คุณภาพเนื้อสุกรที่ได้รับการเสริมแรคโตพามีนที่ระดับ 20 และ 40 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในอาหาร

MEAT QUALITY OF SWINE FINISHED BY DIETS SUPPLEMENTED WITH 20 OR 40 PPM RACTOPAMINE

กรองแก้ว แก้วถาวร

KRONGKAEW KAEWTHAWORN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสัตวศาสตร์

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

KMITL-2017-AG-M-031-247

คุณภาพเนื้อสุกรที่ได้รับการเสริมแรคโตพามีนที่ระดับ 20 และ 40 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในอาหาร

MEAT QUALITY OF SWINE FINISHED BY DIETS SUPPLEMENTED WITH 20 OR 40 PPM RACTOPAMINE

กรองแก้ว แก้วถาวร

KRONGKAEW KAEWTHAWORN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสัตวศาสตร์

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

KMITL-2017-AG-M-031-247

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MEAT QUALITY OF SWINE FINISHED BY DIETS SUPPLEMENTED WITH 20 OR 40 PPM RACTOPAMINE

KRONGKAEW KAEWTHAWORN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN ANIMAL SCIENCE

FACULTY OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2017

KMITL-2017-AG-M-031-247

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2017

FACULTY OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ คุณภาพเนื้อสุกรที่ได้รับการเสริมแรคโตพามีนที่ระดับ 20 และ 40 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในอาหาร
Meat Quality of Swine Finished by Diets Supplemented with 20 or 40 ppm Ractopamine

นักศึกษา นางสาวกรองแก้ว แก้วถาวร

รหัสประจำตัว 58604042

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา สัตวศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.รณชัย สิทธิไกรพงษ์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผศ.ดร.จันทร์พร เจ้าทรัพย์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.รุจริน	ลิ้มศุภวานิช	
รศ.ดร.จุฑารัตน์	เศรษฐกุล	
ผศ.ดร.จันทร์พร	เจ้าทรัพย์	
รศ.ดร.รณชัย	สิทธิไกรพงษ์	

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ 21 มิถุนายน 2560

สถานที่สอบ ห้องประชุม 2 (ชั้น 1 ตึกบุนนาค)

คณบดีรับรองแล้ว

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มณฑล แก่นมณี)

คณบดีคณะเทคโนโลยีการเกษตร

วันที่ 25 **เดือน** กรกฎาคม **พ.ศ.** 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	คุณภาพเนื้อสุกรที่ได้รับการเสริมแรคโตพามีนที่ระดับ 20 และ 40 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในอาหาร
นักศึกษา	นางสาว กรองแก้ว แก้วถาวร
รหัสประจำตัว	58604042
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	สัตวศาสตร์
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ. ดร. รณชัย สิทธิไกรพงษ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผศ. ดร. จันทร์พร เจ้าทรัพย์

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเสริมแรคโตพามีนในอาหารต่อคุณภาพเนื้อของสุกรขุน โดยใช้สุกรขุนลูกผสมสามสาย (ดูร็อค × ลาร์จไวท์ × แลนด์เรซ) น้ำหนักเริ่มต้นประมาณ 20 กิโลกรัม จำนวน 30 ตัว แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มการทดลอง ได้แก่ กลุ่มควบคุม (ไม่เสริมแรคโตพามีน) กลุ่มที่เสริมด้วยแรคโตพามีนที่ระดับ 20 และ 40 ppm ในสูตรอาหารระยะ 60-100 กิโลกรัม แต่ละกลุ่มการทดลองประกอบด้วยสุกรจำนวน 10 ตัว (เพศเมีย 5 ตัว และเพศผู้ตอน 5 ตัว) นำไปเลี้ยงในกรงขังเดี่ยว ให้สุกรทุกตัวได้รับน้ำดื่มและอาหารกินอย่างเต็มที่ เมื่อสุกรมีน้ำหนักตัวประมาณ 100 กิโลกรัม ขนส่งสุกรไปยังโรงฆ่าเพื่อฆ่าและตัดแต่งซาก ทำการเก็บตัวอย่างกล้ามเนื้อสันนอก (*Longissimus dorsi*; LD) ของสุกรแต่ละตัวเพื่อนำมาศึกษาคุณภาพเนื้อ ผลการศึกษาพบว่าการเสริมแรคโตพามีนไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของเนื้อ เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษาที่ 48 ชั่วโมง เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการทำละลาย เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงสุก ความยาวซาร์โคเมียร์ ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อ และองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น ไขมัน โปรตีน และเถ้า ($P>0.05$) ในขณะที่สุกรในกลุ่มที่ได้รับแรคโตพามีนที่ระดับ 20 และ 40 ppm มีค่าสีของเนื้อ ได้แก่ a* (redness) และ b* (yellowness) และปริมาณไกลโคเจนต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ค่าแรงตัดผ่านเนื้อพบว่าที่ระยะเวลาการบ่ม 1 และ 5 วัน สุกรในกลุ่มที่ได้รับแรคโตพามีนมีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในส่วนของปริมาณคอลลาเจนพบว่าเนื้อสุกรทุกกลุ่มมีปริมาณคอลลาเจนที่ละลายไม่ได้และปริมาณคอลลาเจนทั้งหมดในกล้ามเนื้อไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่เนื้อสุกรในกลุ่มที่ได้รับแรคโตพามีนมีปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) และจากการทดลองพบว่าการเสริมแรคโตพามีนไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีผลต่อการสลายตัวของโปรตีน troponin T จากการทดลองสรุปได้ว่าเนื้อสุกรที่ได้รับสารแรคโตพามีนในอาหารจะเหนียวกว่าเนื้อสุกรที่ได้รับอาหารควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Meat Quality of Swine Finished by Diets Supplemented with 20 or 40 ppm Ractopamine
Student	Miss Krongkaew Kaewthaworn
Student ID	58604042
Degree	Master of Science
Program	Animal Science
Year	2017
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Ronachai Sitthigripong
Thesis Co-Advisor	Asst. Prof. Dr. Chanporn Chaosap

