.6	12.8± 3.0	0.67 (P =0.009)
MYHC IIx				16.5± 2.6	
MYHC IIb			80.4± 1.9 ³	52.4± 5.0	0.53 (P =0.05) ²

¹N = 30, means ± SE.

²Coefficient of correlation between ATPase pH 4.6 and real-time PCR values.

³Values represent both myosin heavy chain (MYHC) IIX and MYHC IIB isoforms.

ที่มา : Wimmers et al. (2008)

2.4.3 อิทธิพลของพันธุ์สุกรต่อการแสดงออกของเส้นใยกล้ามเนื้อ

จากการศึกษาของ Wimmers et al. (2008) เกี่ยวกับปริมาณการแสดงออกของยีน MYHC ในกล้ามเนื้อสุกรทางการค้า คือ สุกรพันธุ์ Duroc Pietrain และสุกรลูกผสม (DUPI และ DUMI) และสุกรพันธุ์พื้นเมือง คือ สุกรพันธุ์ Mongcai พบว่า สุกรทางการค้ามีการแสดงออกของ MYHC IIB ในกล้ามเนื้อสูงกว่าสุกรพันธุ์พื้นเมือง แต่สุกรพันธุ์พื้นเมืองจะมีการแสดงออกของ MYHC อื่น ๆ สูงกว่าสุกรทางการค้าใน (ตารางที่ 2.4)

จากการศึกษาของ Chang et al. (2003) ที่ศึกษาชนิดของ MYHC ทั้ง 4 ชนิด คือ MHC I, MHC IIA, MHC IIX และ MHC IIB ในกล้ามเนื้อสันนอก (*longissimus dorsi* : LD) และกล้ามเนื้อสันใน (*Psoas major* : Psoas.) ของสุกรทางการค้า (สุกรพันธุ์ Large White และ Duroc) และสุกรพันธุ์พื้นเมือง (สุกรพันธุ์ Tamworth และ Berkshire) พบว่า สุกรพันธุ์ Duroc มีการแสดงออกของ MYHC I ในกล้ามเนื้อสันนอก (LD) ($p < 0.01$) และสันใน (Psoas.) สูงที่สุด ($p < 0.001$) การแสดงออกของ MYHC IIA ในกล้ามเนื้อสันนอกของสุกรพันธุ์ Tamworth สูงที่สุด ($p < 0.1$) สุกรพันธุ์ Duroc มีการแสดงออกของ MYHC IIA ในกล้ามเนื้อสันในสูงที่สุด ($p < 0.001$) การแสดงออกของ MYHC IIX ในกล้ามเนื้อสันนอกของสุกรพันธุ์ Large White สูงที่สุด ($p < 0.05$) ส่วนสุกรพันธุ์ Berkshire และ Tamworth มีการแสดงออกของ MYHC IIX ในกล้ามเนื้อสันในสูงที่สุด ($p < 0.01$) (ตารางที่ 2.5) ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแสดงออกของ MYHC ในสุกรที่พบการแสดงออกของ MYHC I ที่สูงจะมีการเจริญเติบโตที่ช้ากว่าสุกรที่มีการแสดงออกของ MYHC IIB ที่สูง

2.4.4 อิทธิพลของชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อต่อคุณภาพเนื้อ

Wimmers et al. (2008) ศึกษาความสัมพันธ์ของการแสดงออกของ MYHC isoform ในสุกรพบว่าขนาดของพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันมีความสัมพันธ์กับปริมาณของ MYHC isoform หากขนาดของพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันมีขนาดเล็กจะพบ MYHC I มากกว่ามัดกล้ามเนื้อที่มีพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันขนาดใหญ่ ในทางตรงกันข้ามหากพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันมีขนาดใหญ่จะพบ MYHC IIB มากกว่ามัดกล้ามเนื้อที่มีพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันขนาดเล็ก ($p < 0.05$) (ภาพที่ 2.9)

Ryu et al., (2006) รายงานว่าพันธุ์สุกรที่แตกต่างกันมีผลอย่างมากต่อคุณภาพซากและคุณภาพเนื้อของสุกร ในกล้ามเนื้อที่มีองค์ประกอบของเส้นใยกล้ามเนื้อ type IIB สูงและมีเส้นใยกล้ามเนื้อ type I ต่ำจะมีอัตราการสลายไกลโคเจนอย่างรวดเร็วทำให้ค่า pH_{45} ต่ำลักษณะเนื้อซีดและเกิด drip loss มากกว่ากล้ามเนื้ออื่น (Choe et al., 2008) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Larzul et al. (1997) ที่รายงานว่า $pH_{30 \text{ min}}$ มีความสัมพันธ์เชิงลบกับขนาดของพื้นที่หน้าตัดเส้นใยกล้ามเนื้อและปริมาณของเส้นใยกล้ามเนื้อ type IIB ซึ่งชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อเป็นปัจจัยสำคัญต่อความนุ่มของเนื้อ ในสุกรที่มีขนาดของเส้นใยกล้ามเนื้อขนาดใหญ่จะมีเส้นใยกล้ามเนื้อ type IIB มากมีผลทำให้เนื้อมีความเหนียวกว่าสุกรที่มีเส้นใยกล้ามเนื้อขนาดเล็ก และกล้ามเนื้อที่มีความเหนียวจะมีพื้นที่หน้าตัดเส้นใยกล้ามเนื้อขนาดใหญ่ด้วย (Choi and Kim, 2009) แสดงให้เห็นว่าการที่กล้ามเนื้อมีองค์ประกอบของเส้นใยกล้ามเนื้อ type IIB มากทำให้ค่า pH ภายหลังสัตว์ตายลดลงอย่างรวดเร็วทำให้กล้ามเนื้อมีลักษณะซีดและมีค่าการสูญเสีย น้ำของเนื้อมากและเนื้อสุกรมีความเหนียวมากกว่า

ตารางที่ 2.4 ร้อยละการแสดงออกของ myosin heavy chain isoforms (MYHC) ในสุกร 5 พันธุ์ที่ศึกษาด้วยเทคนิค real-time PCR

Item	Breed					P-value
	Pietrain (n = 6)	Duroc (n = 3)	Mongcai (n = 6)	DUPI ² (n = 36)	DUMI ³ (n = 12)	
MYHC I	9.4± 4.0 ^b	10.0± 5.7 ^{bc}	24.1± 4.0 ^{ac}	17.3±1.5 ^{bc}	25.9± 2.8 ^a	<0.01
MYHC IIA	4.3± 2.5 ^b	12.2± 3.5 ^b	28.6± 2.5 ^a	11.2±1.3 ^b	7.4±1.7 ^b	<0.001
MYHC IIX	20.9± 3.0 ^b	18.1± 4.3 ^b	35.9± 3.0 ^a	17.4±1.4 ^b	12.7± 2.1 ^b	<0.001
MYHC IIB	65.4± 4.8 ^a	59.7± 6.7 ^a	11.4± 4.8 ^b	54.0± 2.4 ^a	54.0± 3.4 ^a	<0.001

^{a-c} Within a row, means without a common superscript letter differ ($P < 0.05$).

²⁻³ DUPI = Duroc x Pietrain. DUMI = Duroc x Berlin Miniature.

ที่มา : Wimmers et al. (2008)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 ร้อยละการแสดงออกของ MYHC ของกล้ามเนื้อสันนอก (LD) และกล้ามเนื้อสันใน (Psoas.) ในสุกร 4 สายพันธุ์

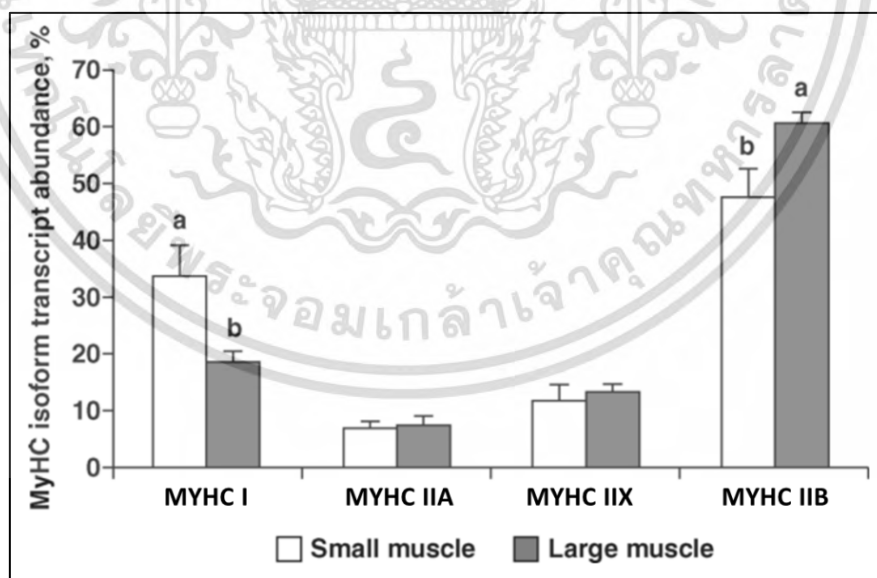
Trait	Muscle	Breed				S.E.M. ^a	Sig of breed ^b
		Berkshire	Duroc	LW	Tamworth		
MYHC I	LD	10.63 ^b	15.39 ^a	13.16 ^{ab}	12.97 ^{ab}	1.102	*
	Psoas	11.75 ^{ab}	14.48 ^a	9.05 ^b	11.85 ^{ab}	1.039	**
MYHC IIA	LD	4.32 ^{ab}	3.51 ^b	4.28 ^{ab}	6.24 ^a	0.821	+
	Psoas	10.18 ^b	14.77 ^a	7.85 ^c	7.21 ^c	0.799	***
MYHC IIX	LD	29.54 ^b	28.75 ^b	35.50 ^a	32.20 ^{ab}	1.620	**
	Psoas	40.24 ^a	37.41 ^{ab}	32.58 ^b	40.73 ^a	1.831	**
MYHC IIB	LD	54.38 ^a	52.55 ^{ab}	50.53 ^{ab}	48.64 ^b	1.771	+
	Psoas	43.04 ^b	42.39 ^b	50.93 ^a	39.52 ^b	1.946	***

Numbers of observations per muscle type are: Berkshire (n=15); Duroc (n=14); LW (n=15); Tamworth (n=15). Means in the same row with different letters differ, P<0.05.

^a S.E.M.=standard error of the means.

^b Significance test for breed effect: n.s., not significant, P>0.1; +, P<0.10; *, P<0.05; **, P<0.01; ***, P<0.001.

ที่มา : Chang et al. (2003)



ภาพที่ 2.9 ปริมาณการแสดงออกของ myosin heavy chain (MYHC) isoform (I, IIA, IIX, และ IIB) ในเนื้อสันที่มีหน้าตัดขนาดใหญ่และขนาดเล็กของสุกร

ที่มา : Wimmers et al. (2008)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ความสัมพันธ์ของยีนกับการสะสมไขมันแทรกในเนื้อสุกร

ยีนที่มีความสัมพันธ์กับการสะสมไขมันแทรกในเนื้อสุกร เช่น adipocyte fatty acid-binding protein gene (A-FABP) หรือ *FABP4* gene และ peroxisome proliferator-activated receptors gamma (PPAR γ)

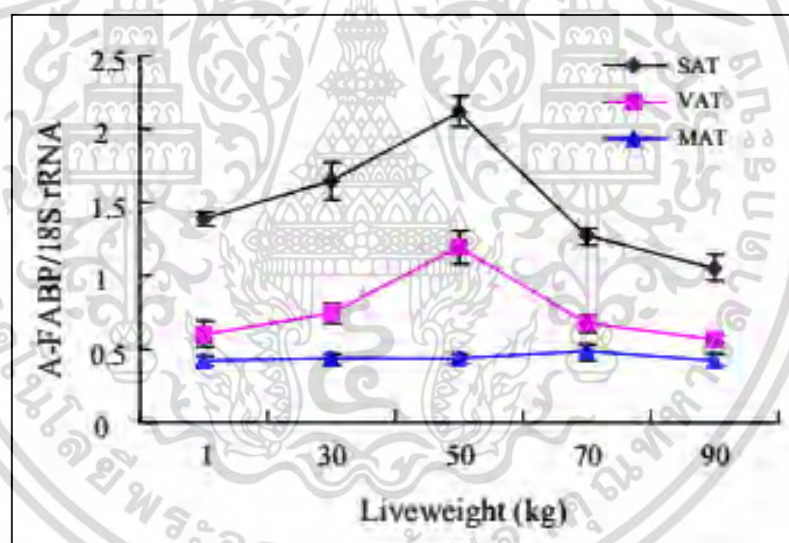
adipocyte fatty acid-binding protein (A-FABP) เป็นที่รู้จักในชื่ออื่น เช่น *FABP4* หรือ adipocyte P2 (aP2) ซึ่ง A-FABP จัดเป็นเอนไซม์ในกลุ่ม fatty acid-binding protein (FABP) เป็นโปรตีนที่สามารถพบได้ใน mature adipocyte และ adipose tissue การแสดงออกของ A-FABP มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการควบคุมการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ไขมัน (adipocyte) ซึ่งการทำงานของ A-FABP ถูกควบคุมจาก peroxisome proliferator-activated receptor (PPAR) γ agonists, fatty acids, insulin, และ dexamethasone (Furuhashi and Hotamisligil, 2008) A-FABP เป็นโปรตีนที่ช่วยในการดักจับและขนส่งกรดไขมันเข้าสู่ภายในเซลล์หลังจากขบวนการสลายไขมัน (triglyceride hydrolysis) เพื่อนำกรดไขมันอิสระส่งให้กับ PPAR (Veerkamp and Maatman, 1995; Hertz and Bernlohr, 2000) Xu et al., (2007) รายงานว่า น้ำหนักของสุกรและชนิดของเนื้อเยื่อไขมันมีปริมาณการแสดงออกของยีน A-FABP ที่ต่างกัน โดยในเนื้อเยื่อของไขมันใต้ผิวหนัง (subcutaneous adipose tissue) จะมีการแสดงออกของยีน A-FABP มากกว่าเนื้อเยื่อไขมันช่องท้อง (ventral adipose tissue) และเนื้อเยื่อไขมันบนเยื่อแขวนลำไส้ (mesenteric adipose tissue) ปริมาณการแสดงออกของ A-FABP จะแตกต่างกันตามอายุของสุกร โดยมีการแสดงออกสูงที่สุดเมื่อสุกรมีน้ำหนัก 50 กิโลกรัม (ภาพที่ 2.10)

peroxisome proliferator-activated receptors (PPARs) เป็นกลุ่มของ nuclear hormone receptor ในกลุ่ม steroid/retinoid nuclear receptor superfamily ซึ่งแยกได้เป็น 3 รูปแบบ (isoform) ได้แก่ รูปแบบแอลฟา (PPAR α) รูปบีตา (PPAR β) และรูปแกมมา (PPAR γ) โดย PPAR α แสดงออกในตับและไตของสัตว์ฟันแทะ (rodent) ในคนพบมากในตับและกล้ามเนื้อ PPAR β พบได้ในเนื้อเยื่อทุกชนิดในร่างกาย ส่วน gamma (PPAR γ) เป็นตัวชักนำให้เกิดการสร้างเซลล์ไขมัน (adipocyte) จากเซลล์ตั้งต้นที่เรียกว่า preadipocyte (Michalik et al., 2002; Rosen et al., 2000; ต่อศักดิ์และปัทมวรรณ, 2554) นอกจากนี้ PPAR γ ยังทำหน้าที่ควบคุมการตอบสนองของเซลล์ต่ออินซูลิน (insulin sensitivity) การสังเคราะห์ไขมัน (lipogenesis) การสะสมไขมัน (lipid storage) การเผาผลาญกลูโคส (glucose metabolism) และ ควบคุมการทำงานของยีนที่มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการเผาผลาญพลังงาน (Liu et al., 2017)