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of ractopamine (RAC) supplementation in diets on meat quality of finishing pigs. Thirty crossbred fattening pigs (Duroc × Large White × Landrace), approximately 20 kg bodyweight, were divided into 3 groups which included 5 gilts and 5 barrows in each group. The experimental treatments consisted of pigs fed with diet supplemented with 0 (control), 20 or 40 ppm RAC at 60-100 kg feeding period. All animals were offered with diet and drinking water *ad libitum*. At approximately 100 kg bodyweight, all pigs were slaughtered and their *longissimus dorsi* (LD) muscles were collected for evaluating the meat quality. The results showed that there were no significant differences ($P>0.05$) on pH 45 min and 24 hours post-mortem, drip loss percentage, thawing loss percentage, cooking loss percentage, sarcomere length, muscle fiber diameter and chemical composition among groups. LD muscles of pigs fed with 20 and 40 ppm RAC had significantly lower ($P<0.05$) a* (redness), b* (yellowness) and glycogen content than control group. LD muscles of pigs fed with RAC had a higher Warner-Bratzler shear force (WBSF) than those fed with control diet (either on 1 or 5 day postmortem). Although LD muscles of pigs fed with RAC had a lower soluble collagen than the control group. There was no significant difference on ($P>0.05$) insoluble collagen and total collagen among groups. In addition, the results of this study showed that RAC did not affect degradation of troponin T protein. The results of present study might be concluded that dietary RAC increased toughness of pork.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก รศ. ดร. รณชัย สิทธิไกรพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผศ. ดร. จันทร์พร เจ้าทรัพย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งได้ให้ความรู้ ความช่วยเหลือ คำปรึกษา และคำแนะนำที่มีประโยชน์ในการทำวิจัยเสมอมา ตลอดจนได้ให้ประสบการณ์ที่ดี รวมทั้งกรุณาตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ดร. รุจริน ลิ้มสุภวานิช ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ รศ.ดร. จุฑารัตน์ เศรษฐกุล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ (ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก) ที่ได้กรุณาสละเวลาตรวจสอบ ให้คำแนะนำ และข้อเสนอแนะที่ดี เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ คุณกมล ฉวีวรรณ ผอ. ศูนย์วิจัยและพัฒนาสุกร และเจ้าหน้าที่ ศูนย์วิจัยและพัฒนาสุกร ตำบลขนงพระ อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ด้านสถานที่ในการเลี้ยงสุกร ตลอดจนความช่วยเหลือในการเก็บรวบรวมข้อมูลและตัวอย่างเนื้อในการวิจัย และขอกราบขอบพระคุณสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช.) สำหรับความอนุเคราะห์ด้านงบประมาณสนับสนุนในการวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณศูนย์เครือข่ายการวิจัยเทคโนโลยีเนื้อสัตว์ ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร และภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์เอื้อเฟื้อสถานที่ และอุปกรณ์ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณรุ่นพี่ เพื่อน และรุ่นน้อง นักศึกษาปริญญาเอก ปริญญาโท และปริญญาตรี รวมถึงบุคลากร ทั้งในภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร และภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี ที่คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำ และความช่วยเหลือตลอดการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับ นายพัชรินทร์ แก้วถาวร (บิดา) นางจิตติภรณ์ แก้วถาวร (มารดา) และนายสมพงค์ ทองเพ็ชร (พี่ชาย) ที่สนับสนุนทุนการศึกษา นายเกริกชัย แก้วถาวร (น้องชาย) ตลอดจนสมาชิกทุกท่านในครอบครัวที่คอยให้กำลังใจเสมอมา

สำหรับประโยชน์และคุณค่าทั้งปวงของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน ตลอดจนผู้ที่สามารถนำไปใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อไป และขอมอบคุณงามความดีแก่คุณครูและอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอน และถ่ายทอดความรู้ให้แก่ผู้วิจัยด้วยดีตลอดมา

กรองแก้ว แก้วถาวร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ III
กิตติกรรมประกาศ IV
สารบัญ V
สารบัญตาราง VIII
สารบัญภาพ X
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความสำคัญและที่มา 1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ 2
1.3 สถานที่ดำเนินงาน 2
1.4 ขอบเขตการศึกษา 3
1.5 ระยะเวลาดำเนินการ 3
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 3
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 สารเบต้า-อะโกนิสต์ 4
2.2 กลไกการทำงานของสารเบต้า-อะโกนิสต์ 5
2.3 แรคโตพามีน 7
2.4 โครงสร้างของกล้ามเนื้อ 8
2.4.1 โครงสร้างของกล้ามเนื้อ 8
2.4.2 โปรตีนในเนื้อสัตว์ 9
2.4.3 เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน 10
2.5 คุณสมบัติของเนื้อ 12
2.5.1 สี (Color) 12
2.5.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 13
2.5.3 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) 15
2.5.4 ขนาดของเส้นใยกล้ามเนื้อ (Muscle fiber size) 15
2.5.5 ความยาวซาร์โคเมียร์ (Sarcomere length) 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพเนื้อ 17
2.6.1 ความเครียดของสัตว์ 17
2.6.2 การย่อยสลายตัวของโปรตีนภายหลังสัตว์ตาย 18
2.7 ผลของสารแรคโตพามีนต่อเมตาบอลิซึมของสุกรขุน 19
2.8 ผลของสารแรคโตพามีนต่อคุณภาพซากและคุณภาพเนื้อสุกรขุน 21

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย 28
3.1 สัตว์ทดลอง 28
3.2 สูตรอาหารที่ใช้เลี้ยงสุกร 28
3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย 29
3.4 การเก็บตัวอย่างเนื้อ 30
3.5 อุปกรณ์และสารเคมี 31
3.5.1 อุปกรณ์ 31
3.5.2 สารเคมี 32
3.6 วิธีการวิจัยคุณภาพเนื้อ 33
3.6.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 33
3.6.2 ค่าสีของเนื้อ (Color) 34
3.6.3 ความยาวซาร์โคเมียร์ (Sarcomere length) 34
3.6.4 ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อ (Diameter) 34
3.6.5 ปริมาณไกลโคเจน (Glycogen content) 35
3.6.6 ส่วนประกอบทางเคมี 35
3.6.7 ปริมาณคอลลาเจน (Collagen content) 35
3.6.8 การสลายตัวของโปรตีน troponin T ที่ระยะเวลาการบ่ม 5 วัน โดยใช้เทคนิค Western blot 36
3.6.9 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษา (Drip loss) 39
3.6.10 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงสุก (Cooking loss) และการวัดค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (Warner-Bratzler shear force) 39
3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ 41

4.1 ผลการศึกษาคุณภาพซากสุกรขุน 41

4.2 ผลของการศึกษาปริมาณการแสดงออกของ MHC isoforms 42

4.3 ผลของการศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่าง 44

4.4 ผลของการศึกษาค่าสีของเนื้อ 45

4.5 ผลของการศึกษาความยาวซาร์โคเมียร์และความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อ 46

4.6 ผลของการศึกษาปริมาณไกลโคเจน 47

4.7 ผลของการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี 48

4.8 ผลของการศึกษาปริมาณคอลลาเจน 49

4.9 ผลของการศึกษาการสลายตัวของโปรตีน troponin T 50

4.10 ผลของการศึกษาค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อและค่าแรงตัดผ่านเนื้อ 51

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 54

5.1 สรุปผลการทดลอง 54

5.2 ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะ 55

บรรณานุกรม 56

ภาคผนวก 63

ภาคผนวก ก 64

ภาคผนวก ข 69

ประวัติผู้เขียน 74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 แสดงเบต้า-รีเซพเตอร์ชนิดต่างๆ ในสิ่งมีชีวิตที่ต่างชนิดกัน 5
2.2 ค่าความเป็นกรด-ด่างของลักษณะเนื้อ PSE เนื้อปกติและเนื้อ DFD ในกล้ามเนื้อสันนอกสุกร 14
2.3 ผลของการเสริมแรคโตพามีนต่อการวัดเมทาบอลิซึมโปรตีนในกล้ามเนื้อ *semitendinosus* ในสุกรขุน 20
2.4 ผลของการเสริมแรคโตพามีนร่วมกับไลซีนในสูตรอาหารต่อลักษณะซากและคุณภาพเนื้อสันนอกสุกรขุน 25
2.5 ผลของการเสริมแรคโตพามีนร่วมกับกรดอะมิโนในสูตรอาหารต่อลักษณะซากและคุณภาพเนื้อสุกรขุน 26
2.6 ผลของแรคโตพามีนต่อคุณภาพเนื้อสันนอกสุกรขุน 27
3.1 ส่วนประกอบของสูตรอาหารที่ใช้เลี้ยงสุกร 29
3.2 การเตรียมเจล TGX stain-Free gel สำหรับ SDS-PAGE 37
4.1 ผลของการเสริมแรคโตพามีนต่อเปอร์เซ็นต์ซากและเปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนที่ได้จากการตัดแต่งของสุกรขุน 42
4.2 ผลของการเสริมแรคโตพามีนต่อปริมาณการแสดงออกของยีน MHC ชนิดต่างๆ 43
4.3 อิทธิพลร่วมระหว่างแรคโตพามีนกับเพศในปริมาณการแสดงออกของยีน MHC ชนิดต่างๆ 44
4.4 ผลของการเสริมแรคโตพามีนต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของกล้ามเนื้อภายหลังสัตว์ตาย 45 นาทีและ 24 ชั่วโมง 45
4.5 ผลของการเสริมแรคโตพามีนต่อค่าสีของเนื้อ 46
4.6 ผลของการเสริมแรคโตพามีนต่อความยาวซาร์โคเมียร์และความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อ 47
4.7 อิทธิพลร่วมระหว่างแรคโตพามีนกับเพศต่อความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อ 47
4.8 ผลของการเสริมแรคโตพามีนต่อปริมาณไกลโคเจนหลังสัตว์ตายภายในเวลา 1 ชั่วโมง 48
4.9 ผลของการเสริมแรคโตพามีนต่อองค์ประกอบทางเคมี 49
4.10 ผลของการเสริมแรคโตพามีนต่อปริมาณคอลลาเจนในกล้ามเนื้อสันนอกสุกร 50
4.11 ผลของการเสริมแรคโตพามีนต่อความเข้มของแถบโปรตีน troponin T และผลผลิตที่ได้จากการสลายตัวของโปรตีน troponin T 51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.12 อิทธิพลร่วมระหว่างแรคโตพามีนกับเพศต่อความเข้มของแถบโปรตีนที่เกิดจากการสลายตัวของโปรตีน troponin T 51