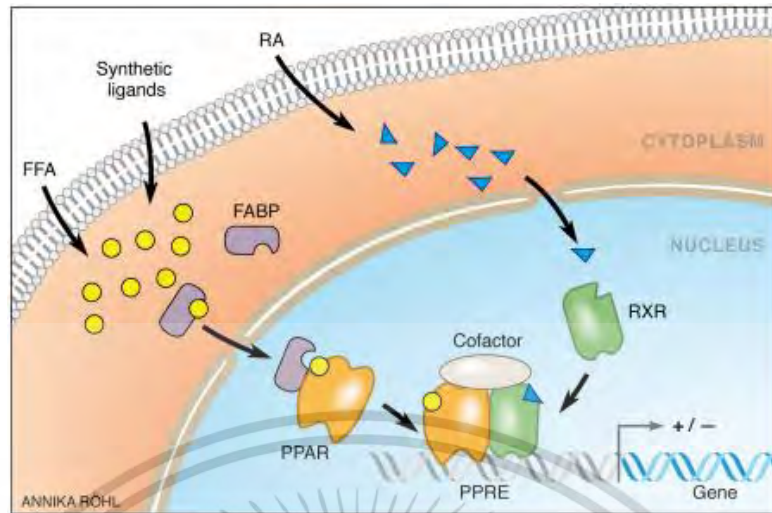
PPAR จัดเป็น ligand dependent transcription factor ที่ควบคุมการแสดงออกของยีนเป้าหมายหลายชนิดโดยที่ PPAR สามารถจับกับลำดับเบสจำเพาะที่เรียกว่า PPRE (PPAR responsive element) ในบริเวณที่มียีนเป้าหมาย โดย PPRE เป็นลักษณะของลำดับเบสซ้ำ (direct repeated sequence) โดยทั่วไป PPAR จะจับบน PPRE บนยีนเป้าหมายได้ โดยมี retinoid X เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ผ่านการอนุมัติฯ

receptor (RXR) จับกับ PPAR ในลักษณะ heterodimer-DNA sequence complex ภายในนิวเคลียส เมื่อ PPAR รับกรดไขมันอิสระ (free fatty acid : FFA) จากเอนไซม์ FABP ทำให้รูปร่างของ PPAR เปลี่ยนแปลงเป็นรูปแบบที่เสถียรมากขึ้น จึงเกิดการจับตัวกับ RXR และส่งสัญญาณให้เกิดการสังเคราะห์ไขมัน (ภาพที่ 2.11) (Ehrenborg and Krook, 2009)

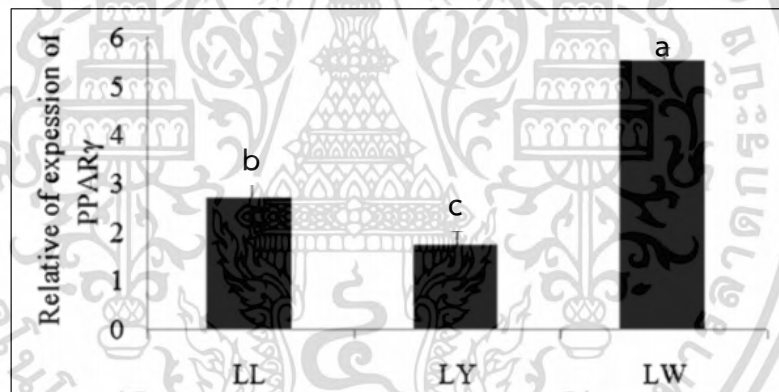
peroxisome proliferator-activated receptors gamma (PPAR γ) เป็น nuclear receptor ที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการทำงานของยีนหลายชนิด และมีความสัมพันธ์กับการสลายน้ำตาลและการสังเคราะห์ไขมัน จากการศึกษาพบว่า การทำงานของ PPAR γ มีหน้าที่สำคัญต่อการสะสมไขมันของสัตว์ในการศึกษาสุกรพันธุ์ Laiwu (LW) ซึ่งเป็นสุกรพันธุ์พื้นเมืองของประเทศจีนและเป็นที่ยอมรับกันดีว่ามีคุณภาพเนื้อที่ดีและมีปริมาณของไขมันแทรกที่สูงเมื่อเทียบกับสุกรพันธุ์ Large White (LY) (ตารางที่ 2.6) และยังพบการแสดงออกของยีน PPAR γ ที่สูงกว่าอีกด้วย (ภาพที่ 2.12) อีกทั้งมีรายงานถึงความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างการแสดงออกของยีน PPAR γ กับปริมาณของไขมันแทรก ($r=0.58, P<0.05$) (Cui et al., 2016)



ภาพที่ 2.10 ปริมาณการแสดงออกของยีน A-FABP ในเนื้อเยื่อของไขมันใต้ผิวหนัง (subcutaneous adipose tissue ; SAT) เนื้อเยื่อไขมันช่องท้อง (ventral adipose tissue ; VAT) และ เนื้อเยื่อไขมันบนเยื่อแขวนลำไส้ (mesenteric adipose tissue ; MAT) ของสุกรที่น้ำหนักต่างกัน
ที่มา : ดัดแปลงจาก Xu et al. (2007)



ภาพที่ 2.11 โครงสร้างและการทำงานของ PPARs และ FABP
ที่มา : ดัดแปลงจาก Ehrenborg and Krook (2009)



ภาพที่ 2.12 การแสดงออกของยีน PPAR γ ของสุกรพันธุ์ Lulai Black (LW), Lulai Black (LL), Large White (LY)
ที่มา : ดัดแปลงจาก Cui et al. (2016)

ตารางที่ 2.6 ปริมาณของไขมันแทรกในสุกรแต่ละสายพันธุ์

trait	LL	LY	LW
Intramuscular fat (%)	3.63±0.82 ^b	1.15±0.1 ^c	15.94±1.8 ^a

^{a-c} Within a row, means without a common superscript letter differ (P < 0.05).

Lulai Black (LL), Large White (LY), Laiwu Black (LW)

ที่มา : ดัดแปลงจาก Cui et al. (2016)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ความสัมพันธ์ของยีนกับการสลายพลังงานในกล้ามเนื้อ

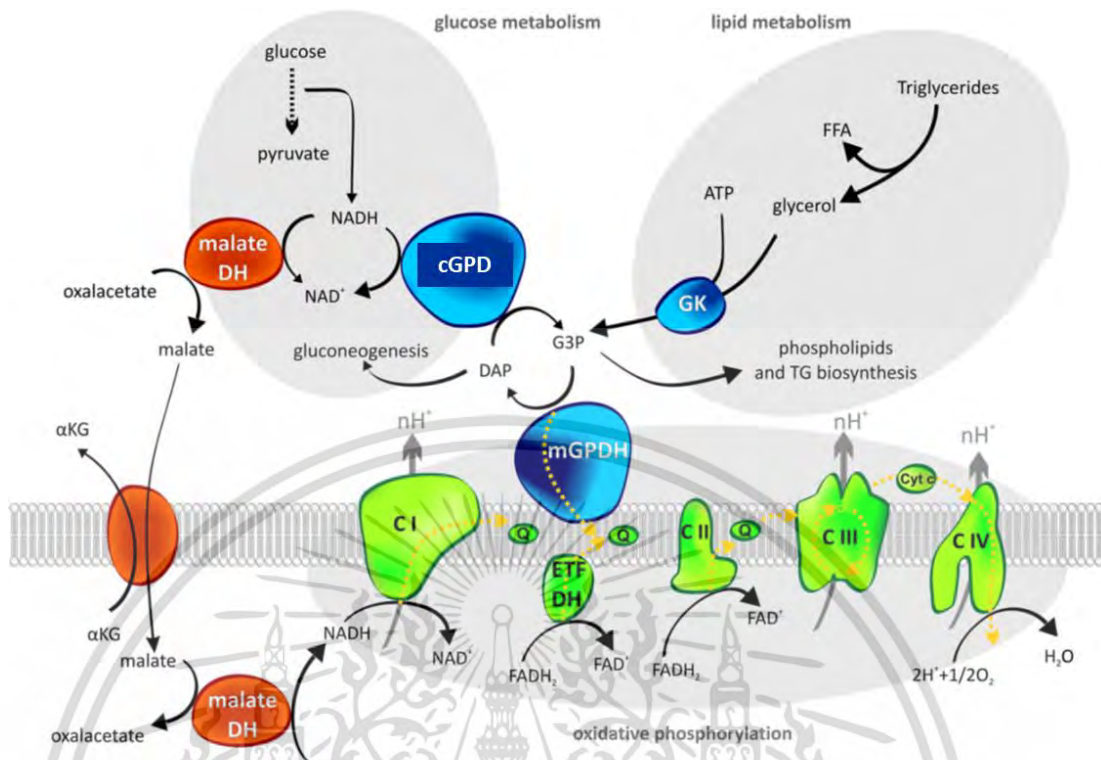
ไกลโคไลซิส (glycolysis) เป็นกระบวนการสลายกลูโคส (glucose) ที่เกิดขึ้นต่อเนื่องหลายขั้นตอนเพื่อให้เกิดเป็นไพรูเวต (pyruvate) โดยจะได้พลังงานทั้งในรูป ATP และ NADH กระบวนการนี้เกิดขึ้นกับเซลล์ของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด โดยเกิดขึ้นในส่วนไซโตซอล เป็นปฏิกิริยาที่ไม่ต้องใช้ออกซิเจน คือเกิดได้ไม่ว่าจะมีออกซิเจนหรือไม่ก็ตาม แต่ไพรูเวตที่เกิดขึ้นนั้นสามารถถูกนำไปใช้ได้ทั้งในแบบปฏิกิริยาที่ใช้ออกซิเจน โดยผ่านทางวัฏจักรเครปส์ และระบบถ่ายทอดอิเล็กตรอน หรือไม่ใช้ออกซิเจน โดยเปลี่ยนเป็นกรดแลกเตต (lactate) ซึ่งเกิดขึ้นในกล้ามเนื้อที่ทำงานหนัก (ภาพที่ 2.13) กระบวนการไกลโคไลซิสมีเอนไซม์ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับหลายชนิด จากการศึกษาพบว่า ยีน Triosephosphate isomerase 1 (TPI1) สำหรับการสังเคราะห์เอนไซม์ Triosephosphate isomerase (TPI) ที่มีความจำเป็นต่อการกระตุ้นการเปลี่ยนแปลงระหว่าง dihydroxyacetone phosphate และ d-glyceraldehyde 3-phosphate และยีน Phosphoglucomutase 1 (PGM1) สำหรับสร้างเอนไซม์ Phosphoglucomutase (PGM) ซึ่งทำหน้าที่ในการเปลี่ยน glucose-1-phosphate ให้เป็น glucose-6-phosphate ในกระบวนการ glycolysis ที่เกิดขึ้นในเซลล์และเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต ซึ่งทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของปฏิกิริยา phosphorylation และมีส่วนทำให้เส้นใยกล้ามเนื้อประเภท oxidative fibers ลดลง (Hemmer et al., 1993; Hollán et al., 1995; Xu et al., 2009) จากการศึกษาของ Xu et al., (2009) พบว่า ยีน TPI1 และ PGM1 มีการแสดงออกในสุกรพันธุ์ Large White สูงกว่าสุกรพันธุ์ Meishan การแสดงออกของยีน TPI1 และ PGM1 ที่มากแสดงให้เห็นว่าสุกรพันธุ์ Large White เกิดกระบวนการสลายพลังงานในกล้ามเนื้อ (glycolysis metabolism) ที่สูง ซึ่งมีการใช้พลังงานในรูปของคาร์โบไฮเดรตมากกว่าไขมัน และอาจมีการสะสม glycogen ในกล้ามเนื้อสูง

cytosolic glycerol-3-phosphate dehydrogenase (cGPD) และ mitochondria glycerol-3-phosphate dehydrogenase (mGPD) เป็นเอนไซม์ที่มีหน้าที่ในกระบวนการเปลี่ยน dihydroxyacetone phosphate ให้เป็น glycerol-3-phosphate ในกระบวนการ glycolysis ซึ่งกลไกการทำงานของเอนไซม์ cGPD ในปฏิกิริยา oxidation ของกระบวนการสังเคราะห์ NADH glycerol-3-phosphate dehydrogenase (GPD) ทำหน้าที่ขนส่งและกระตุ้นการเปลี่ยนแปลง dihydroxyacetone phosphate ให้กลายเป็น glycerol-3-phosphate ที่จะถูกนำไปเข้าสู่กระบวนการสังเคราะห์ไขมัน (lipid metabolism) (ภาพที่ 2.14) (Beatriz and Contreras, 2012; Fell and Small, 1986) จากการศึกษาของ Xu et al. (2009) รายงานว่า สุกรพันธุ์ Meishan มีการแสดงออกของยีน cGPD สูงกว่าสุกรพันธุ์ Large White เป็นผลทำให้สุกรพันธุ์ Meishan มีความสามารถในการสะสมไขมันและมีปริมาณไขมันแทรกในเนื้อที่สูง (ภาพที่ 2.15) และมีรายงานว่า cGPD เป็นเครื่องบ่งชี้ต่อกระบวนการสังเคราะห์ triglyceride ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (Beatriz and Contreras, 2012; Salazar-Olivo et al., 1995)



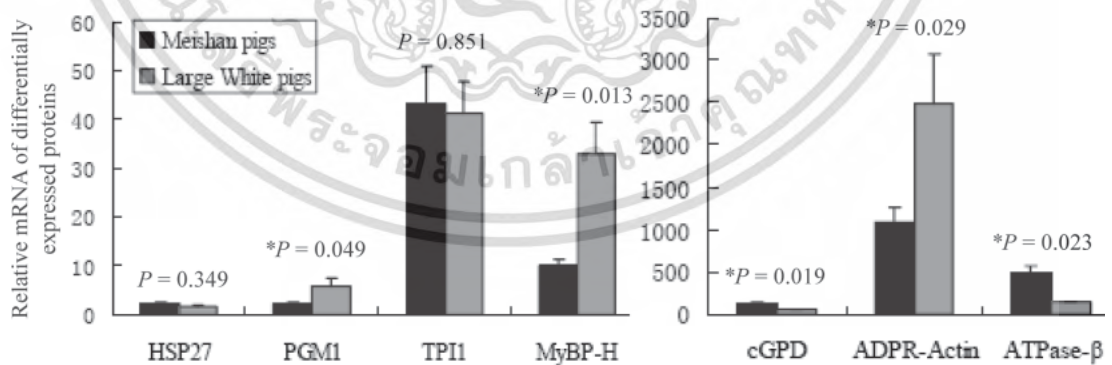
ภาพที่ 2.13 กระบวนการสลายพลังงาน (glycolysis) และกระบวนการสังเคราะห์กลูโคส (gluconeogenesis) ที่มา : Bian et al., 2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.14 การเปลี่ยน dihydroxyacetone phosphate (DHAP) ให้เป็น glycerol 3-phosphate ด้วยเอนไซม์ cytosolic glycerol-3-phosphate dehydrogenase (cGPD)

ที่มา : ดัดแปลงจาก Mráček et al., (2013)



ภาพที่ 2.15 การแสดงออกของยีน 7 ชนิด ของสุกรพันธุ์ Meishan และ Large White ซึ่งทดสอบด้วยวิธี realtime-PCR

ที่มา : Xu et al. (2009)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 เอนไซม์คาลเพน (calpain enzyme)

เอนไซม์ calpain เป็นเอนไซม์ที่ต้องการแคลเซียม (calcium-dependent proteinases) ที่อยู่ในรูปประจุ (Ca^{2+}) มาเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการทำงาน (Koochmaraie. 1994) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำงานได้ดีในเนื้อที่มีสภาวะค่า pH ที่ 6.0-7.0 โดยพบว่า มี calpastatin เป็นตัวยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ calpain โดยเอนไซม์กลุ่มนี้ประกอบด้วยเอนไซม์สำคัญ 2 ชนิด คือ

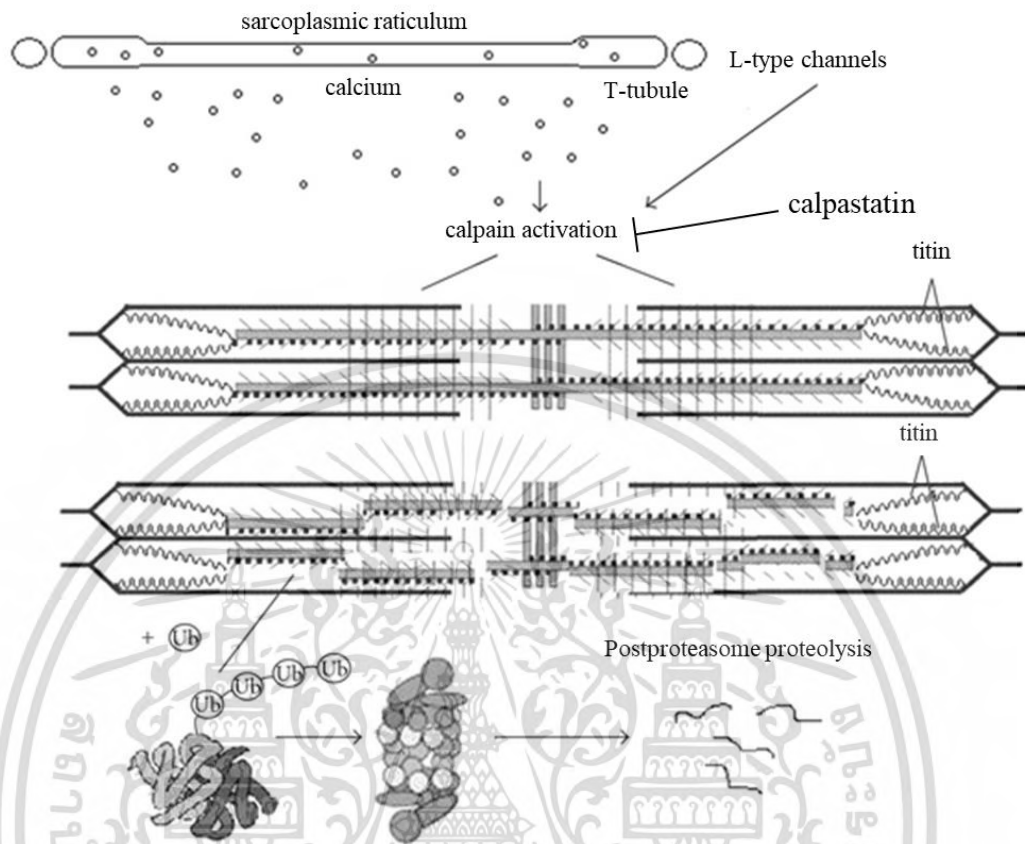
2.6.1 calpain I หรือ μ -calpain เป็นเอนไซม์ที่ต้องการความเข้มข้นของแคลเซียมมาเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการทำงานในระดับ 10 ไมโครโมล

2.6.2 calpain II หรือ m -calpain เป็นเอนไซม์ที่ต้องการความเข้มข้นของแคลเซียมมาเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการทำงานในระดับ 200-300 ไมโครโมล (Morgan et al. 1993)

โดยเอนไซม์กลุ่มนี้จะมีบทบาทที่สำคัญในการย่อยสลายโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ในกล้ามเนื้อภายหลังสัตว์ตาย เนื่องจากจะเข้าไปสลายโปรตีนบริเวณ Z-line ซึ่งเอนไซม์ calpain I เข้าย่อยสลายโปรตีนบริเวณ Z-line ร้อยละ 60 บริเวณ I-band ร้อยละ 20 และบริเวณ A-band ร้อยละ 14 (Koochmaraie, 1994; Kachaeva, 2012) (ภาพที่ 2.16)

2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเอนไซม์คาลเพนกับคุณภาพเนื้อ

เอนไซม์ที่ทำการย่อยสลายโปรตีนภายหลังสัตว์ตาย เช่น เอนไซม์ calpains และโปรตีนที่ขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ calpains คือ calpastatin ในสัตว์แต่ละสายพันธุ์ก็มีปริมาณเอนไซม์และโปรตีนในสัดส่วนที่แตกต่างกัน ทำให้เนื้อมีความนุ่มแตกต่างกัน จากการศึกษาของ Pomponio and Erbjeng (2012) รายงานว่า calpain I และ calpain II เป็นเอนไซม์ที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการย่อยสลายของโปรตีนระหว่างการบ่มเนื้อ การทำงานของเอนไซม์ calpains อาศัยแคลเซียมเป็นตัวกระตุ้น ความเข้มข้นของแคลเซียมอิสระจะเพิ่มความเข้มข้นจาก 106 ไมโครโมล ในวันที่ 1 เป็น 189 ไมโครโมล ในวันที่ 7 ภายหลังสัตว์ตาย (กล้ามเนื้อสันนอกของแกะ) ในกระต่าย สุกร โค และไก่ พบแคลเซียมอิสระประมาณ 220 ไมโครโมล และความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามชนิดกล้ามเนื้อ จากการศึกษาของ Pringle et al. (1997) กล่าวว่า การที่โปรตีนคาลปาสเตตินมีปริมาณเพิ่มขึ้นหลังสัตว์ตายจะมีผลทำให้เอนไซม์คาลเพนทำงานได้น้อยลงและส่งผลทำให้ความนุ่มของเนื้อสัตว์ลดลง การย่อยสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ calpain ซึ่งมีผลทำให้เนื้อมีความนุ่มมากยิ่งขึ้น เอนไซม์ calpain I สังเคราะห์ขึ้นจากยีน CAPN1 และเอนไซม์ calpain II สังเคราะห์ขึ้นจากยีน CAPN2 ส่วน calpastatin สังเคราะห์ขึ้นจากยีน CAST (Gandolfi, 2011) จากการศึกษาของ Wang et al. (2015) รายงานว่า สุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ (Duroc x Landrace x Yorkshire) มีการแสดงออกของยีน CAPN1 และมีกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ calpain 1 ที่สูง กว่าสุกรพันธุ์ Meishan



ภาพที่ 2.16 การทำงานของเอนไซม์คาลเพน (calpain activities) และ calpastatin
ที่เป็นตัวขัดขวางการทำงานของเอนไซม์คาลเพน
ที่มา : ดัดแปลงจาก Kachaeva (2012)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สัตว์ทดลอง

การศึกษาครั้งนี้ทำการศึกษาในสุกร 5 กลุ่ม คือ สุกรดูโรคพันธุ์แท้ 1 กลุ่ม สุกรลูกผสมสองสาย 2 กลุ่ม (LWLR1 และ LWLR2) และสุกรลูกผสมสามสาย 2 กลุ่ม (DLWLR1 และ DLWLR2) โดยมีสุกรกลุ่มละ 10 ตัว แบ่งเป็น เพศผู้ตอน 5 ตัว เพศเมีย 5 ตัว รวมทั้งหมด 50 ตัว (ภาพที่ 3.1) ทำการเลี้ยงสุกรจากน้ำหนักประมาณ 20 กิโลกรัม และทำการฆ่าเมื่อน้ำหนักประมาณ 110 กิโลกรัม ณ โรงฆ่าบริษัท เบทาโกร เซฟตี้มีท แพคกิ้ง จำกัด จังหวัดลพบุรี



ภาพที่ 3.1 แสดงการจัดสุกรพันธุ์แท้และสุกรลูกผสมพันธุ์ดูโรคที่ใช้ในการทดลอง

3.2 การเก็บตัวอย่างเพื่อศึกษาการแสดงออกของยีน

เก็บตัวอย่างกล้ามเนื้อสันนอกภายหลังสัตว์ตายประมาณ 2 ชั่วโมง โดยเก็บจากชิ้นเนื้อบริเวณซี่โครงซี่ที่ 13-14 จากซากซีกซ้ายของสุกรแต่ละตัวประมาณ 100 กรัม นำตัวอย่างเนื้อที่ได้ไปเก็บรักษาในไนโตรเจนเหลว (liquid nitrogen) แล้วขนส่งตัวอย่างเนื้อไปยังคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง นำตัวอย่างไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปศึกษาปริมาณการแสดงออกของยีน MYHC isoform, PPAR γ , A-FABP, cGPD, PGM1, TPI1, CAPN1, CAPN2 และ CAST ด้วยเทคนิค real-time PCR โดยใช้ primer เป็นตัวเริ่มการสังเคราะห์ cDNA (ตารางที่ 3.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การศึกษาปริมาณการแสดงออกของยีน

3.3.1 การสกัด RNA

ทำการบดตัวอย่างเนื้อให้ละเอียดระหว่างบดให้รักษาอุณหภูมิของตัวอย่างเนื้อด้วยไนโตรเจนเหลว จากนั้นชั่งตัวอย่างเนื้อสุกรให้ได้น้ำหนักประมาณ 0.15 กรัม การสกัด RNA โดยใช้ TRIZOL Reagent (Invitrogen, Karlsruhe, Germany) ด้วยการเติมสารละลาย TRIZOL Reagent ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร จากนั้นปั่นตัวอย่างเนื้อสุกรด้วยเครื่อง Homogenizer เป็นเวลา 20 วินาที จำนวน 2 ครั้ง นำตัวอย่างที่ปั่นแล้วเทลงในหลอดทดลองขนาด 1.5 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 13,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้เกิดการแยกชั้นระหว่างสารละลายที่มี RNA กับสารอินทรีย์อื่น ๆ ทำการเก็บของเหลวใสส่วนบน (supernatant) ลงในหลอดทดลองขนาด 1.5 มิลลิลิตร บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเติม Chloroform 200 ไมโครลิตร เพื่อให้เกิดการแยกชั้นของสารละลาย RNA ทำการเขย่าด้วยมือ ตั้งไว้ในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 นาที นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 13,000 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ทำการเก็บของเหลวใสส่วนบนในหลอดทดลองขนาด 1.5 มิลลิลิตร เติม Isopropanol 250 ไมโครลิตร และ NaCl/NaCl 250 ไมโครลิตร บ่มที่อุณหภูมิห้อง นาน 10 นาที นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 13,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จะสังเกตเห็นตะกอน (pellet) สีขาวอยู่บริเวณก้นของหลอดทดลอง ให้นำของเหลวใสทั้งหมดออกโดยระมัดระวังส่วนที่เป็นตะกอน จากนั้นเติมด้วย 75% Ethanol 1 มิลลิลิตร นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 13,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที นำส่วนใสทั้งหมดออกแล้วตั้งทิ้งให้แห้งในอุณหภูมิห้อง จากนั้นเติม RNase free water 40 ไมโครลิตร สามารถเก็บ stock RNA ที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส

3.3.2 การวัดความเข้มข้นของ RNA

นำ RNA จาก stock RNA จำนวน 2 ไมโครลิตร ผสมกับ RNase free water ปริมาตร 198 ไมโครลิตร ไปวัดความเข้มข้นของ RNA ด้วยเครื่อง Spectrophotometer (Bio-Rad, USA) ใช้ความยาวคลื่นที่ 260 และ 280 นาโนเมตร เพื่อวัดความเข้มข้นและตรวจสอบคุณภาพของ RNA โดยสัดส่วนค่าการดูดกลืนแสง (absorbance : A) อยู่ในช่วง 1.8 ถึง 2.0 แสดงว่า RNA ที่สกัดได้มีความบริสุทธิ์หรือมีคุณภาพดี

3.3.3 การสลาย DNA (DNase step)

หลังจากทำการวัดค่าความเข้มข้นของ RNA ในแต่ละตัวอย่างแล้วให้นำค่าความเข้มข้นที่อ่านได้จากเครื่อง Spectrophotometer (Bio-Rad, USA) ปรับให้ความเข้มข้นของ RNA เป็น 1 ไมโครกรัม ต่อ ไมโครลิตร ด้วย 10X reaction buffer with MgCl₂ 1 ไมโครลิตร Ribolock 1 unit เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 ไมโครลิตร DNase I 1 ไมโครลิตร และปรับปริมาตรด้วย DEPC water ให้ได้ปริมาตรสุทธิ 10 ไมโครลิตร ทำการเขย่าให้สารละลายผสมกันแล้วปั่นเหวี่ยงเพื่อให้สารละลายตกลงมาบริเวณด้านล่างนำไปป่มในเครื่อง Thermal Cycler (Bio-Rad, USA) ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำมาเติมด้วย EDTA 1 ไมโครลิตร แล้วนำไปป่มต่อที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที สามารถเก็บได้ที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส ได้นาน 6 เดือน

3.4 การสังเคราะห์ complementary DNA (cDNA)

ทำการสังเคราะห์ First-strand cDNA จาก RNA ที่ได้จากขั้นตอน DNase step โดยการเติม random primer 1 ไมโครลิตร, RNA เข้มข้น 0.1 ไมโครกรัม/ไมโครลิตร 5 ไมโครลิตร และ Nuclease free water 6 ไมโครลิตร นำไปป่มที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเติมด้วย transcription mixture ซึ่งประกอบด้วย first strand 5X reaction buffer 4 ไมโครลิตร, 10 mM deoxynucleoside triphosphate 2 ไมโครลิตร, RevertAid reverse transcriptase 1 ไมโครลิตร และ Ribolock RNase inhibitor 1 ไมโครลิตร ป่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที และนำเข้าเครื่อง Thermal Cycler (Bio-Rad, USA) ที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที หลังจากนั้นหยุดปฏิกิริยาด้วยอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา 5 นาที

3.5 การวิเคราะห์การแสดงออกของยีนด้วยเทคนิค Real-Time PCR

3.5.1 การเตรียม Standard Curve

กราฟมาตรฐานเตรียมได้จากการนำ cDNA ของตัวอย่างทั้งหมดที่ปริมาตรเท่า ๆ กัน (pool cDNA) มารวม โดยจะต้องทำการตรวจสอบปริมาณการแสดงออกของยีนมาตรฐานก่อน โดยใช้ β -actin เป็นตัวทดสอบตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์การแสดงออกของ MYHC isoform และใช้ GAPDH เป็นยีนมาตรฐานในการทดสอบตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์การแสดงออกของ A-FABP, PPAR γ , TPI1, PGM1, cGPD, CAPN1, CAPN2, และ CAST ถ้าตัวอย่างใดมีปริมาณการแสดงออกของยีนมาตรฐานที่ทดสอบด้วยเทคนิค real-time PCR เกินจากตัวอย่างอื่น ($SD \pm 5$) จะไม่ถูกนำมา รวมกับ cDNA อื่น

เตรียมตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของ pool cDNA : RNase free water ในอัตราส่วน 1:0, 1:4, 1:16, 1:64 และ 1:256 ตามลำดับเพื่อทำเป็นกราฟมาตรฐาน (standard curve)

3.5.2 การศึกษาการแสดงออกของยีนด้วยเทคนิค Real-Time PCR

ศึกษาการแสดงออกของยีนโดยใช้เครื่อง Bio-Rad CFX96 system (Bio-Rad, USA)

ส่วนประกอบของสารละลายในวิเคราะห์การแสดงออกของยีนประกอบด้วยตัวอย่าง cDNA, forward primer, reverse primer, Taq polymerase, dNTPs, และ SYBR Green. การวิเคราะห์การแสดงออกของยีนทำได้โดยการวัดค่า fluorescence intensity ของ SYBR Green ที่ปล่อยออกมาเมื่อมีการจับคู่เบสระหว่าง primer กับ target DNA. ค่า fluorescence intensity นี้จะแปรผันตรงกับปริมาณของ target DNA ที่อยู่ในตัวอย่าง. การวิเคราะห์การแสดงออกของยีนทำได้โดยการวัดค่า fluorescence intensity ของ SYBR Green ที่ปล่อยออกมาเมื่อมีการจับคู่เบสระหว่าง primer กับ target DNA. ค่า fluorescence intensity นี้จะแปรผันตรงกับปริมาณของ target DNA ที่อยู่ในตัวอย่าง. การวิเคราะห์การแสดงออกของยีนทำได้โดยการวัดค่า fluorescence intensity ของ SYBR Green ที่ปล่อยออกมาเมื่อมีการจับคู่เบสระหว่าง primer กับ target DNA. ค่า fluorescence intensity นี้จะแปรผันตรงกับปริมาณของ target DNA ที่อยู่ในตัวอย่าง.