4.13 ผลของการเสริมแรคโตพามีนต่อค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อและค่าแรงตัดผ่านเนื้อ 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1 แบบจำลองโครงสร้างของเบต้า-รีเซพเตอร์ 5
2.2 แสดงกลไกการทำงานของสารเบต้า-อะโกนิสต์ในการลดไขมันและการเพิ่มขึ้นของกล้ามเนื้อ 6
2.3 แสดงกลไกการทำงานของสารในกลุ่มเบต้า-อะโกนิสต์ 6
2.4 แสดงโครงสร้างของแรคโตพามีน 8
2.5 โครงสร้างกล้ามเนื้อ 9
2.6 โปรตีนในกล้ามเนื้อ 11
2.7 โครงสร้างของคอลลาเจน 12
2.8 องค์ประกอบของไมโอโกลบิน 13
2.9 การลดลงของค่าความเป็นกรด-ด่างภายหลังสัตว์ตาย 14
2.10 ซาร์โคเมียร์ 16
2.11 ความเครียดกระตุ้นการสลายไกลโคเจนในตับโดยฮอร์โมนอะดรีนาลีน 18
2.12 ผลของการเสริมแรคโตพามีนต่อปริมาณไกลโคเจนในกล้ามเนื้อสันนอกสุกร 21
3.1 สัตว์ทดลอง 28
3.2 การตัดแบ่งตัวอย่างกล้ามเนื้อสันนอกสำหรับการศึกษาคุณภาพเนื้อ 31

ภาพผนวกที่ ข.1 (ก) (ค) (จ) (ช) (ฌ) แสดงการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนที่ระยะเวลาการบ่ม 5 วัน ด้วยเทคนิค SDS-PAGE (ข) (ง) (ฉ) (ซ) (ญ) การสลายตัวของโปรตีน troponin T น้ำหนักโมเลกุล 37 และ 30 kDa ด้วยเทคนิค Western blot 68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

เนื้อสุกรเป็นแหล่งโปรตีนจากสัตว์ที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย (Almeida *et al*. 2012) ซึ่งในปัจจุบันผู้บริโภคส่วนใหญ่มีความต้องการบริโภคเนื้อสุกรที่มีปริมาณเนื้อแดงสูงและไขมันในเนื้อน้อย ส่งผลให้อุตสาหกรรมการผลิตสุกรต้องผลิตเนื้อสุกรให้ตรงตามความต้องการของผู้บริโภค (Ferreira *et al*. 2013) ดังนั้นในปัจจุบันมีการพัฒนาด้านสุขภาพสัตว์ สายพันธุ์ และเทคโนโลยีอาหารสัตว์ (Almeida *et al*. 2012 ; Andretta *et al*. 2012) เพื่อผลิตสุกรในเชิงอุตสาหกรรม โดยในหลายประเทศได้มีการนำสารแรคโตพามีน ไฮโดรคลอไรด์ (ractopamine hydrochloride) มาใช้ในการผลิตสุกรขุน โดยมีชื่อทางการค้า คือ Paylean™ (Elanco Animal Health, Greenfield, IN) เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา แคนนาดา และบราซิล ซึ่งแรคโตพามีนมีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตและคุณภาพซากของสุกรขุนดีขึ้น มีปริมาณเนื้อแดงเพิ่มขึ้น แต่ในด้านคุณภาพเนื้อยังไม่ปรากฏผลกระทบที่แน่ชัด ทั้งนี้ในบางประเทศยังไม่มีการอนุญาตให้ใช้แรคโตพามีนในอุตสาหกรรมการผลิตสุกร เช่น สหภาพยุโรป และจีน เนื่องจากอาจส่งผลกระทบต่อผู้บริโภค โดยแรคโตพามีนมีความเสี่ยงต่อผู้บริโภค ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อระบบหัวใจและหลอดเลือด และมีผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลาง (Dong *et al*. 2011 ; Almeida *et al*. 2012 ; Apple 2012) สำหรับประเทศไทย มีข้อห้ามในการใช้สารในกลุ่มเบต้า-อะโกนิสต์ (beta-agonists) ในการเลี้ยงสัตว์ เนื่องจากสารดังกล่าวมีโทษต่อสัตว์และผู้บริโภค โดยสารในกลุ่มเบต้า-อะโกนิสต์มีฤทธิ์กระตุ้นระบบไหลเวียนโลหิต หัวใจเต้นเร็วกว่าปกติ ซึ่งสารในกลุ่มนี้ ยกตัวอย่างเช่น ซาลบูทามอล (salbutamol) เคลนบูเทอรอล (clenbuterol) รวมถึงแรคโตพามีนด้วย (วราพันธุ์ จินตณวิชญ์. 2555)

แรคโตพามีนเป็นสารในกลุ่มเบต้า-อะโกนิสต์ โดยใช้เป็นสารเสริมในอาหารสัตว์เพื่อใช้เลี้ยงสัตว์ในระยะขุน เช่น สุกร โค ไก่งวง (Turberg *et al.* 1996) ไก่ และแกะ (Salem *et al.* 2006) เกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ในประเทศไทยบางรายมีการลักลอบนำมาใช้ผสมในอาหารสัตว์ เพื่อเป็นการปรับคุณภาพซาก ซึ่งสารกลุ่มเบต้า-อะโกนิสต์ มีส่วนช่วยเพิ่มอัตราการเจริญเติบโต เพิ่มปริมาณเนื้อแดง และลดปริมาณไขมันในซาก ซึ่งส่งผลดีต่อผู้เลี้ยง อีกทั้งตรงต่อความต้องการของผู้บริโภค การใช้สารกลุ่มเบต้า-อะโกนิสต์ในการเลี้ยงสัตว์ส่งผลต่อความเครียดของสัตว์ โดยสารกลุ่มนี้มีผลต่อระบบประสาทที่ควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจ หลอดลม และกระเพาะปัสสาวะ เป็นต้น ซึ่งอาจส่งผลให้สัตว์เกิดอาการช็อกและตายได้ นอกจากนี้เมื่อผู้บริโภคได้รับสารในกลุ่มนี้จากการบริโภคเนื้อสัตว์ จะมีผลข้างเคียงคือ เกิดอาการกล้ามเนื้อกระตุก หัวใจสั่น การเต้นของหัวใจผิดปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปวดศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน กระวนกระวาย มีอาการทางประสาท และหมดสติ โดยความรุนแรงจะมากขึ้นในสตรีมีครรภ์ ผู้ป่วยโรคเบาหวาน โรคหัวใจ ความดันโลหิต และโรคไฮเปอร์ไทรอยด์ (วราพันธุ์ จินตณวิชญ์. 2555 ; ปรีชา อินนุรักษ์. 2556)