และ reverse primers และ SYBR Green (SensiFast™ SYBR, BIOLINE) ซึ่งประกอบไปด้วย SYBR Green I dye, DNA polymerase, deoxynucleoside triphosphate และ deoxyuridine triphosphate, และ stabilizers and enhancers ในปฏิกิริยาปริมาตร 10 ไมโครลิตร

กระบวนการเกิดปฏิกิริยาที่ใช้ในการเพิ่มปริมาณของ DNA เรียกว่า polymerase chain reaction หรือ PCR มีขั้นตอน คือ 1) ขั้นตอนการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ polymerase (polymerase activation) ใช้อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที 2) ขั้นตอน denaturation เป็นการเพิ่มอุณหภูมิในหลอดทดลองเพื่อให้ DNA ที่พันกันเป็นเกลียวคู่ (double helix) แยกออกจากกัน กลายเป็น DNA สายเดี่ยวที่จะเป็นต้นแบบของการสังเคราะห์ DNA สายใหม่ ใช้อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วินาที 3) ขั้นตอน primer annealing เป็นการลดอุณหภูมิเพื่อให้ primer จับกับ DNA และ 4) ขั้นตอน primer extension เป็นการสังเคราะห์ DNA สายใหม่ ที่มี DNA สายเดี่ยวเป็นต้นแบบโดยสร้างต่อออกไปจาก primer โดยใช้อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส นาน 15 วินาที การตั้งค่าการเกิดปฏิกิริยา PCR ทั้งสิ้นจำนวน 40 รอบ (cycles) เปรียบเทียบการแสดงผลของยีนของตัวอย่างที่วัดได้โดยเปรียบเทียบกับ standard curve ด้วยโปรแกรม Biorad-Rad CFX Manager โดยนำค่า E (PCR reaction efficiencies) และ C_T (cycle threshold) ที่ปรากฏในโปรแกรมไปคำนวณหาสัดส่วนการแสดงผลของยีน (relative expression ratio : rER) MYHC ดังสมการ (Hemmings et al., 2009)

$$rER = \frac{[1 + E(\text{MYHC target gene})]^{-C_T(\text{MYHC target gene})}}{[1 + E(\text{MYHC control gene})]^{-C_T(\text{MYHC control gene})}}$$

เมื่อ E : PCR reaction efficiencies
rER : relative expression ratio
 C_T : cycle threshold

ส่วนการศึกษาการแสดงผลของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างไขมัน คือ A-FABP และ PPAR γ กระบวนการเมแทบอลิซึมของกล้ามเนื้อ คือ TPI1 PGM1 และ cGPD และการย่อยสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อ คือ CAPN1 CAPN2 และ CAST ใช้การแสดงผลของยีน GAPDH ของตัวอย่างเนื้อสุกรเป็นยีนควบคุมภายใน (reference gene) การคำนวณอัตราส่วน (ratio) การแสดงผลของยีนใช้ค่า Starting Quantity (SQ) ที่แสดงในโปรแกรม Biorad-Rad CFX Manager ของยีนที่ต้องการศึกษา (target gene) และ ยีนควบคุมภายใน (reference gene) ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลเซียส จากนั้นนำถุงที่บรรจุตัวอย่างเนื้อที่ต้มแล้วมาทำให้เย็นลง โดยการแช่ในน้ำที่ไหลผ่านนาน 30 นาที หรือให้อุณหภูมิใจกลางของเนื้ออยู่ที่ 32 องศาเซลเซียส จึงนำเนื้อออกจากถุง ซับน้ำที่ผิวของตัวอย่างเนื้อให้แห้งเล็กน้อย และชั่งน้ำหนักหลังต้ม (W2) นำน้ำหนักก่อนและหลังมาคำนวณการสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงสุก ตามสมการดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงสุก} = \frac{[(W1-W2)]}{W1} \times 100$$

หลังจากชั่งน้ำหนักเนื้อหลังตัดแต่งแล้วนำเนื้อตัวอย่างมาตัดตามแนวยาวของเส้นใยกล้ามเนื้อให้มีขนาด กว้างxยาวxสูง เท่ากับ 1x3x1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ตัวอย่างละ 10 ชิ้น แล้วนำไปวัดค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (Warner-Bratzler shear force ; WBSF) ด้วยเครื่อง Instron model 1011 (Intron, U.S.A.) ความเร็วในการตัดที่ 500 มิลลิเมตรต่อนาที ที่น้ำหนัก 500 นิวตัน โดยกำหนดหน่วยเป็น กิโลกรัม

3.6.4 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษา (drip loss) ตามวิธีที่แนะนำโดย Muhlisin et al. (2014)

นำเนื้อสันนอกที่ผ่านการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างเนื้อสันนอกหนาประมาณ 1 เซนติเมตร จำนวน 2 ชิ้น น้ำหนักชิ้นละประมาณ 70-100 กรัม นำมาตัดแต่งส่วนที่เป็นผิวหนังและไขมันออก ทำการชั่งและบันทึกน้ำหนักเริ่มต้น (D1) จากนั้นนำชิ้นเนื้อเกี่ยวกับลวดแขวนบรรจุในถุงพลาสติกชนิด PVC โดยไม่ให้เนื้อสัมผัสกับถุงพลาสติก ปิดปากถุงให้สนิท นำไปแขวนในห้องที่มีอุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำเนื้อออกจากถุงและนำมาชั่งให้แห้ง ทำการชั่งและบันทึกน้ำหนักสุดท้าย (D2) นำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษา ที่ 48 ชั่วโมง ตามสูตรดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษา} = \frac{[(D1-D2)]}{D1} \times 100$$

3.6.5 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อ

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อด้วยวิธี proximate analysis เพื่อหาความชื้น (moisture) ปริมาณไขมัน (ether extract, EE) และปริมาณโปรตีน (crude protein, CP) ตามวิธีการของ AOAC (2005)

3.7 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสี่สแควร์ (LSM) ของการแสดงออกของยีนและคุณภาพเนื้อของสุกรแต่ละกลุ่มและสุกรต่างเพศ โดยใช้โปรแกรม SAS (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) ซึ่งมีปัจจัย 2 ปัจจัย คือ กลุ่มสุกร และเพศ โดยมีหุ่นทางสถิติ ดังนี้

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + S_j + T_iS_j + E_{ijk}$$

โดยที่

Y_{ij} คือ ค่าสังเกตของลักษณะที่ศึกษา

μ คือ ค่าเฉลี่ยทั้งหมดของค่าสังเกตที่ศึกษาที่ไม่รวมปัจจัยเรื่องกลุ่มและเพศของสุกร

T_i คือ กลุ่มของสุกรที่ศึกษา เมื่อ $i = 1, 2, 3, 4$ และ 5 (1 คือ D 2 คือ DLWLR1 3 คือ DLWLR2 4 คือ LWLR1 และ 5 คือ LWLR2)

S_j คือ เพศของสุกรที่ศึกษา เมื่อ $j = 1$ และ 2 (1 คือ เพศผู้ตอ และ 2 คือ เพศเมีย)

T_iS_j คือ อิทธิพลร่วมระหว่างกลุ่มและเพศของสุกร

E_{ijk} คือ ค่าความคลาดเคลื่อนทั้งหมดของการทดลอง

ตารางที่ 3.1 แสดง primer ในการศึกษาการแสดงออกของยีนในกลุ่มเนื้อสันนอกของสุกรดุรอคพันธุ์แท้และสุกรลูกผสมทางการค้า

Gene	Primer sequence (5' to 3')	Annealing temperature, °C	Accession no.	Reference
MYHC I	Forward: AAGGGCTTGAACGAGGAGTAGA	60	AB053226	Wimmers et al. (2008)
	Reverse: TTATTCTGCTTCCTCAAAGGG			
MYHC IIA	Forward: GCTGAGCGAGCTGAAATCC	60	AB025260	
	Reverse: ACTGAGACACCAGAGCTTCT			
MYHC IIX	Forward: AGAAGATCAACTGAGTGAAC	60	AB025262	
	Reverse: AGAGCTGAGAACTAACGTG			
MYHC IIB	Forward: ATGAAGAGGAACACATTA	57	AB025261	
	Reverse: TTATTGCCTCAGTAGCTTG			
A-FABP	Forward: TACTGAGATTGCCTTCAAATTGGG	60	-	Xu et al. (2007)
	Reverse: TCTGGTAGCCGTGACACCTTTC			
PPAR γ	Forward: GACATGAATTCCTTAATG	60	AJ006756	Grindflek et al. (2000)
	Reverse: ACTTCACAGCGAACTCGAACTT			
TPI1	Forward: GCCAAATAATAAGCCACATCCA	56	gi 194042634	Xu et al. (2009)
	Reverse: AGGCGACACCATCAGAAGCA			
PGM1	Forward: GATGTGGTACGTCCCTCTGC	60	gi 374694	
	Reverse: GGCACCTACAGGCGTATTACG			
cGPD	Forward: TGTGATGGGCTGGGCTTTG	60	gi 2149958	
	Reverse: GTGATGAGGTCGGCGATGC			

ตารางที่ 3.1 แสดง primer ในการศึกษาการแสดงออกของยีนในกลุ่มเนื้อสันนอกของสุกรดุรอคพันธุ์แท้และสุกรลูกผสมทางการค้า (ต่อ)

Gene	Primer sequence (5' to 3')	Annealing temperature, °C	Accession no.	Reference
CAPN1	Forward: GACACCCTCCTGCACCGA	55	AF263610	Lindholm-Perry et al. (2009), Chaosap et al. (2011)
	Reverse: TCCACCCACTCCCCAACT			
CAPN2	Forward: ACATGCACACCATCGGCTTT	55	U01181	
	Reverse: CGCTCTGTGCGTCAGGAAG			
CAST	Forward: AGGCTGTAAAACAGAACCTG	55	M20160	
	Reverse: ATTTCTCTGATGTTGGCTGCTC			
GAPDH	Forward: TCACTGCCACCCAGAAGA	65	ABO38240	Kiczak et al. (2015)
	Reverse: TACCAGGAAATGAGCTTGAC			

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์

4.1 การแสดงออกของยีนชนิดต่าง ๆ

4.1.1 อิทธิพลของพันธุ์สุกรและเพศของสุกรต่อการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อ

ผลการวิจัยไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างพันธุ์และเพศต่อการแสดงออกของยีนที่ศึกษาทุกยีน การศึกษาครั้งนี้พบการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด MYHC IIB (26.91-67.27%) และ MYHC IIX (32.67-70.42%) มีปริมาณการแสดงออกของยีนสูงกว่า MYHC IIA (2.55-4.58%) และ MYHC I (0.12-1.28%) (ตารางที่ 4.1) โดยพบว่า สุกรลูกผสมสองสายพันธุ์ LWLR2 และสุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ DLWLR2 มีการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด MYHC I สูงกว่าสุกรดुरอคพันธุ์แท้ D สุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ LWLR1 และสุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ DLWLR1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) การแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด MYHC IIA ในสุกรลูกผสมสองสายพันธุ์ LWLR2 สุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ DLWLR2 และสุกรลูกผสมสองสายพันธุ์ LWLR1 สูงกว่าสุกรพันธุ์แท้ D และสุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ DLWLR1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) สุกรดुरอคพันธุ์แท้ D มีการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด MYHC IIX สูงที่สุด ($p < 0.01$) และสุกรลูกผสมสองสายพันธุ์ LWLR1 และสุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ DLWLR1 มีการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด MYHC IIB สูงกว่าสุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ DLWLR2 สุกรลูกผสมสองสายพันธุ์ LWLR2 และสุกรดुरอคพันธุ์แท้ D อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) และพบว่าเพศของสุกรมีอิทธิพลต่อการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด MYHC IIB ซึ่งสุกรเพศผู้ตอนมีการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด MYHC IIB สูงกว่าสุกรเพศเมียอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) การผสมพันธุ์เพื่อผลิตสุกรลูกผสมทางการค้ามีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อ (Szulc et al., 2022)

4.1.2 อิทธิพลของพันธุ์สุกรและเพศของสุกรต่อการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ไขมัน

ผลการวิจัย พบว่า ไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างเพศและพันธุ์ของสุกรที่ศึกษาเกี่ยวกับการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ไขมัน ได้แก่ PPAR γ และ A-FABP และไม่มีอิทธิพลของเพศและพันธุ์ของสุกรต่อการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ไขมัน ($p > 0.05$) ดังแสดงผลในตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในงานทดลองนี้ปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ไขมันไม่แตกต่างกันในสุกรพันธุ์แท้และสุกรลูกผสม ซึ่งแตกต่างจากรายงานของ Cui et al., (2016) ที่ศึกษาสุกรพันธุ์ Laiwu ที่เป็นสุกรพันธุ์พื้นเมืองของประเทศจีนเป็นที่รู้จักกันว่ามีความหนาแน่นของไขมันแทรกที่สูงเมื่อเทียบกับสุกรพันธุ์ Large White พบว่า ในการแสดงออกของยีน PPAR γ ในสุกรพันธุ์ Laiwu สูงกว่าสุกรพันธุ์ Large White จากรายงานยังพบอีกว่า การแสดงออกของยีน PPAR γ มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณไขมันในกล้ามเนื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Zhang et al., (2015) ที่ศึกษาการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์ไขมันในกล้ามเนื้อของสุกรพันธุ์ Rongchang ซึ่งเป็นสุกรพันธุ์พื้นเมืองของจีนเปรียบเทียบกับสุกรพันธุ์ Landrace พบว่า การแสดงออกของสุกรพันธุ์ Rongchang มีการแสดงออกของยีน PPAR γ และปริมาณไขมันในกล้ามเนื้อสูงกว่าสุกรพันธุ์ Landrace อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการแสดงออกของยีน PPAR γ จะแตกต่างกัน คือ สุกรพันธุ์พื้นเมืองที่มีการสะสมไขมันในเนื้อมากกว่าสุกรทางการค้า แต่ในการศึกษาครั้งนี้เป็นสุกรพันธุ์แท้และสุกรลูกผสมทางการค้าทำให้มีการแสดงออกของ PPAR γ ไม่มีความแตกต่างกัน

ยีน A-FABP เป็นยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเอนไซม์ adipocyte fatty acid-binding protein ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีหน้าที่ในการจับและขนส่งกรดไขมันเข้าสู่ภายในนิวเคลียสหลังจากกระบวนการสลายไขมัน (triglyceride hydrolysis) เพื่อนำกรดไขมันอิสระส่งให้กับเอนไซม์ PPAR เพื่อทำการสังเคราะห์ไขมัน (Veerkamp and Maatman, 1995) การแสดงออกของยีน A-FABP มีความสัมพันธ์กับการแสดงออกของยีน PPAR γ ในเชิงบวก ซึ่งในสุกรที่มีไขมันในเนื้อสูงจะพบการแสดงออกของยีน A-FABP และ PPAR γ ในเนื้อที่สูง (Wu et al., 2015) จากผลการทดลอง พบว่า พันธุ์และเพศไม่มีอิทธิพลต่อการแสดงออกของยีน A-FABP ซึ่งสอดคล้องกับการแสดงออกของยีน PPAR γ ในการทดลองครั้งนี้ที่ไม่แตกต่างกัน

4.1.3 อิทธิพลของพันธุ์สุกรและเพศของสุกรต่อการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบอลิซึมในกล้ามเนื้อ

ผลการวิจัย พบว่า มีอิทธิพลร่วมระหว่างพันธุ์และเพศของสุกรต่อการแสดงออกของยีน PGM1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งสุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ DLWLR1 เพศผู้ตอนมีการแสดงออกของยีน PGM1 สูงกว่าสุกรเพศเมีย (ภาพที่ 4.1) และพบอิทธิพลของพันธุ์ต่อการแสดงออกของยีน TPI1 และยีน cGPD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยสุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ DLWLR1 มีการแสดงออกของยีน TPI1 และ cGPD สูงที่สุด ดังตารางที่ 4.3

Triosephosphate isomerase (TPI) และ Phosphoglucomutase (PGM) เป็นเอนไซม์ที่มีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการ glycolysis เนื่องจาก TPI จัดเป็นเอนไซม์ที่มีความจำเป็นต่อการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