โครงการการศึกษาผลของการใช้สารแรคโตพามีนในสุกรขุนเป็นโครงการบูรณาการวิจัยของหลายหน่วยงาน โดยได้รับงบประมาณสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช.) และได้งบประมาณบางส่วนจากกรมปศุสัตว์ในการเลี้ยงสุกรตั้งแต่น้ำหนัก 20 กิโลกรัม จนถึงส่งตลาด ในขณะที่เลี้ยงจะทำการเก็บตัวอย่างเลือด เพื่อตรวจสอบฮอร์โมน ศึกษาผลต่อความเครียด ต่อสวัสดิภาพสัตว์ สุขภาพสัตว์ และเมื่อสุกรมีน้ำหนักส่งฆ่าจะมีการเก็บปัสสาวะ ชิ้นส่วนเนื้อ เครื่องใน และสมอง เพื่อตรวจวัดสารตกค้าง ซึ่งเป็นส่วนรับผิดชอบของกรมปศุสัตว์ ในส่วนของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทำการศึกษาคุณภาพเนื้อของสุกร โดยศึกษาผลกระทบของสารแรคโตพามีนในระดับที่แนะนำและระดับที่สูงกว่าแนะนำ 2 เท่า เพื่อจะได้เห็นผลกระทบที่เด่นชัดขึ้น

ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของการใช้สารแรคโตพามีนที่ระดับ 20 และ 40 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (ppm) ผสมลงในอาหารต่อคุณภาพเนื้อของสุกรขุน เพื่อใช้เป็นข้อมูลเชิงวิชาการที่จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมการผลิตสุกรของประเทศต่อไป

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาผลกระทบของการเสริมสารแรคโตพามีนที่ระดับ 20 และ 40 ppm ในอาหารสุกรขุนต่อคุณภาพเนื้อ

1.2.2 เพื่อศึกษาผลกระทบของแรคโตพามีนที่ระดับ 20 และ 40 ppm ในอาหารต่อปริมาณไกลโคเจน องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณคอลลาเจน และการย่อยสลายตัวของโปรตีน troponin T (protein degradation)

1.3 สถานที่ดำเนินงาน

1.3.1 ศูนย์วิจัยและพัฒนาสุกร กรมปศุสัตว์ อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา

1.3.2 ศูนย์เครือข่ายการวิจัยเทคโนโลยีเนื้อสัตว์ ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1.3.3 ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพอาหารสัตว์ทางกายภาพ ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1.3.4 ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีอาหารสัตว์ ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1.4 ขอบเขตการศึกษา

ศึกษาผลกระทบของสารแรคโตพามีนต่อคุณภาพเนื้อของสุกรขุน ด้านคุณภาพเนื้อที่ศึกษาได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่างของเนื้อ ค่าสีของเนื้อ ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ ความยาวซาร์โคเมียร์ ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อ ปริมาณไกลโคเจน องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อ (ความชื้น ไขมัน โปรตีน และเถ้า) ปริมาณคอลลาเจน และการสลายตัวของโปรตีน troponin T

1.5 ระยะเวลาดำเนินการ

ระยะเวลาดำเนินการ 12 เดือน

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบถึงผลกระทบของสารแรคโตพามีนในระดับ 20 และ 40 ppm ในอาหาร ต่อคุณภาพเนื้อสุกรที่ได้ทำการศึกษาทั้งในด้านกายภาพและเคมี อันได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่างของเนื้อ ค่าสีของเนื้อ ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ ความยาวซาร์โคเมียร์ ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อ ปริมาณไกลโคเจน องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อ (ความชื้น ไขมัน โปรตีน และเถ้า) ปริมาณคอลลาเจน และการสลายตัวของโปรตีน troponin T ซึ่งการใช้สารแรคโตพามีนส่งผลกระทบต่อความนุ่มของเนื้อ และเพื่อนำผลการวิจัยไปเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับเกษตรกร ผู้ผลิตและผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องให้ทราบถึงผลดี ผลเสียของการใช้สารแรคโตพามีนต่อคุณภาพเนื้อต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

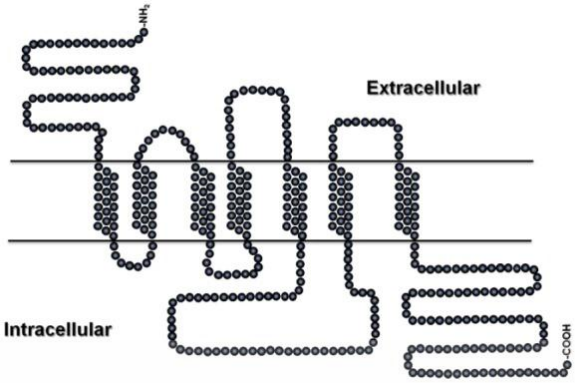
บทที่ 2
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สารเบต้า-อะโกนิสต์

สารสังเคราะห์ที่เรียกว่า เบต้า-อะโกนิสต์ (beta-agonists) เป็นสารที่มีคุณสมบัติคล้ายกับฮอร์โมนจำพวกแคททีโคลามีน (catecholamine) อะดรีนาลีน (adrenaline) หรือ เอพิเนฟริน (epinephrine) และนอร์อะดรีนาลีน (noradrenaline) หรือ นอร์เอพิเนฟริน (norepinephrine) (Mills *et al.* 2003) ใช้ผสมในอาหารให้สัตว์กิน (Centner *et al.* 2014) โดยจะมีผลไปลดไขมันในร่างกาย และสามารถเพิ่มการสังเคราะห์โปรตีนในสัตว์จำพวกโค สุกร และแกะ เป็นต้น (Page *et al.* 2004) แต่สารเบต้า-อะโกนิสต์มีแนวโน้มที่จะลดไขมันแทรกและความนุ่มของเนื้อ (Avendaño-Reyes *et al.* 2006 ; Scramlin *et al.* 2010) ซึ่งสารสังเคราะห์เบต้า-อะโกนิสต์มีด้วยกันหลายชนิด ยกตัวอย่างเช่น แรคโตพามีน (ractopamine) ซัลบูทามอล (salbutamol) เคลนบูเทอรอล (clenbuterol) ซิลพาเทอรอล (zilpaterol) ไคมาเทอรอล (cimaterol) และฟีโนเทอรอล (fenoterol) เป็นต้น (Dikeman 2007 ; Ryall and Lynch. 2008 ; Johnson *et al.* 2014) โดยสารในกลุ่มเบต้า-อะโกนิสต์จะออกฤทธิ์ไปจับกับเบต้า-รีเซพเตอร์ (beta-receptor) ชนิดของเบต้า-รีเซพเตอร์สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ เบต้า-1 (beta-1) เบต้า-2 (beta-2) และเบต้า-3 (beta-3) ซึ่งในสิ่งมีชีวิตที่ต่างชนิดกันและบริเวณของเซลล์ภายในอวัยวะต่างๆ ก็จะมีสัดส่วนของเบต้า-รีเซพเตอร์ที่แตกต่างกันออกไป (Almeida *et al.* 2012 ; Johnson *et al.* 2014) ดังแสดงในตารางที่ 2.1 และในสารเบต้า-อะโกนิสต์แต่ละชนิดจะจับกับเบต้า-รีเซพเตอร์ที่ต่างชนิดกันด้วย ตัวอย่างเช่น ซัลบูทามอลและไคมาเทอรอลจะจับเฉพาะแค่เบต้า-2 เท่านั้น ส่วนแรคโตพามีนนั้นจะจับกับเบต้า-รีเซพเตอร์ทั้งชนิดเบต้า-1 และ เบต้า-2 (Mills *et al.* 2003 ; Page *et al.* 2004 ; Johnson *et al.* 2014)