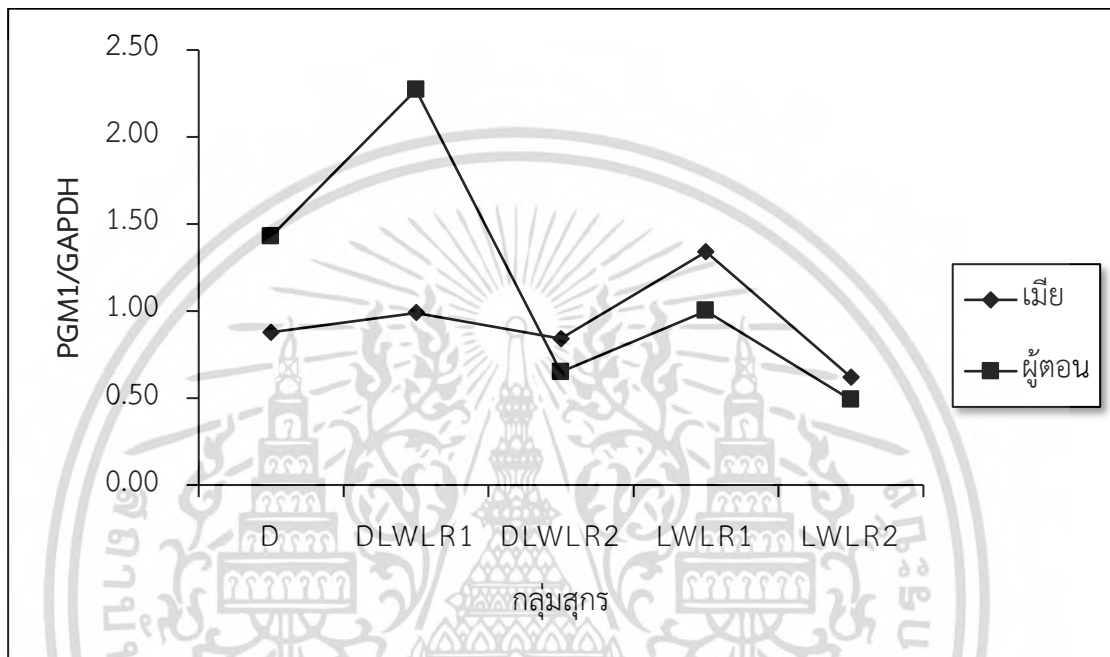
กระตุ้นการเปลี่ยนแปลงระหว่าง dihydroxyacetone phosphate และ d-glyceraldehyde 3-phosphate ในเซลล์และเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต ซึ่งเอนไซม์ TPI เกิดจากการสังเคราะห์ยีนที่เรียกว่า TPI1 ส่วนเอนไซม์ PGM ที่สังเคราะห์จากยีน PGM1 มีส่วนในการกระตุ้นการเปลี่ยนแปลง glucose-1-phosphate และ glucose-6-phosphate ซึ่งทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของปฏิกิริยา phosphorylation และในสุกรที่พบการแสดงออกของยีน PGM1 สูงจะมีปริมาณของเส้นใยกล้ามเนื้อประเภท oxidative fibers ต่ำกว่าสุกรที่มี PGM1 ต่ำ (Hemmer et al., 1993; Hollán et al., 1995; Xu et al., 2009) จากการศึกษาของ Xu et al. (2009) พบว่า ยีน TPI1 และ PGM1 มีการแสดงออกในสุกรพันธุ์ Large White ที่สูงกว่าสุกรพันธุ์ Meishan ที่มีการสะสมไขมันในเนื้อสูง ซึ่งการแสดงออกของยีน TPI1 และ PGM1 ที่มากแสดงให้เห็นว่าสุกรพันธุ์ Large White เกิดกระบวนการ glycolysis metabolism ที่สูง ทำให้มีการใช้พลังงานในรูปของคาร์โบไฮเดรตมากกว่าไขมัน และอาจเป็นผลทำให้เกิดการสะสม glycogen ในกล้ามเนื้อสูงตามไปด้วย

cGPD เป็นยีนที่ควบคุมการสร้างเอนไซม์ cGPD ที่ทำหน้าที่ขนส่งและกระตุ้นการเปลี่ยนแปลง dihydroxyacetone phosphate ให้กลายเป็น glycerol-3-phosphate ที่จะนำไปสร้างเป็น triglyceride (Beatriz and Contreras, 2012; Fell and Small, 1986) จากการศึกษาของ Xu et al. (2009) รายงานว่า สุกรพันธุ์ Meishan มีการแสดงออกของยีน cGPD สูงกว่าสุกรพันธุ์ Large White เป็นผลทำให้สุกรพันธุ์ Meishan มีความสามารถในการสะสมไขมันและมีปริมาณไขมันแทรกที่สูง และมีรายงานว่า cGPD เป็นเครื่องบ่งชี้ต่อกระบวนการสังเคราะห์ triglyceride ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (Beatriz and Contreras, 2012; Salazar-Olivo et al., 1995)

4.1.4 อิทธิพลของพันธุ์และเพศของสุกรต่อการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อ

การย่อยสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อเกิดจากกระบวนการทำงานของเอนไซม์ calpain ซึ่งมีผลทำให้เนื้อนุ่มมากยิ่งขึ้น เอนไซม์ calpain I สังเคราะห์ขึ้นจากยีน CAPN1 และเอนไซม์ calpain II สังเคราะห์ขึ้นจากยีน CAPN2 ส่วน calpastatin สังเคราะห์ขึ้นจากยีน CAST (Gandolfi, 2011) จากการทดลอง พบว่า ไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างพันธุ์และเพศต่อการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อ ($p > 0.05$) แต่ที่ พันธุ์ของสุกรมีผลต่อปริมาณการแสดงออกของยีนทุกชนิดที่เกี่ยวข้องกับการสลายโปรตีนในกล้ามเนื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังตารางที่ 4.4 คือ สุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ DLWLR2 มีปริมาณการแสดงออกของยีน CAPN1 และ CAPN2 สูงกว่าสุกรทุกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และการแสดงออกของยีน CAST ในสุกรลูกผสมสองสายพันธุ์ DLWLR2 และสุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ LWLR2 สูงกว่าสุกรกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากรายงานของ Wang et al., (2016) ที่พบว่า สุกรลูกลมสามสายมีการแสดงออกของยีน CAPN1 และมีกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์คาลเปนสูงกว่าสุกรพันธุ์แท้ และจากการที่กล้ามเนื้อมีปริมาณของเอนไซม์ calpains ที่สูงจะมีความทำงานของตัวยับยั้ง หรือ calpastatin ที่สูงตามไปด้วย



ภาพที่ 4.1 อิทธิพลร่วมระหว่างเพศและพันธุ์ของสุกรต่อการแสดงออกของยีน PGM1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 อิทธิพลของพันธุ์สุกรและเพศต่อการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อ

Gene ¹	กลุ่ม					เพศ		RMSE	p-value		
	D	DLWLR1	DLWLR2	LWLR1	LWLR2	เมีย	ผู้ตอน		กลุ่ม	เพศ	กลุ่ม x เพศ
MYHC I	0.16 ^b	0.12 ^b	1.09 ^a	0.17 ^b	1.28 ^a	0.58	0.55	0.39	<.0001	0.847	0.184
MYHC IIA	2.71 ^b	2.55 ^b	4.37 ^a	4.11 ^a	4.58 ^a	3.67	3.65	0.95	<.0001	0.946	0.118
MYHC IIX	70.42 ^a	38.38 ^{bc}	39.68 ^{bc}	32.67 ^c	47.30 ^b	47.59	43.79	12.28	<.0001	0.308	0.343
MYHC IIB	26.91 ^c	64.96 ^a	55.03 ^{ab}	67.27 ^a	46.25 ^b	50.46	53.71	13.85	<.0001	0.042	0.269

¹ สัดส่วนการแสดงออกของยีน (relative expression ratio : rER) MYHC ดังสมการ (Hemmings et al., 2009)

^{a-c} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.2 อิทธิพลของพันธุ์สุกรและเพศต่อการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ไขมัน

Gene ¹	กลุ่ม					เพศ		RMSE	p-value		
	D	DLWLR1	DLWLR2	LWLR1	LWLR2	เมีย	ผู้ตอน		กลุ่ม	เพศ	กลุ่ม x เพศ
PPAR γ	1.02	1.83	1.16	1.33	2.09	1.37	1.60	0.86	0.102	0.425	0.619
A-FABP	0.50	0.94	0.64	0.58	0.69	0.73	0.94	0.39	0.199	0.984	0.502

¹ อัตราส่วนระหว่างค่า Starting Quantity (SQ) ของยีนควบคุมภายใน (GAPDH)

ตารางที่ 4.3 อิทธิพลของพันธุ์สุกรและเพศต่อการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบอลิซึมในกล้ามเนื้อ

Gene ¹	กลุ่ม					เพศ		RMSE	p-value		
	D	DLWLR1	DLWLR2	LWLR1	LWLR2	เมีย	ผู้ต้อน		กลุ่ม	เพศ	กลุ่ม x เพศ
TPI1	1.39 ^{bc}	3.05 ^a	0.81 ^c	1.96 ^b	1.07 ^c	1.43	1.89	0.79	<0.0001	0.081	0.403
PGM1	1.07	1.84	0.94	1.17	0.89	1.12	1.24	0.57	0.017	0.490	0.019
cGPD	1.01 ^b	2.00 ^a	1.07 ^b	1.08 ^b	0.74 ^b	1.10	1.26	0.57	0.001	0.376	0.819

¹ อัตราส่วนระหว่างค่า Starting Quantity (SQ) ของยีนควบคุมภายใน (GAPDH)

^{a-d} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$ และ 0.0001)

ตารางที่ 4.4 อิทธิพลของพันธุ์สุกรและเพศต่อการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อ

Gene ¹	กลุ่ม					เพศ		RMSE	p-value		
	D	DLWLR1	DLWLR2	LWLR1	LWLR2	เมีย	ผู้ต้อน		กลุ่ม	เพศ	กลุ่ม x เพศ
CAPN1	0.62 ^c	0.36 ^d	1.08 ^a	0.34 ^d	0.79 ^b	0.61	0.66	0.16	<0.0001	0.299	0.800
CAPN2	0.87 ^c	1.10 ^{bc}	1.49 ^a	0.84 ^{bc}	1.24 ^{ab}	1.03	1.18	0.41	0.006	0.184	0.853
CAST	0.82 ^b	0.75 ^b	1.01 ^{ab}	0.93 ^b	1.30 ^a	0.98	0.94	0.32	0.008	0.718	0.944

¹ อัตราส่วนระหว่างค่า Starting Quantity (SQ) ของยีนควบคุมภายใน (GAPDH)

^{a-d} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$ และ 0.0001)

4.2 อิทธิพลของพันธุ์และเพศของสุกรที่มีผลต่อคุณภาพเนื้อ

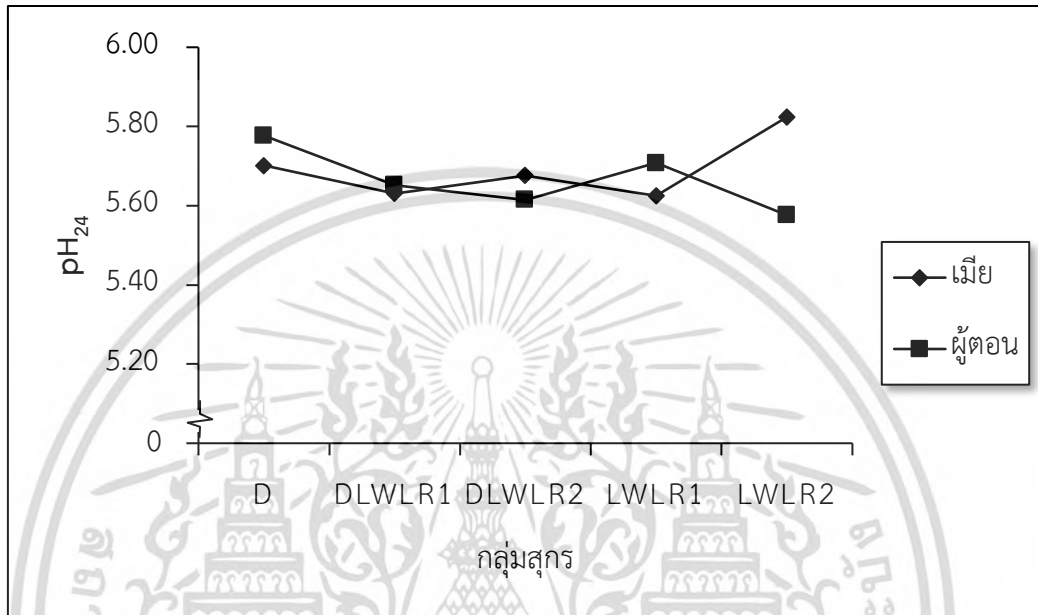
4.2.1 อิทธิพลของพันธุ์และเพศที่มีผลต่อค่า pH และสีของเนื้อ

จากการวิจัยครั้งนี้ พบว่า มีอิทธิพลร่วมระหว่างพันธุ์และเพศของสุกรต่อค่า pH_{24} และ L^* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แสดงในตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.2 และ 4.3 จากภาพที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าสุกรลูกผสมสองสายพันธุ์ LWLR2 เพศเมียมีค่า pH_{24} สูงกว่าเพศผู้ตอน และจากภาพที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าค่า L^* ของสุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ LWLR2 เพศผู้ตอนมีค่า L^* สูงกว่าสุกรเพศเมีย จากการศึกษาพบว่า ค่า pH ของเนื้อมีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่า L^* ($p < 0.01$) (Jankowiak et al., 2021) เนื้อสุกรที่มีค่า pH ต่ำจะมีสภาพเป็นกรดทำให้โปรตีนในเนื้อสูญเสียความสามารถในการอุ้มน้ำ นอกจากนั้นสุกรเพศผู้ตอนจะมีการสะสมไขมันในร่างกายและมีปริมาณไขมันแทรกในเนื้อสูงกว่าสุกรเพศเมีย (Muhlisin et al., 2014; Latorre et al., 2003; Ellis et al., 1996) จากรายงานของ Oliver et al. (1993) รายงานว่า การที่เนื้อสุกรมีการสะสมของไขมันในเนื้อสูงเป็นผลทำให้เนื้อสุกรมีสีซีดกว่าเนื้อสุกรที่มีไขมันต่ำ ซึ่งสุกรลูกผสมที่มีสายเลือดสุกรพันธุ์ครอกจะมีปริมาณไขมันแทรกในเนื้อสูง (Alonso et al., 2009; Franco et al., 2014)

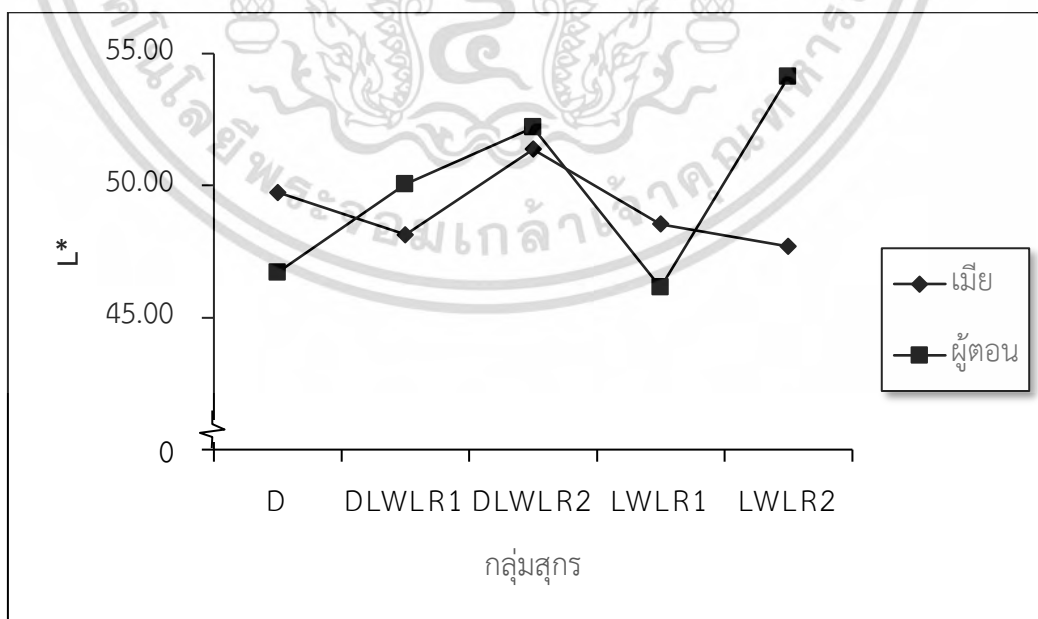
ส่วนอิทธิพลของเพศสุกรไม่มีผลต่อค่าสี ค่า pH_{45} และ pH_{24} ($p > 0.05$) สำหรับค่า pH_{45} ค่า a^* และค่าสี b^* ของสุกรพันธุ์แท้และสุกรลูกผสมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังตารางที่ 4.5 ซึ่งสุกรพันธุ์แท้ Duroc มีค่า pH_{45} ต่ำที่สุด ค่า a^* ของสุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ DLWLR2 และ สุกรลูกผสมสองสายพันธุ์ LWLR2 สูงกว่าสุกรกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และสุกรลูกผสมสองสายพันธุ์ LWLR1 มีค่า b^* ต่ำที่สุด (ตารางที่ 4.4) จากการศึกษาของ Lonergan et al., (2001) รายงานว่า การคัดสุกรพันธุ์ Duroc ที่มีความสามารถในการเจริญเติบโตเร็วจะทำให้สุกรมีการสะสมปริมาณไกลโคเจนในเนื้อสูง และพบว่าสุกรพันธุ์ Duroc ที่ทำการคัดเลือกพันธุ์มีค่า pH ภายหลังสัตว์ตายต่ำกว่าสุกรพันธุ์ Duroc ปกติ เนื่องจากสุกรที่มีประสิทธิภาพในการเจริญเติบโตสูงจะมีปริมาณไกลโคเจนและกลูโคสอิสระที่ตรวจพบในกล้ามเนื้อในช่วงแรก (15 นาที) ภายหลังสัตว์ตายในปริมาณมากทำให้เกิดกรดแลคติกในกล้ามเนื้อหลังสัตว์ตายสูงกว่าสุกรกลุ่มควบคุมเป็นผลทำให้เนื้อมีค่า pH ต่ำ