เบต้า-รีเซพเตอร์เป็นตัวรับสัญญาณที่อยู่บนผิวเซลล์จะประกอบไปด้วย 7 hydrophobic transmembrane domains (เยื่อหุ้มเซลล์ที่เป็นโมเลกุลที่ไม่มีขั้วจึงไม่สามารถยึดติดกับโมเลกุลของน้ำได้) โดยเบต้า-รีเซพเตอร์เป็นส่วนหนึ่งของ GPCR (G protein-coupled receptor) ซึ่งโดยทั่วไปเบต้า-รีเซพเตอร์จะประกอบด้วยกรดอะมิโนมากกว่า 400 ชนิด แต่ละเบต้า-รีเซพเตอร์จะมี 3 loop ที่อยู่ภายนอกเซลล์ ซึ่งอยู่ด้านเดียวกับโปรตีนด้านปลาย N-terminus และมี 3 loop ที่อยู่ภายในเซลล์ซึ่งอยู่ด้านเดียวกับโปรตีนด้านปลาย C-terminus (Johnson *et al.* 2014) ดังภาพที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.1 แบบจำลองโครงสร้างของเบต้า-รีเซพเตอร์

ที่มา : Johnson *et al*. (2014)

ตารางที่ 2.1 แสดงเบต้า-รีเซพเตอร์ชนิดต่างๆ ในสิ่งมีชีวิตที่ต่างชนิดกัน

ชนิด	อวัยวะ/เนื้อเยื่อ	ชนิดและปริมาณของเบต้า-รีเซพเตอร์
สุกร	หัวใจ	>65% $ß_1$
	ปอด	67% $ß_1$
	เนื้อเยื่อไขมัน	73% $ß_1$, 20% $ß_2$, 7% $ß_3$
	กล้ามเนื้อ	59% $ß_1$, 41% $ß_2$
โค	เนื้อเยื่อไขมัน	>90% $ß_2$
	กล้ามเนื้อ	>99% $ß_2$
มนุษย์	ปอด	27% $ß_1$
	ตับ	20% $ß_1$
	เนื้อเยื่อไขมัน	35% $ß_1$, 65% $ß_2$

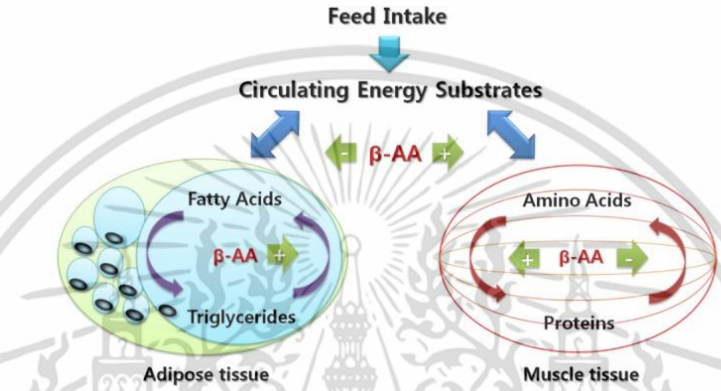
ที่มา : ดัดแปลงจาก Almeida *et al.* (2012) ; Johnson *et al.* (2014)

2.2 กลไกการทำงานของสารเบต้า-อะโกรนิสต์

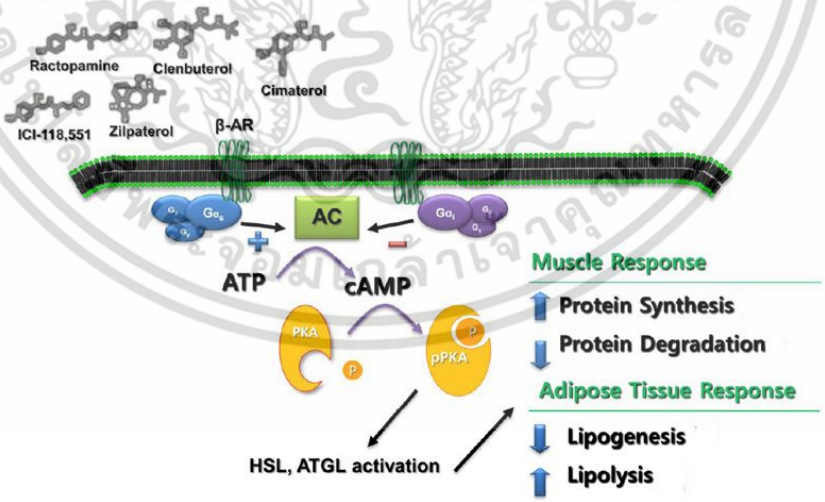
ผลของสุกรที่ได้รับสารแรคโตพามีน คือ เซลล์กล้ามเนื้อขยายขนาดเนื่องจากมีการสร้างโปรตีนในกล้ามเนื้อเพิ่มมากขึ้นและลดการสลายโปรตีน นอกจากนี้ยังไปกระตุ้นการสลายไขมันและยับยั้งการสร้างไขมัน (ภาพที่ 2.2) โดยมีขั้นตอนการทำงาน คือ เบต้า-รีเซพเตอร์ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรับสัญญาณที่อยู่บนผิวเซลล์ และเมื่อเบต้า-อะโกนิสต์เข้าไปจับกับเบต้า-รีเซพเตอร์ส่งผลให้เบต้า-รีเซพเตอร์ไปกระตุ้นการทำงานของ Guanine nucleotide-binding protein (G_s protein) ทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอนไซม์ adenylate cyclase ไปเปลี่ยน ATP (adenosine triphosphate) ให้กลายเป็น cAMP (cyclic adenosine monophosphate) ทำให้ระดับ cAMP ภายในเซลล์เพิ่มสูงขึ้น แล้วไปจับกับ protein kinase A subunits ทำให้ไปกระตุ้นการเปลี่ยนแปลงของฮอร์โมน hormone-sensitive lipase และ adipose triglyceride lipase เพิ่มขึ้น ซึ่งฮอร์โมนทั้ง 2 ตัวนี้ จะส่งผลให้ร่างกายไปดึงไขมันในร่างกายที่สะสมไว้มาเป็นพลังงาน เกิดการสลายไขมันเพิ่มขึ้น (lipolysis) และขณะเดียวกันก็จะไปยับยั้งการสร้างไขมัน (lipogenesis) ดังแสดงในภาพที่ 2.3 (Johnson *et al*. 2014)



ภาพที่ 2.2 แสดงกลไกการทำงานของสารเบต้า-อะโกนิสต์ในการลดไขมันและการเพิ่มขึ้นของกล้ามเนื้อ
ที่มา : Johnson *et al*. (2014)