จากการศึกษาของ Chang et al., (2003) รายงานว่า ค่า a^* มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการแสดงออกของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด MYHC I ($r = 0.50$, $p < 0.1$) ซึ่งสอดคล้องกับการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด MYCH I ของสุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ DLWLR2 และสุกรลูกผสมสองสายพันธุ์ LWLR2 จากงานวิจัยครั้งนี้ที่พบการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด MYHC I ที่สูงกว่าสุกรกลุ่มอื่น (ตารางที่ 4.1)

จากการศึกษาค่าสี b^* พบว่า สุกร์ลูกผสมสองสายพันธุ์ LWLR2 มีค่า b^* ต่ำที่สุด สอดคล้องกับปริมาณไขมันแทรกในเนื้อที่ต่ำ (ตารางที่ 4.6) ซึ่งในสุกรที่มีปริมาณไขมันแทรกสูงจะมีค่า b^* สูงตามไปด้วย (Choi et al., 2014)

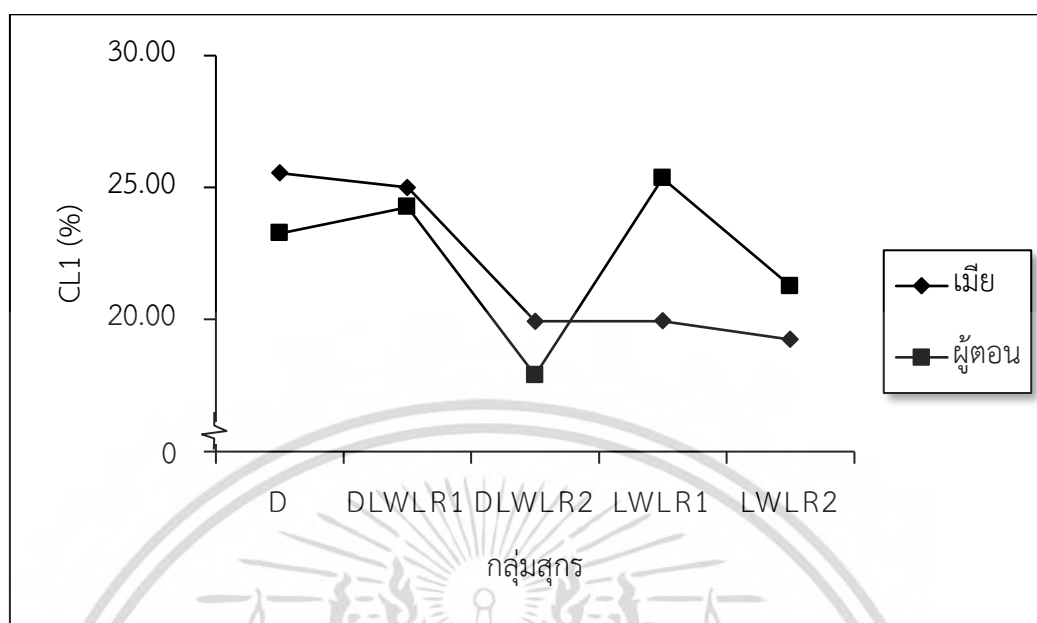


ภาพที่ 4.2 อิทธิพลร่วมระหว่างเพศและพันธุ์ของสุกรต่อค่า pH₂₄



ภาพที่ 4.3 อิทธิพลร่วมระหว่างเพศและพันธุ์ของสุกรต่อค่า L*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.4 อิทธิพลร่วมระหว่างเพศและพันธุ์ของสุกรต่อค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงสุกของเนื้อที่บ่ม 1 วัน (CL1)

4.1.2 อิทธิพลของพันธุ์และเพศที่มีผลต่อค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษา ค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงสุกและค่าแรงตัดผ่านของเนื้อ

จากการวิจัย พบว่า มีอิทธิพลร่วมระหว่างพันธุ์และเพศต่อค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงสุกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แสดงในตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.4 จากภาพที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าสุกรลูกผสมสองสายพันธุ์ LWLR1 เพศผู้ตอนมีค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงสุกของเนื้อที่บ่ม 1 วัน (Cooking loss : CL1) มากกว่าสุกรเพศเมีย เมื่อเปรียบเทียบกับสุกรลูกผสมสองสายพันธุ์ LWLR2 สุกรลูกผสม 3 สายและสุกรพันธุ์แท้ Duroc ซึ่งแตกต่างจากการทดลองของ Kim et al., (2018) ที่ศึกษาอิทธิพลของพันธุ์และเพศของสุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ Landrace x Yorkshire x Duroc (LYD) กับสุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ Landrace x Yorkshire x Woori (LYW) ต่อคุณภาพเนื้อ พบว่า พันธุ์และเพศมีอิทธิพลต่อค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงสุกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ LYW มีค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงสุกสูงกว่าสุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ LWLR2 และสุกรเพศเมียมีค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงสุกสูงกว่าสุกรเพศผู้ตอน ซึ่ง Meinert et al., (2008) ได้ให้ข้อสังเกตว่า อิทธิพลของเพศสุกรไม่มีผลต่อคุณภาพเนื้อ แต่เป็นผลมาจากปัจจัยอื่นที่ถูกนำมาใช้ในการผลิตสุกรมากกว่า

ส่วนเพศไม่มีอิทธิพลต่อค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษา (drip loss : DL) ค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงสุก (CL) และค่าแรงตัดผ่าน (Warner-Bratzler shear force : WBSF)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนสายพันธุ์สุกรที่แตกต่างกันมีผลทำให้ค่า CL5 และค่า WBSF ที่บ่มที่ 1 และ 5 วันแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4.6) คือ ค่า CL5 ของสุกรพันธุ์แท้ Duroc สุกรลูกผสม 3 สาย DLWLR1 และสุกรลูกผสมสองสายพันธุ์ LWLR1 มากกว่าค่า CL5 ของสุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ DLWLR12 และสุกรลูกผสมสองสายพันธุ์ LWLR2 การที่สุกรพันธุ์แท้ Duroc มีค่า CL สูงกว่าสุกรพันธุ์อื่น ๆ นั้นเป็นผลเนื่องมาจากสุกรพันธุ์แท้ Duroc มีค่า pH₄₅ ต่ำที่สุด การที่เนื้อมีความ pH ต่ำเป็นผลทำให้เนื้อสูญเสียความสามารถในการอุ้มน้ำจึงทำให้เกิดการสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงสุกมาก (จุฑารัตน์, 2540) พันธุ์สุกรมีอิทธิพลต่อค่าแรงตัดผ่านเนื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คือ ค่า WBSF1 ของสุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ DLWLR2 สุกรลูกผสมสองสายพันธุ์ LWLR2 และ LWLR1 สูงกว่าสุกรลูกผสมพันธุ์แท้ D และสุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ DLWLR1 แต่หลังจากการบ่มเนื้อเป็นเวลา 5 วัน พบว่า สุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ DLWLR2 ที่เกิดจากสายแม่ LWLR2 มีค่าแรงตัดผ่านเนื้อลดลง ซึ่งไม่แตกต่างจากสุกรดुरอกพันธุ์แท้ D แต่พบว่าสุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ที่เกิดจากสายแม่ LWLR1 คือ DLWLR1 ที่แม้จะผ่านการบ่มเนื้อไว้แล้ว 5 วันยังมีค่าแรงตัดผ่านเนื้อสูงกว่าสุกรกลุ่มอื่น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสายแม่มีอิทธิพลต่อคุณภาพเนื้อ การที่สุกรลูกผสมสามสายพันธุ์หรือสองสายพันธุ์มีค่าแรงตัดผ่านสูงกว่าสุกรพันธุ์แท้ Duroc เป็นเพราะการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการแสดงออกของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด fast type IIb สูง (ตารางที่ 4.1) ซึ่งเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด fast type IIb หากพบมากในกล้ามเนื้อสุกรจะทำให้เนื้อสุกรมีความเหนียวหรือค่าแรงตัดผ่านสูงขึ้น (Choi and Kim, 2009)

4.2.3 อิทธิพลของพันธุ์และเพศของสุกรที่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของกล้ามเนื้อสันนอก

ผลการศึกษานี้ไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างพันธุ์และเพศของสุกรต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้น โปรตีนและไขมัน ของกล้ามเนื้อสันนอก ($p > 0.05$) แต่พบว่าพันธุ์มีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้น โปรตีนและไขมันในเนื้อสันนอกของสุกร ($p < 0.01$) (ตารางที่ 4.7) โดยพบว่า สุกรลูกผสมสองสายพันธุ์ LWLR1 มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นสูงกว่าสุกรกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สุกรกลุ่ม LWLR1 มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนในเนื้อสูงที่สุด รองลงมา คือ กลุ่มสุกร LWLR2 และ DLWLR1 ในขณะที่สุกรพันธุ์แท้ Duroc และ DLWLR2 มีค่าต่ำที่สุด และพบว่าสุกรกลุ่ม DLWLR2 มีเปอร์เซ็นต์ไขมันสูงที่สุด รองลงมาคือ D และ LWLR2 ส่วน DLWLR1 และ LWLR1 มีค่าต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 3.09 2.07 1.98 1.35 และ 0.93 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์ไขมันในเนื้อของสุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ DLWLR2 มีค่าสูงกว่าสุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ DLWLR1 อาจเนื่องมาจากอิทธิพลของสายพ่อและสายแม่ คือ LWLR2 ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ไขมันสูงกว่าสุกรสายแม่ LWLR1 จากการศึกษาของ Kim et al., (2020) รายงานว่า สุกรลูกผสมจากพ่อพันธุ์ Duroc มีปริมาณไขมันในเนื้อสูงกว่าสุกรพันธุ์แท้ Duroc จากผลการศึกษานี้สามารถอธิบายได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนกับไขมันในเนื้อสุกรมีความสัมพันธ์กันในทางลบ ซึ่งถ้าสุกรพันธุ์ใดมีโปรตีนในเนื้อสูงจะมีไขมันในเนื้อลดลง (Choi et al., 2014)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 อิทธิพลของพันธุ์และเพศต่อลักษณะทางกายภาพของกล้ามเนื้อสันนอก

Trait ¹	กลุ่ม					เพศ		RMSE	p-value		
	D	DLWLR1	DLWLR2	LWLR1	LWLR2	เมีย	ผู้ต้อน		กลุ่ม	เพศ	กลุ่ม x เพศ
pH ₄₅	6.36 ^b	6.54 ^{ab}	6.71 ^a	6.80 ^a	6.77 ^a	6.64	6.63	0.27	0.004	0.820	0.974
pH ₂₄	5.74	5.64	5.65	5.67	5.70	5.69	5.67	0.10	0.184	0.373	0.004
L* (lightness)	48.22	49.09	51.79	47.34	50.91	49.10	49.85	2.28	<0.001	0.259	<0.001
a* (redness)	7.90 ^{ab}	7.41 ^b	8.69 ^a	7.33 ^b	8.39 ^a	8.00	7.89	0.94	0.010	0.697	0.518
b* (yellowness)	1.64 ^{ab}	1.18 ^{bc}	2.19 ^a	0.60 ^c	2.12 ^a	1.41	1.69	0.61	<0.0001	0.127	0.066

¹ pH₄₅ : pH ที่ 45 นาฬิกาภายหลังสัตว์ตาย pH₂₄ : pH ที่ 24 ชั่วโมงภายหลังสัตว์ตาย

^{a-c} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ 4.6 อิทธิพลของพันธุ์และเพศต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อและค่าแรงตัดผ่านของกล้ามเนื้อสันนอก

Trait ¹	กลุ่ม					เพศ		RMSE	p-value		
	D	DLWLR1	DLWLR2	LWLR1	LWLR2	เมีย	ผู้ต้อน		กลุ่ม	เพศ	กลุ่ม x เพศ
DL (%)	2.01	2.51	2.62	2.27	2.75	2.34	2.52	0.88	0.525	0.540	0.668
CL1 (%)	24.41	24.63	18.91	22.65	20.26	21.94	22.41	2.57	<0.0001	0.540	0.012
CL5 (%)	22.62 ^a	22.97 ^a	17.16 ^b	21.24 ^a	18.63 ^b	20.41	20.64	2.03	<0.0001	0.697	0.423
WBSF1 (kg.)	4.56 ^b	4.90 ^b	5.33 ^{ab}	5.89 ^a	5.92 ^a	5.15	5.49	0.76	<0.001	0.144	0.266
WBSF5 (kg.)	4.48 ^{bc}	5.00 ^{ab}	4.15 ^c	5.53 ^a	4.40 ^{bc}	4.76	4.66	0.64	<0.001	0.583	0.219

¹ DL : drip loss CL1: cooking loss บ่ม 1 วัน CL5 : cooking loss ที่บ่ม 5 วัน WBSF1 : Warner-Bratzler shear force บ่ม 1 วัน WBSF5 : Warner-Bratzler shear force บ่ม 5 วัน

^{a-c} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ 4.7 อิทธิพลของพันธุ์สุกรและเพศต่อองค์ประกอบทางเคมีของกล้ามเนื้อสันนอก

Trait ¹	กลุ่ม					เพศ		RMSE	p-value		
	D	DLWLR1	DLWLR2	LWLR1	LWLR2	เมีย	ผู้ต้อน		กลุ่ม	เพศ	กลุ่ม x เพศ
moisture (%)	73.82 ^{ab}	73.92 ^{ab}	72.66 ^b	74.27 ^a	73.02 ^{ab}	73.78	73.29	2.34	0.046	0.201	0.346
protein (%)	22.94 ^c	23.62 ^{bc}	22.56 ^c	24.46 ^a	23.66 ^b	23.60	23.29	0.796	<0.0001	0.172	0.552
fat (%)	2.07 ^b	1.35 ^c	3.09 ^a	0.93 ^c	1.98 ^b	1.74	2.02	0.61	<0.0001	0.138	0.594

¹ moisture (%) : เปอร์เซ็นต์ของความชื้นในเนื้อสุกร, protein (%) : เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนในเนื้อสุกร, Fat (%) : เปอร์เซ็นต์ของไขมันในเนื้อสุกร

^{a-c} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณลักษณะของเนื้อและการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อ การสร้างไขมันแทรก ขบวนการเมตาบอลิซึมและการสลายตัวของโปรตีนในกล้ามเนื้อสันนอกของสุกรดุรอคพันธุ์แท้ สุกรลูกผสมสองสายและสุกรลูกผสมสามสายรวมทั้งหมด 5 กลุ่ม ได้แก่ 1) สุกรดุรอคพันธุ์แท้ (Duroc : D) 2) สุกรลูกผสม 2 สายพันธุ์จากแหล่งที่ 1 ลาร์จไวท์ (LW) x แลนด์เรซ (LR) (LWLR1) 3) สุกรลูกผสม 2 สายพันธุ์จากแหล่งที่ 2 ลาร์จไวท์ (LW) x แลนด์เรซ (LR) (LWLR2) 4) สุกรลูกผสม 3 สายพันธุ์ ดุรอค (D) x (ลาร์จไวท์ (LW) x แลนด์เรซ (LR) จากแหล่งที่ 1) (DLWLR1) และ 5) สุกรลูกผสม 3 สายพันธุ์ ดุรอค (D) x (ลาร์จไวท์ (LW) x แลนด์เรซ (LR) จากแหล่งที่ 2) (DLWLR2) ในแต่ละกลุ่มสุกรมีเพศผู้ 5 ตัว และสุกรเพศเมีย 5 ตัว ทำการเลี้ยงสุกรจากน้ำหนัก 20 กิโลกรัม และทำการฆ่าสุกรเมื่อน้ำหนัก 110 กิโลกรัม

ผลการวิจัยไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างพันธุ์และเพศต่อการแสดงออกของยีนที่ศึกษาทุกยีน การศึกษารังนี้พบว่ายีนที่เกี่ยวข้องกับกล้ามเนื้อชนิด MYHC IIB (26.91-67.27%) และ MYHC IIX (32.67-70.42%) มีปริมาณการแสดงออกของยีนสูงกว่า MYHC IIA (2.55-4.58%) และ MYHC I (0.12-1.28%) โดย MYHC IIB มีปริมาณการแสดงออกของยีนสูงสุดในสุกรลูกผสมสามสาย DLWLR1 และ สุกรลูกผสมสองสาย LWLR1 รองลงมาคือ DLWLR2 และ LWLR2 และต่ำที่สุดในสุกรพันธุ์แท้ D ซึ่งตรงกันข้ามกับปริมาณการแสดงออกของยีน MYHC IIX ที่พบว่าในสุกรพันธุ์แท้ D มีปริมาณสูงกว่ากลุ่มอื่น ($p < 0.01$) ในขณะที่ปริมาณการแสดงออกของยีน MYHC IIA และ MYHC I มีความแตกต่างระหว่างกลุ่มสุกรแต่มีปริมาณการแสดงออกของยีนที่ค่อนข้างน้อยจึงมีอิทธิพลต่อชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อน้อยด้วย

การศึกษารังนี้ไม่พบอิทธิพลของพันธุ์และเพศต่อปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างไขมันแทรก แต่พบอิทธิพลร่วมของพันธุ์และเพศต่อปริมาณการแสดงออกของยีน PGM1 ($p < 0.05$) โดยพบว่าสุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ DLWLR1 เพศผู้ตอนมีการแสดงออกของยีน PGM1 สูงกว่าเพศเมีย และพบอิทธิพลของพันธุ์ต่อการแสดงออกของยีน TPI1 และ cGPD ($p < 0.05$) ซึ่งพบว่าสุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ DLWLR1 มีการแสดงออกของยีน TPI1 และ cGPD สูงที่สุด และพบว่าพันธุ์มีผลต่อปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของโปรตีนในกล้ามเนื้อสันนอกของสุกรโดยพบว่าสุกรลูกผสมสามสายโดยเฉพาะอย่างยิ่ง DLWLR2 มีปริมาณการแสดงออกของยีน CAPN1 และ CAPN2 สูงกว่าสุกรกลุ่มอื่น ($p < 0.05$) ส่วนยีน CAST มีการแสดงออกในสุกรลูกผสมสองสายพันธุ์ LWLR2 สูงที่สุด ($p < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาครั้งนี้พบอิทธิพลร่วมระหว่างพันธุ์และเพศสุกรต่อค่า pH_{24} L^* และเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการปรุง ($p < 0.05$) โดยพบว่าสุกรลูกผสมสองสาย LWLR2 เพศเมียมีค่า pH_{24} สูงแต่มีค่า L^* ต่ำกว่าเพศผู้ตอน ในขณะที่สุกรลูกผสมสองสาย LWLR2 เพศผู้ตอนมีค่า pH_{24} ต่ำกว่าแต่มีค่า L^* สูงกว่าสุกรเพศเมีย แต่เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงพบที่สุกรลูกผสมสองสาย LWLR1 เพศผู้ตอนมีค่าสูงกว่าสุกรเพศเมีย นอกจากนี้ยังพบอิทธิพลของพันธุ์ต่อค่า pH_{45} a^* และ b^* ($p < 0.01$) โดยพบว่าสุกรดुरอคพันธุ์แท้ D มีค่า pH_{45} ต่ำกว่ากลุ่มอื่น ในขณะที่ DLWLR2 และ LWLR2 มีค่า a^* และ b^* สูงกว่ากลุ่มอื่น ค่าแรงตัดผ่านเนื้อของสุกรดुरอคพันธุ์แท้ D มีค่าต่ำกว่าสุกรกลุ่มอื่น ทั้งยังพบว่าหลังการบ่ม 5 วันค่าแรงตัดผ่านเนื้อลดลงเพียงเล็กน้อย ในขณะที่ LWLR2 LWLR1 และ DLWLR2 มีค่าแรงตัดผ่านเนื้อสูงกว่าสุกรดुरอคพันธุ์แท้ และสุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ DLWLR1 ที่การบ่ม 1 วัน ($p < 0.01$) แต่พบว่าหลังการบ่ม 5 วันสุกรลูกผสมสองสายพันธุ์ LWLR1 มีค่าแรงตัดผ่านเนื้อสูงกว่าสุกรกลุ่มอื่น ($p > 0.05$)

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในกล้ามเนื้อสันนอกพบว่า สุกรลูกผสมสองสายพันธุ์ LWLR1 มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นสูงกว่าสุกรกลุ่มอื่น ($p < 0.05$) และสุกรกลุ่มที่มีปริมาณโปรตีนสูงจะมีปริมาณไขมันต่ำโดย LWLR1 มีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด ($p < 0.01$)

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ข้อเสนอแนะจากงานวิจัย

ในการศึกษาการแสดงออกของยีน MYHC isoform, PPAR γ , A-FABP, cGPD, PGM1 TPI1 CAPN1 CAPN2 และ CAST และการศึกษาคุณภาพเนื้อของสุกรพันธุ์แท้และสุกรลูกผสมสองและสามสายพันธุ์ ทำให้ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะการแสดงออกที่แตกต่างกันของเนื้อสุกร ซึ่งความแตกต่างกันของสายพันธุ์มีผลต่อคุณภาพเนื้อของสุกรอย่างเห็นได้ชัด และสามารถยืนยันได้ว่าสุกรลูกผสมสองและสามสายพันธุ์มีการแสดงออกของยีน MYHC IIB สูงกว่าสุกรพันธุ์แท้ ทำให้มีการเจริญเติบโตที่เร็วกว่า ในส่วนคุณภาพเนื้อของสุกรลูกผสมสามสายพันธุ์มีคุณภาพเนื้อที่ดี จึงเหมาะสำหรับการนำมาผลิตเป็นสุกรขุน

5.2.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

จากผลการวิจัยควรทำการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของคุณภาพเนื้อสุกรที่สัมพันธ์กันระหว่างยีนที่แสดงออกในกล้ามเนื้อสุกรกับคุณภาพเนื้อ เพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์กันระหว่างปัจจัยที่แสดงออกในกล้ามเนื้อสุกร และทำการศึกษาอื่น ๆ ที่อาจมีความเกี่ยวข้องกับคุณภาพเนื้อของสุกร