ภาพที่ 2.3 แสดงกลไกการทำงานของสารในกลุ่มเบต้า-อะโกนิสต์

HSL: hormone-sensitive lipase

ATGL: adipose triglyceride lipase

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

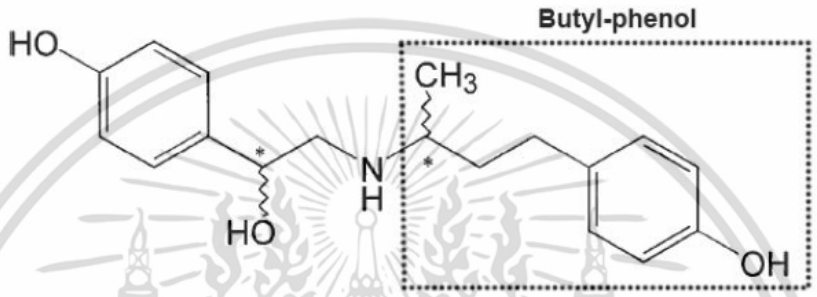
2.3 แรคโตพามีน

แรคโตพามีนเป็นสารในกลุ่มฟีเนททาโนลามีน (phenethanolamine) ที่มีคุณสมบัติคล้ายกับฮอร์โมนที่มีตามธรรมชาติจำพวกแคททีโคลามีน อิพิเนฟริน และนอร์อิพิเนฟริน ที่มีอยู่ในร่างกาย (Almeida *et al*. 2012) โดยแรคโตพามีนเกิดจากการค้นคว้าวิจัยเทคโนโลยีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของสัตว์ เพื่อรองรับการบริโภคที่ขยายตัวตามจำนวนประชากรโลก จัดอยู่ในกลุ่มเบต้า-อะโกนิสต์ ซึ่งใช้เป็นสารกลุ่มที่ใช้เป็นยารักษาโรคหอบหืดในมนุษย์มากว่า 30 ปี โดยถือเป็นสารฟีเนททาโนลามีน ที่จะมีฤทธิ์ไปกระตุ้นการทำงานของเบต้า-รีเซพเตอร์ที่มีอยู่ทั้งในมนุษย์และสุกร ซึ่งแรคโตพามีนออกฤทธิ์ต่อการทำงานของเบต้า-1 และเบต้า-2 เมื่อสารเบต้า-อะโกนิสต์ ไปจับเบต้า-รีเซพเตอร์ที่ต่างกัน ก็กระตุ้นการทำงานแตกต่างกัน เช่น หากไปจับกับเบต้า-1 จะทำหน้าที่สลายไขมันได้ดีขึ้น และกระตุ้นการสร้างโปรตีนได้มากขึ้น (สมาคมธุรกิจเวชภัณฑ์สัตว์. 2555) โดยโครงสร้างของแรคโตพามีน ประกอบด้วย aromatic ring ที่เป็น hydroxyl group ซึ่งติดอยู่กับ ß-carbon ซึ่งเชื่อมกับไนโตรเจนที่ติดอยู่กับ ethylamine side chain และอีกด้านของไนโตรเจนเชื่อมอยู่กับ bulky substituent (butyl-phenol) ดังแสดงในภาพที่ 2.4 ซึ่งแรคโตพามีนจะทำให้ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของสุกรขุนเพิ่มขึ้น และเปอร์เซ็นต์เนื้อแดงในซากเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้พื้นที่หน้าตัดเนื้อสันเพิ่มขึ้นด้วย (Patience *et al*. 2009) เช่นเดียวกับ Xiong *et al.* (2006) รายงานว่าแรคโตพามีน 20 ppm ส่งผลให้คุณภาพซากดีขึ้น เช่น น้ำหนักซากเพิ่มขึ้นและพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันเพิ่มขึ้น ($P<0.001$) และ Carr *et al.* (2005a) รายงานว่าการเสริมสารแรคโตพามีนทำให้เนื้อแดงในซากสุกรเพิ่มขึ้น แต่ในด้านคุณภาพเนื้อนั้นมีการรายงานว่าการเสริมแรคโตพามีนในสูตรอาหารสุกรมีผลให้ความนุ่มของเนื้อลดลง (Carr *et al.* 2005a ; Carr *et al.* 2005b ; Xiong *et al.* 2006 ; Patience *et al.* 2009 ; Athayde *et al.* 2012)

พระราชบัญญัติอาหารสัตว์ พ.ศ. 2525 ออกประกาศสารเคมีและวัตถุที่เติมในอาหารสัตว์ที่ห้ามใช้เลี้ยงสัตว์ ได้แก่ เบต้า-อะโกนิสต์ อะโวพาซิน (avoparcin) คลอแรมฟีนิคอล (chloramphenical) คาร์บาด็อกซ์ (carbadox) ไนโตรฟูแรนส์ (nitrofuran) เมลามีน (melamine) และอนุพันธ์ ซึ่งหากพบผู้กระทำผิดตามพระราชบัญญัติจะมีโทษตามกฎหมาย (สมาคมธุรกิจเวชภัณฑ์สัตว์. 2555) แต่ก็ยังมีผู้เลี้ยงสัตว์ลักลอบนำสารเบต้า-อะโกนิสต์มาใช้ในอาหารสัตว์อยู่เสมอ สำหรับการตรวจสารเร่งเนื้อแดงในสุกรของกรมปศุสัตว์นั้น พบว่าตัวอย่างที่พบสารเร่งเนื้อแดงส่วนใหญ่เป็นสารซัลบูทามอล ส่วนแรคโตพามีนมีการตรวจพบเป็นส่วนน้อย ทั้งนี้เนื่องจากสารซัลบูทามอลเมื่อใช้แล้วเห็นผลชัดเจนกว่าการใช้สารแรคโตพามีน อีกทั้งยังมีราคาที่ถูกกว่าและหาได้ง่ายเพราะมีการนำมาใช้เป็นยาในมนุษย์ด้วย นั่นแสดงให้เห็นว่าผู้บริโภคเนื้อสุกรมีความเสี่ยงจากการตกค้างของสารเร่งเนื้อแดง ซึ่งไม่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค (วราพันธุ์ จินตณวิชญ์. 2555)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งนี้สำหรับประเทศสหรัฐอเมริกาอนุญาตให้ใช้สารแรคโตพามีนในอาหารสุกรในระดับ 5-20 ppm สำหรับสุกรระยะขุน และระดับ 5-10 ppm สำหรับสุกรขุนที่มีน้ำหนักมากกว่า 109 กิโลกรัม และได้กำหนดความปลอดภัยของสารแรคโตพามีนที่ตกค้างในเนื้อสัตว์ (ภายใต้ข้อกำหนด 21 CFR 556.570) โดยให้มีความเข้มข้นของแรคโตพามีน ในส่วนของกล้ามเนื้อสัตว์ได้ 0.25 ppm ในตับ 0.75 ppm และ 1.5 ppm ในไตและไขมัน และระดับที่สัตว์กินได้ได้ต่อวัน (Acceptable Daily Intake; ADI) คือ 1.25 ไมโครกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว/วัน (วราพันธุ์ จินตณวิชญ์. 2555)



ภาพที่ 2.4 แสดงโครงสร้างของแรคโตพามีน

ที่มา : Almeida *et al.* (2012)