บรรณานุกรม

- จันทร์พร เจ้าทรัพย์. (2554) เทคโนโลยีการฆ่าสัตว์. กรุงเทพมหานคร : คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- จุฑารัตน์ เศรษฐกุล . 2540. การจัดการโรงฆ่าสัตว์. กรุงเทพฯ : คณะเทคโนโลยีการเกษตรสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ชัยณรงค์ คันธพินิต. (2529) วิทยาศาสตร์เนื้อสัตว์. กรุงเทพฯ : ไทยวัฒนาพานิช.
- ต่อศักดิ์ อินทรไพโรจน์ และปัทมวรรณ เฟือกผ่อง. (2554) ฮอโมนจากเนื้อเยื่อไขมัน : เลปติน อดิโพนเนคติน และ รีซิทิน. ไทยไภซซันนิพันธ์.
- น้ำฝน เตจ๊ะศรี. (2559). อิทธิพลของสุกรลูกผสมทางการค้าต่อลักษณะซากและคุณภาพเนื้อ. (วิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา), สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ศุภลักษณ์ สรภักดิ์ และ คมแข พิลาสมบัติ. (2560) คุณภาพเนื้อแม่สุกรแก่คัดทิ้งและการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ : รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สำนักพัฒนาพันธุ์สัตว์ กรมปศุสัตว์. (2020) สุกรพันธุ์กรมปศุสัตว์. สืบค้นเมื่อวันที่ 22 สิงหาคม 2563. http://breeding.dld.go.th/th/images/document/pig/swine_doc.pdf
- สุวรรณา พรหมทอง (มปป.) การทำฟาร์มสุกร. 17-24.
- Aberle, E. D., Forrest, J. C., Gerrard, D. E., and Mills, E. W. (2012). Principles of meat science. Dubuque, Ia: Kendall Hunt Publishing Company.
- Alonso, V., Campo, M.delM., Español, S., Roncalés, P., and Beltrán, J. A. (2009). Effect of crossbreeding and gender on meat quality and fatty acid composition in pork. Meat science, 81(1), 209–217.
- Baldwin, K. M., Haddad, F., Pandorf, C. E., Roy, R. R., and Edgerton, V. R. (2013) Alterations in muscle mass and contractile phenotype in response to unloading models: role of transcriptional/pretranslational mechanisms. Frontiers in physiology, 4, 284.
- Beatriz, Pardo and Contreras, Laura. (2012). Redox Shuttles in the Brain. Advances in Neurobiology: Neural Metabolism In Vivo. 4. 841-883. 10.1007/978-1-4614-1788-0_29.
- Bian, X., Jiang, H., Meng, Y., Li, Y., Fang, J., and Lu, Z. (2022) Regulation of gene expression by glycolytic and gluconeogenic enzymes. Trends in Cell Biology, 32(9), 786–799.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Bosco, A., D. M. Inman, M. R. Steele, G. Wu, I. Soto, N. Marsh-Armstrong, W. C. Hubbard, D. J. Calkins, P. J. Horner and M. L. Vetter (2008) Reduced Retina Microglial Activation and Improved Optic Nerve Integrity with Minocycline Treatment in the DBA/2J Mouse Model of Glaucoma. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 49, 1437-1446.
- Calkins, C. R., T. R. Dutson, G. C. Smith, Z. L. Carpenter and G. W. Davis (1981) Relationship of Fiber Type Composition to Marbling and Tenderness of Bovine Muscle. *Journal of Food Science*, 46, 708-710.
- Chal, J., and Pourquié, O. (2017) Making muscle: skeletal myogenesis in vivo and in vitro. *Development (Cambridge, England)*, 144(12), 2104–2122.
- 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(1), 93–103.
- Choe, J. H., Choi, Y. M., Lee, S. H., Shin, H. G., Ryu, Y. C., Hong, K. C., and Kim, B. C. (2008). The relation between glycogen, lactate content and muscle fiber type composition, and their influence on postmortem glycolytic rate and pork quality. *Meat science*, 80(2), 355–362.
- Choi, J. S., Lee, H. J., Jin, S. K., Choi, Y. I., and Lee, J. J. (2014). Comparison of Carcass Characteristics and Meat Quality between Duroc and Crossbred Pigs. *Korean journal for food science of animal resources*, 34(2), 238–244. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2014.34.2.238>
- Choi, Y. M., and Kim, B. C. (2009). Muscle fiber characteristics, myofibrillar protein isoforms, and meat quality. *Livestock Science*, 122(2-3), 105–118.
- Cui, J., W. Chen, J. Liu, T. Xu and Y. Zeng (2016) Study on quantitative expression of PPAR γ and ADRP in muscle and its association with intramuscular fat deposition of pig. *Springerplus*, 5, 1501.
- David L. N. (2000). *Lecture Notebook for Lehninger Principles of Biochemistry*, Third Edition. 55.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Ehrenborg, E. and A. Krook (2009) Regulation of skeletal muscle physiology and metabolism by peroxisome proliferator-activated receptor delta. *Pharmacological Reviews*, 61, 373-93.
- Ellis, M., Webb, A., Avery, P., and Brown, I. (1996). The influence of terminal sire genotype, sex, slaughter weight, feeding regime and slaughter-house on growth performance and carcass and meat quality in pigs and on the organoleptic properties of fresh pork. *Animal Science*, 62(3), 521-530.
- Fell, D. A. and J. R. Small (1986) Fat synthesis in adipose tissue. An examination of stoichiometric constraints. *The Biochemical journal*, 238, 781-786.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2014) Meat Consumption. Available online : <http://www.fao.org/ag/againfo/themes/en/meat/background.html>
- Franco, D., Vazquez, J. A., and Lorenzo, J. M. (2014). Growth performance, carcass and meat quality of the Celta pig crossbred with Duroc and Landrace genotypes. *Meat science*, 96(1), 195–202. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.06.024>
- Furuhashi, M., and Hotamisligil, G. S. (2008). Fatty acid-binding proteins: role in metabolic diseases and potential as drug targets. *Nature reviews. Drug discovery*, 7(6), 489–503. <https://doi.org/10.1038/nrd2589>
- Gandolfi, G., Pomponio, L., Ertbjerg, P., Karlsson, A. H., Nanni Costa, L., Lametsch, R., Russo, V., 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 ultrastructural and cytochemical features of color in mammalian skeletal muscle. *Zeitschrift fur Zellforschung und mikroskopische Anatomie (Vienna, Austria : 1948)*, 95(3), 462–482.
- Grindflek, E., H. Sundvold, S. Lien and M. Rothschild (2000) Rapid communication: Physical and genetic mapping of the Peroxisome Proliferator Activated Receptor γ (PPAR γ) gene to porcine chromosome 131. *Journal of animal science*, 78, 1391-2.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Hausman, G., M. V. Dodson, K. Ajuwon, M. Azain, K. Barnes, L. Guan, Z. Jiang, S. Poulos, R. Sainz, S. Smith, M. Spurlock, J. Novakofski, M. E. Fernyhough Culver and W. Bergen (2008) BOARD-INVITED REVIEW: the biology and regulation of preadipocytes and adipocytes in meat animals. *Journal of animal science*, 87, 1218-46.
- Hemmer, W., M. Skarli, J. C. Perriard and T. Wallimann (1993) Effect of okadaic acid on protein phosphorylation patterns of chicken myogenic cells with special reference to creatine kinase. *Federation of European Biochemical Societies Letters*, 327, 35-40.
- Hemmings, K. M., T. Parr, Z. C. T. R. Daniel, B. Picard, P. J. Buttery and J. M. Brameld (2009) Examination of myosin heavy chain isoform expression in ovine skeletal muscles1. *Journal of Animal Science*, 87, 3915-3922.
- Hertzel, A. V., and Bernlohr, D. A. (2000). The mammalian fatty acid-binding protein multigene family: molecular and genetic insights into function. *Trends in endocrinology and metabolism: TEM*, 11(5), 175–180.
- Hertzel, A. V., and Bernlohr, D. A. (2000). The mammalian fatty acid-binding protein multigene family: molecular and genetic insights into function. *Trends in endocrinology and metabolism: TEM*, 11(5), 175–180.
- Hollán, S., I. Dey, L. Szollár, M. Horányi, M. Magócsi, V. Harsányi and T. Farkas (1995) Erythrocyte lipids in triose-phosphate isomerase deficiency. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 92, 268-271.
- Jankowiak, H., Cebulska, A., and Bocian, M. (2021). The relationship between acidification (ph) and meat quality traits of Polish white breed pigs. *European Food Research and Technology*, 247(11), 2813–2820.
- Jeleníková, J., P. Pipek and M. Miyahara (2008) The effects of breed, sex, intramuscular fat and ultimate pH on pork tenderness. *European Food Research and Technology*, 227, 989-994.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Jiang, Y. Z., L. Zhu, G. Q. Tang, M. Z. Li, A. A. Jiang, W. M. Cen, S. H. Xing, J. N. Chen, A. X. Wen, T. He, Q. Wang, G. X. Zhu, M. Xie and X. W. Li (2012) Carcass and meat quality traits of four commercial pig crossbreeds in China. *Genet Mol Res*, 11, 4447-55.
- Kachaeva, E. V., and Shenkman, B. S. (2012). Various jobs of proteolytic enzymes in skeletal muscle during unloading: facts and speculations. *Journal of biomedicine & biotechnology*, 2012, 493618.
- Karlsson, A. H., R. E. Klont and X. Fernandez (1999) Skeletal muscle fibres as factors for pork quality. *Livestock Production Science*, 60, 255-269.
- Kiczak, L., A. Tomaszek, U. Pastawska, J. Bania, A. Noszczyk-Nowak, P. Skrzypczak, R. Pastawski, M. Zacharski, A. Janiszewski, P. Kuropka, P. Ponikowski and E. A. Jankowska (2015) Sex differences in porcine left ventricular myocardial remodeling due to right ventricular pacing. *Biology of Sex Differences*, 6, 32.
- Kim, G. D., Ryu, Y. C., Jo, C., Lee, J. G., Yang, H. S., Jeong, J. Y., and Joo, S. T. (2014) The characteristics of myosin heavy chain-based fiber types in porcine longissimus dorsi muscle. *Meat science*, 96(2 Pt A), 712-718.
- Kim, J. A., Cho, E. S., Jeong, Y. D., Choi, Y. H., Kim, Y. S., Choi, J. W., Kim, J. S., Jang, A., Hong, J. K., and Sa, S. J. (2020) The effects of breed and gender on meat quality of Duroc, Pietrain, and their crossbred. *Journal of animal science and technology*, 62(3), 409-419.
- Kim, Y. M., Choi, T. J., Ho Cho, K., Cho, E. S., Lee, J. J., Chung, H. J., Baek, S. Y., and Jeong, Y. D. (2018). Effects of Sex and Breed on Meat Quality and Sensory Properties in Three-way Crossbred Pigs Sired by Duroc or by a Synthetic Breed Based on a Korean Native Breed. *Korean journal for food science of animal resources*, 38(3), 544-553.
- Koohmaraie M. (1994). Muscle proteinases and meat aging. *Meat science*, 36(1-2), 93-104.
- Latorre, M. A., Lázaro, R., Gracia, M. I., Nieto, M., and Mateos, G. G. (2003). Effect of sex and terminal sire genotype on performance, carcass characteristics, and meat quality of pigs slaughtered at 117 kg body weight. *Meat science*, 65(4), 1369-1377.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Larzul, C., L. Lefaucheur, P. Ecolan, J. Gogué, A. Talmant, P. Sellier, P. Le Roy and G. Monin (1997) Phenotypic and genetic parameters for longissimus muscle fiber characteristics in relation to growth, carcass, and meat quality traits in large white pigs. *Journal of Animal Science*, 75, 3126-37.
- Lee, S. H., J. H. Choe, Y. M. Choi, K. C. Jung, M. S. Rhee, K. C. Hong, S. K. Lee, Y. C. Ryu and B. C. Kim (2012) The influence of pork quality traits and muscle fiber characteristics on the eating quality of pork from various breeds. *Meat Science*, 90, 284-291.
- Lefaucheur L, Ecolan P, Plantard L, and Gueguen N. New Insights into Muscle Fiber Types in the Pig. *Journal of Histochemistry & Cytochemistry*. 2002;50(5):719-730.
- Lefaucheur, L. and D. Gerrard (2000) Muscle fiber plasticity in farm mammals. *Journal of Animal Science*, 77.
- Lefaucheur, L., Ecolan, P., Plantard, L., and Gueguen, N. (2002). New insights into muscle fiber types in the pig. *The journal of histochemistry and cytochemistry : official journal of the Histochemistry Society*, 50(5), 719–730.
- Lengerken, G. v., S. Maak, M. Wicke, I. Fiedler and K. Ender (1994) Suitability of structural and functional traits of skeletal muscle for the genetic improvement of meat quality in pigs. *Archives Animal Breeding (Germany)*.
- Li, Y. X., M. M. Cabling, H. S. Kang, T. S. Kim, S. C. Yeom, Y. G. Sohn, S. H. Kim, K. C. Nam and K. S. Seo (2013) Comparison and correlation analysis of different Swine breeds meat quality. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 26, 905-910.
- Liu, X., Ling, Q., Zhao, L., Qiu, G., Wang, Y., Song, L., Zhang, Y., Ruiz, J., Astruc, D., and Gu, H. (2017). New ROMP Synthesis of Ferrocenyl Dendronized Polymers. *Macromolecular rapid communications*, 38(19),
- Lonergan, S. M., Huff-Lonergan, E., Rowe, L. J., Kuhlert, D. L., and Jungst, S. B. (2001). Selection for lean growth efficiency in Duroc pigs influences pork quality. *Journal of animal science*, 79(8).
- Lu, P., D. li, J. Yin, L. Zhang and Z. Wang (2008) Flavour differences of cooked longissimus muscle from Chinese indigenous pig breeds and hybrid pig breed (Duroc × Landrace × Large White). *Food Chemistry*, 107, 1529–1537.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Magowan, E. Ball, M., McCracken, K., Beattie, V., Bradford, R., Robinson, M., Scott, M., Gordon, F. and Mayne, C. (2011). The performance response of pigs of different wean weights to 'high' or 'low' input dietary regimes between weaning and 20 weeks of age. *Livestock Science*.
- Mansbridge, N. da Costa and K. C. Chang (2004) Effects of breed, diet and muscle on fat deposition and eating quality in pigs. *Meat Science*, 67, 651-667.
- Michalik, L., Desvergne, B., Dreyer, C., Gavillet, M., Laurini, R. N., and Wahli, W. (2002) PPAR expression and function during vertebrate development. *The International journal of developmental biology*, 46(1), 105-114.
- Meinert, L., Christiansen, S. C., Kristensen, L., Bjerregaard, C., and Aaslyng, M. D. (2008). Eating quality of pork from pure breeds and DLY studied by focus group research and meat quality analyses. *Meat science*, 80(2), 304-314.
- Morgan, J. B., Wheeler, T. L., Koochmarai, M., Crouse, J. D., and Savell, J. W. (1993). Effect of castration on myofibrillar protein turnover, endogenous proteinase activities, and muscle growth in bovine skeletal muscle. *Journal of animal science*, 71(2), 408-414.
- Mota de Sá, P., Richard, A. J., Hang, H., and Stephens, J. M. (2017). Transcriptional Regulation of Adipogenesis. *Comprehensive Physiology*, 7(2), 635-674.
- Motawi, T. K., Shaker, O. G., Ismail, M. F., and Sayed, N. H. (2017). Peroxisome Proliferator-Activated Receptor Gamma in Obesity and Colorectal Cancer: The Role of Epigenetics. *Scientific reports*, 7(1), 10714.
- Mráček, T., Holzerová, E., Drahota, Z., Kovářová, N., Vrbacký, M., Ješina, P., and Houšťek, J. (2014). ROS generation and multiple forms of mammalian mitochondrial glycerol-3-phosphate dehydrogenase. *Biochimica et biophysica acta*, 1837(1), 98-111. <https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2013.08.007>
- Muhlisin, Panjono, Lee, S. J., Lee, J. K., and Lee, S. K. (2014). Effects of crossbreeding and gender on the carcass traits and meat quality of korean native black pig and duroc crossbred. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 27(7), 1019-1025.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Newcom, D. W., K. J. Stalder, T. J. Baas, R. N. Goodwin, F. C. Parrish and B. R. Wiegand (2004) Breed differences and genetic parameters of myoglobin concentration in porcine longissimus muscle. *Journal of Animal Science*, 82, 2264-8.
- Noidad, S., Limsupavanich, R., Suwonsichon, S., and Chaosap, C. (2019) Effect of visual marbling levels in pork loins on meat quality and Thai consumer acceptance and purchase intent. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 1923-1932.
- Oury, M. P., Dumont, R., Jurie, C., Hocquette, J. F., and Picard, B. (2010). Specific fibre composition and metabolism of the rectus abdominis muscle of bovine Charolais cattle. *BMC biochemistry*, 11, 12.
- Oliver, M. A., Gispert, M., and Diestre, A. (1993). The effects of breed and halothane sensitivity on pig meat quality. *Meat science*, 35(1), 105–118.
- Pardo, B., and Contreras, L. (2012). Redox Shuttles in the Brain. In: Choi, IY., Gruetter, R. (eds) *Neural Metabolism In Vivo. Advances in Neurobiology*, vol 4. Springer, Boston, MA.
- Picard, Brigitte, and Cassar-Malek, Isabelle. (2009). Evidence for expression of IIb myosin heavy chain isoform in some skeletal muscles of Blonde d'Aquitaine bulls. *Meat Science*, 82(1), 30-36.
- Pomponio, L., and Ertbjerg, P. (2012). The effect of temperature on the activity of μ - and m-calpain and calpastatin during post-mortem storage of porcine longissimus muscle. *Meat science*, 91(1), 50–55.
- Pringle, T. D., Williams, S. E., Lamb, B. S., Johnson, D. D., and West, R. L. (1997). Carcass characteristics, the calpain proteinase system, and aged tenderness of Angus and Brahman crossbred steers. *Journal of animal science*, 75(11), 2955–2961.
- Renand, G., B. Picard, C. Touraille, P. Berge and J. Lepetit (2001) Relationships between muscle characteristics and meat quality traits of young Charolais bulls. *Meat Science*, 59, 49-60.
- Ryu, Y. C. and B. C. Kim (2005) The relationship between muscle fiber characteristics, postmortem metabolic rate, and meat quality of pig longissimus dorsi muscle. *Meat Science*, 71, 351-357.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Ryu, Y. C., M. H. Lee, S. K. Lee and B. C. Kim (2006) Effects of muscle mass and fiber type composition of Longissimus Dorsi muscle on postmortem metabolic rate and meat quality in pigs. *Journal of Muscle Foods*, 17, 343-353.
- Salazar-Olivo, L. A., Castro-Muñozledo, F., and Kuri-Harcuch, W. (1995). A preadipose 3T3 cell variant highly sensitive to adipogenic factors and to human growth hormone. *Journal of cell science*, 108 (Pt 5), 2101–2107.
- Salazar-Olivo, L. A., F. Castro-Munozledo and W. Kuri-Harcuch (1995) A preadipose 3T3 cell variant highly sensitive to adipogenic factors and to human growth hormone. *Journal of Cell Science*, 108, 2101.
- Schiaffino, S., and Reggiani, C. (2011) Fiber types in mammalian skeletal muscles. *Physiological reviews*, 91(4), 1447-1531.
- Szulc, K., Wojtysiak, D., Migdal, L., and Migdał, Władysław. (2022). The Muscle Fibre Characteristics and the Meat Quality of M. Longissimus Thoracis from Polish Native Żłotnicka Spotted Pigs and the Crossbreed Fatteners from the Crossing of Duroc and Polish Large White Boars. *Applied Sciences*. 12. 3051.
- Talmadge, R. J. (2000) Myosin heavy chain isoform expression following reduced neuromuscular activity: Potential regulatory mechanisms. *Muscle & Nerve*, 23, 661-679.
- Van Der Wal, P. G., B. Engel and B. Hulsege (1997) Causes for variation in pork quality. *Meat Science*, 46, 319-327.
- Veerkamp, J. H. & R. G. Maatman (1995) Cytoplasmic fatty acid-binding proteins: their structure and genes. *Progress in Lipid Research*, 34, 17-52.
- Wang, J., Yan, X. L., Liu, R., Fu, Q. Q., Zhou, G. H., & Zhang, W. G. (2016). Differences in calpain system, desmin degradation and water holding capacity between commercial Meishan and Duroc × Landrace × Yorkshire crossbred pork. *Animal science journal = Nihon chikusan Gakkaiho*, 87(1), 109–116.
- Wimmers, K., N. T. Ngu, D. G. J. Jennen, D. Tesfaye, E. Murani, K. Schellander and S. Ponsuksili (2008) Relationship between myosin heavy chain isoform expression and muscling in several diverse pig breeds¹. *Journal of Animal Science*, 86, 795-803.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Wu, G., X. e. Shi, J. Zhou, L. Wang, Y. Li, C. Song, A. Xiang, P. Dong and S. Sun (2015) Differential expression of meat quality and intramuscular fat deposition related genes in Hanjiang black pigs. *Acta Biochimica et Biophysica Sinica*, 47, 145-145.
- Xu, C. L., Wang, Y. Z., Huang, Y. H., Liu, J. X., and Feng, J. (2007). Postnatal expression pattern of adipose type fatty acid binding protein in different adipose tissues of porcine. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 20(6), 811–816.
- Xu, Y. J., M. L. Jin, L. J. Wang, A. D. Zhang, B. Zuo, D. Q. Xu, Z. Q. Ren, M. G. Lei, X. Y. Mo, F. E. Li, R. Zheng, C. Y. Deng and Y. Z. Xiong (2009) Differential proteome analysis of porcine skeletal muscles between Meishan and Large White. *Journal of Animal Science*, 87, 2519-27.
- Yang, X. J., E. Albrecht, K. Ender, R. Q. Zhao and J. Wegner (2006) Computer image analysis of intramuscular adipocytes and marbling in the longissimus muscle of cattle1. *Journal of Animal Science*, 84, 3251-3258.
- Zhang, C., Luo, J. Q., Zheng, P., Yu, B., Huang, Z. Q., Mao, X. B., He, J., Yu, J., Chen, J. L., and Chen, D. W. (2015). Differential expression of lipid metabolism-related genes and myosin heavy chain isoform genes in pig muscle tissue leading to different meat quality. *Animal : an international journal of animal bioscience*, 9(6), 1073–1080.
- Zhang, S., Zhang, J., Olasege, B. S., Ma, P., Qiu, X., Gao, H., Wang, C., Wang, Y., Zhang, Q., Yang, H., Wang, Z., Ding, X., and Pan, Y. (2020). Estimation of genetic parameters for reproductive traits in connectedness groups of Duroc, Landrace and Yorkshire pigs in China. *Journal of animal breeding and genetics = Zeitschrift fur Tierzuchtung und Zuchtungsbiologie*, 137(2), 211–222.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายวุฒิกร บัวจุม
วัน เดือน ปีเกิด	3 มีนาคม 2537 จังหวัดยะลา
ที่อยู่	65/23 หมู่บ้านศุภาลัย พาร์ควิลล์ 1 บางนา-เทพารักษ์ ตำบลบางโฉลง อำเภอ บางพลี จังหวัดสมุทรปราการ 10540
ประวัติการศึกษา	2559 ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาครุศาสตร์เกษตร (เกียรตินิยมอันดับ 2)
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ.2560 - ปัจจุบัน	ตำแหน่งครู โรงเรียนบางพลีราษฎร์บำรุง จังหวัดสมุทรปราการ
ผลงานวิจัย	
พ.ศ.2560	- การนำเสนอผลงานทางวิชาการ “การแสดงออกของ Myosin heavy chain และคุณภาพเนื้อของสุกรดูโรคพันธุแท้และสุกรลูกผสม” วารสาร วิทยาศาสตร์เกษตร 2560
	- การนำเสนอผลงานทางวิชาการ “The Differences and Relationship in the Gene Expression of Calpain System and Pork Tenderness between Duroc Purebred and Crossbred Pigs.” ในงาน “International Journal of Agricultural Technology 2017” โรงแรม Supreme and Convention Plaza สาธารณรัฐฟิลิปปินส์
พ.ศ.2559	- การนำเสนอผลงานทางวิชาการ “Myosin Heavy Chain Expression of Purebred and Crossbred Pig” ในงาน The 17 th Asian-Australasian Association of Animal Production Societies Animal Science Congress. วันที่ 5 สิงหาคม พ.ศ.2559. Kyushu Sangyo University ประเทศญี่ปุ่น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้