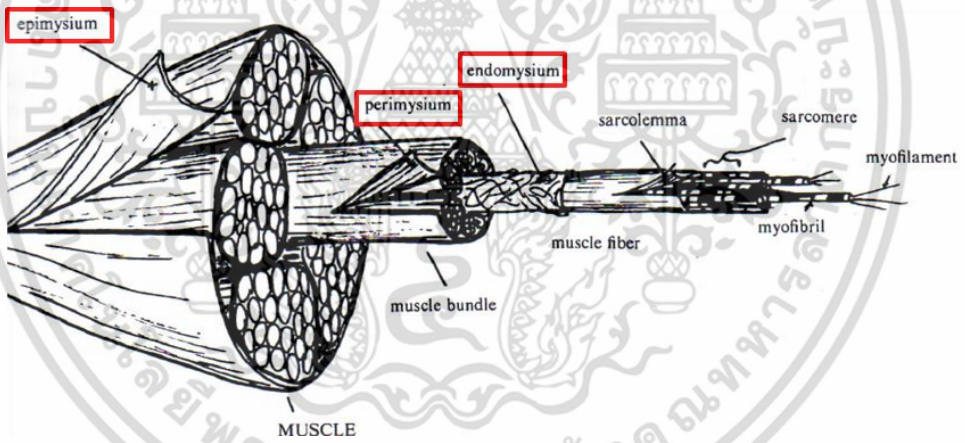
2.4 โครงสร้างของกล้ามเนื้อ

2.4.1 โครงสร้างของกล้ามเนื้อ

กล้ามเนื้อโครงร่าง (skeletal muscle) หรือกล้ามเนื้อลาย เป็นเนื้อเยื่อที่มีมากที่สุดในร่างกายประมาณ 40-50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว และมีการนำไปบริโภคมากที่สุด เป็นกล้ามเนื้อที่มีขนาดใหญ่และแข็งแรง เมื่อเกิดการหดตัวจะทำให้ร่างกายมีการเคลื่อนไหวของร่างกายเกิดขึ้น โดยกล้ามเนื้อโครงร่างส่วนใหญ่จะอยู่ติดกับกระดูกโดยมีเอ็น (tendon) เป็นตัวเชื่อมและถูกห่อหุ้มด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue) โดยแต่ละมัดกล้ามเนื้อจะถูกห่อหุ้มด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่เรียกว่า อิพิไมเซียม (epimysium) ซึ่งเป็นแผ่นหนาที่เชื่อมต่อกับเอ็น ในแต่ละมัดกล้ามเนื้อประกอบไปด้วยหน่วยย่อยลงไปอีก เรียกว่า muscle bundle เป็นจำนวนมากโดยมีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่เรียกว่า เพอริไมเซียม (perimysium) ห่อหุ้มเอาไว้ แต่ละ muscle bundle จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 มิลลิเมตร และประกอบด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อ (muscle fiber) หรือที่เรียกว่า เซลล์กล้ามเนื้อ (muscle cell) เป็นจำนวนมาก แต่ละเส้นใยกล้ามเนื้อจะถูกห่อหุ้มด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพันบางๆ ที่เรียกว่า เอนโดไมเซียม (endomysium) โดยโครงสร้างของกล้ามเนื้อประกอบด้วย เส้นใย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล้ามเนื้อประมาณ 75-92 เปอร์เซ็นต์ (จันทร์พร เจ้าทรัพย์. 2554) ดังแสดงในภาพที่ 2.5 เส้นใยกล้ามเนื้อหรือเซลล์กล้ามเนื้อมีลักษณะเป็นเส้นเล็กยาว มีนิวเคลียสหลายนิวเคลียส (multinucleus) เส้นใยกล้ามเนื้อไม่แตกแขนง ด้านนอกถูกห่อหุ้มด้วยเนื้อเยื่อที่มีลักษณะเป็นแผ่นบาง เส้นใยกล้ามเนื้อมีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 10-100 ไมครอน ภายในเส้นใยกล้ามเนื้อประกอบไปด้วยไมโอไฟบริล (myofribrils) ประมาณ 2,000 เส้นหรือมากกว่า ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นยาวตามความยาวของเส้นใยกล้ามเนื้อ มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1-2 ไมครอน โดยไมโอไฟบริล จะประกอบไปด้วยไมโอฟิลาเมน (myofilament) 2 ชนิด คือ thick filament และ thin filament ที่เรียงตัวกันในซาร์โคเมียร์ ไมโอฟิลาเมนแต่ละชนิดก็จะมีองค์ประกอบที่แตกต่างกันออกไป ซึ่ง thick filament จะประกอบไปด้วยโปรตีนที่เรียกว่า myosin และ thin filament จะประกอบไปด้วย actin โดยโครงสร้างของ actin จะมี G-actin ที่มีลักษณะเป็นก้อนกลมเรียงตัวกันเป็นสายยาวซึ่งจะเรียกว่า F-actin สายของ F-actin 2 เส้นเรียงตัวกันเป็นโครงสร้างแบบ double helical และจะมี tropomyosin เรียงตัวตามแนวยาวเส้น F-actin บริเวณ tropomyosin จะมี troponin complex ที่มีลักษณะเป็นก้อนกลมเรียงตัวตามแนวยาวอยู่ ซึ่งประกอบไปด้วย 3 ชนิด คือ troponin C troponin I และ troponin T (Aberle *et al.* 2001)



ภาพที่ 2.5 โครงสร้างกล้ามเนื้อ

ที่มา : ดัดแปลงจาก Aberle *et al.* (2001)

2.4.2 โปรตีนในเนื้อสัตว์

Lawrie and Ledward (2006) รายงานว่าโปรตีนในกล้ามเนื้อแบ่งออกตามความสามารถในการละลายได้เป็น 3 ชนิด คือ

1) sarcoplasmic protein เป็นโปรตีนที่สามารถละลายได้ในน้ำหรือสารละลายเกลือเจือจาง เช่น myoglobin และเอนไซม์ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) myofibrillar protein เป็นโปรตีนที่ละลายในสารละลายเกลือที่มีความเข้มข้นสูง แบ่งตามบทบาทหน้าที่ในการทำงานได้ ดังนี้

- contractile protein เป็นโปรตีนที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการยืดหดตัวของกล้ามเนื้อ นั่นคือ myosin และ actin (ภาพที่ 2.6)

- regulatory protein เป็นโปรตีนที่ควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อ ประกอบด้วย

1. tropomyosin ลักษณะเป็นเส้นยาว โดยจะป้องกันไม่ให้ myosin และ actin จับกัน

2. troponin complex ลักษณะเป็นก้อนกลมเรียงตัวตามแนวยาว tropomyosin ซึ่งประกอบไปด้วย 3 ชนิด คือ troponin C troponin I และ troponin T ซึ่งแต่ละชนิดก็มีหน้าที่ที่แตกต่างกันออกไป โดย troponin C มีหน้าที่จับกับ Ca^{2+} troponin I จับกับ actin และ troponin T จับอยู่กับ tropomyosin (ภาพที่ 2.6)

- cytoskeletal protein เป็นโปรตีนที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับโครงสร้าง ซึ่งประกอบไปด้วย nebulin และ titin (ภาพที่ 2.6)

3) stromal protein หรือ connective tissue protein เป็นโปรตีนที่ไม่สามารถละลายได้ในสารละลายเกลือเข้มข้น ซึ่งประกอบไปด้วยคอลลาเจน (collagen) อิลาสติน (elastin) และเรติคิวลิน (reticulin)

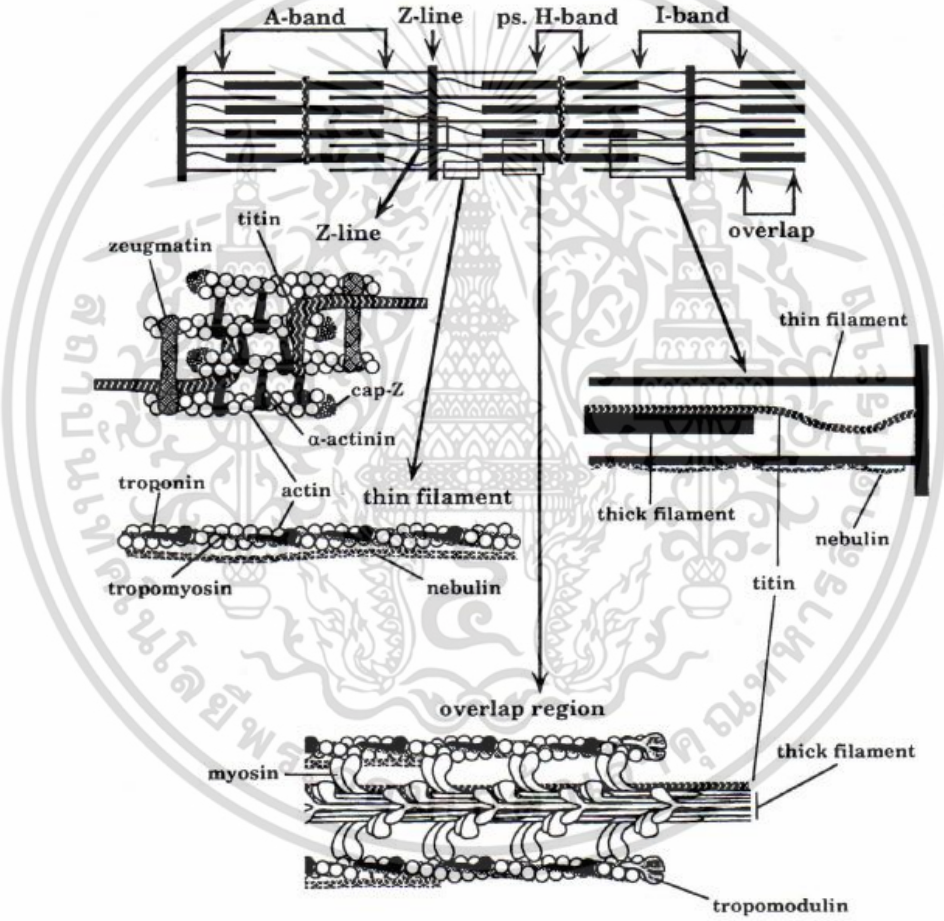
2.4.3 เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน

ในกล้ามเนื้อสัตว์จะมีเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน 3 ชนิด ห่อหุ้มกล้ามเนื้ออยู่โดยมีการเรียงตัวตามลำดับดังนี้ กล้ามเนื้อจะถูกห่อหุ้มด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพันอิพิไมเซียม ภายในกล้ามเนื้อจะมีมัดกล้ามเนื้อที่ถูกห่อหุ้มด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพันเพอริไมเซียมและภายในมัดกล้ามเนื้อจะมีเส้นใยกล้ามเนื้อซึ่งแต่ละเส้นจะมีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันเอนโดไมเซียมหุ้มอยู่ (Bailey and Light. 1989 ; Aberle *et al.* 2001) ดังแสดงในภาพที่ 2.5 เนื้อเยื่อเกี่ยวพันส่วนใหญ่จะประกอบด้วยคอลลาเจน ฉะนั้นคอลลาเจนจะเป็นโปรตีนในเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่พบมากที่สุดในร่างกายสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม โดยมีประมาณ 25-30 เปอร์เซ็นต์ ของโปรตีนในเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Bailey and Light. 1989)

คอลลาเจนเป็นโปรตีนโครงสร้างหลักของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน และมีอิทธิพลอย่างมากต่อความนุ่มของเนื้อ ไกลซีน (glycine) เป็นกรดอะมิโนที่พบมากที่สุดในคอลลาเจน ประมาณ 1 ใน 3 ของกรดอะมิโนทั้งหมด นอกจากนี้ยังพบไฮดรอกซีโพรลีน (hydroxypoline) และโพรลีน (proline) (ภาพที่ 2.7) ในการวิเคราะห์หาปริมาณคอลลาเจนนิยมวิเคราะห์หาจากปริมาณไฮดรอกซีโพรลีน เนื่องจากเป็นส่วนประกอบที่ค่อนข้างคงที่ของคอลลาเจนโดยมีอยู่ประมาณ 13-14 เปอร์เซ็นต์ หน่วยย่อยของเส้นใยคอลลาเจนเรียกว่า tropocollagen ซึ่งประกอบด้วย α-chain 3 ตัว รวมตัวกันเป็น triple helix โดยชนิดของ α-chain ที่มีอยู่อย่างน้อย 19 ชนิด อีกทั้งใน triple helix อาจเกิดจากการรวมตัวกันของ α-chain ชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันก็ได้ (จันทร์พร เจ้าทรัพย์. 2554)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

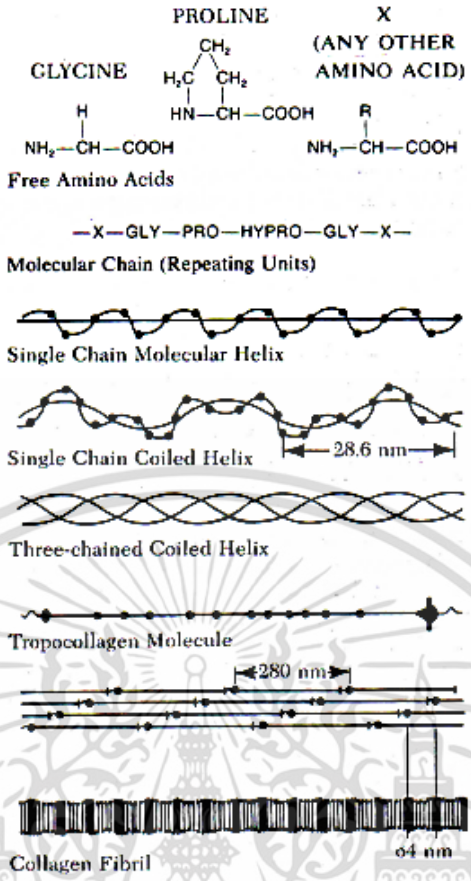
เนื้อที่มีปริมาณคอลลาเจนมากเนื้อจะเหนียว ปริมาณคอลลาเจนในกล้ามเนื้อแต่ละชนิดนั้นมีไม่เท่ากัน และปริมาณคอลลาเจนจะเพิ่มขึ้นตามอายุของสัตว์ ในสัตว์ที่อายุน้อยนอกจากจะมีปริมาณคอลลาเจนน้อยกว่าแล้วยังมีปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้สูงกว่าสัตว์อายุมากอีกด้วย (จันทร์พร เจ้าทรัพย์. 2554) นอกจากนี้ สัญชัย จตุรสิทธา (2550) กล่าวว่า ในขณะที่สัตว์ยังอายุน้อย ภายในโมเลกุลของคอลลาเจนจะมีปริมาณของ intermolecular crosslink ซึ่งก็คือตัวเชื่อมระหว่างโมเลกุลของคอลลาเจนแต่ละโมเลกุลเข้าด้วยกันอยู่ต่ำมาก ขณะนั้นเนื้อจะนุ่ม แต่เมื่อสัตว์อายุมากขึ้นจนเลยอายุหนุ่มสาวไปแล้ว ปริมาณ intermolecular crosslink จะสูงมากขึ้น จึงเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เนื้อเหนียวขึ้นไปด้วย ทั้งนี้นอกเหนือไปจากปริมาณเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่สูงขึ้นด้วย



ภาพที่ 2.6 โปรตีนในกล้ามเนื้อ

ที่มา : Lawrie and Ledward (2006)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.7 โครงสร้างของคอลลาเจน

ที่มา : Aberle *et al.* (2001)

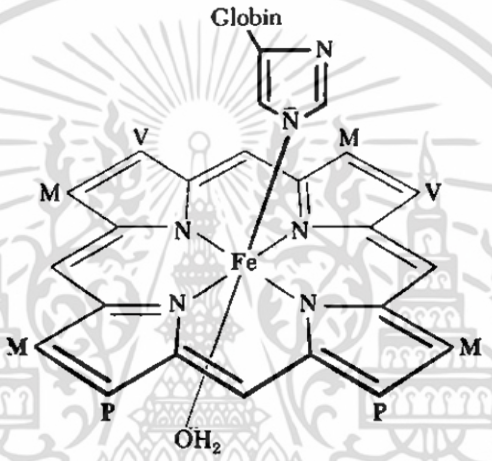
2.5 คุณสมบัติของเนื้อ

2.5.1 สี (Color)

สีเป็นสิ่งแรกที่ผู้บริโภคเรามองเห็นได้จากเนื้อสัตว์ ซึ่งมีอิทธิพลต่อการเลือกซื้อของผู้บริโภค มีผลต่อการตัดสินใจ ต่อคุณภาพ ความปลอดภัยและสีทำให้ผู้บริโภคคาดคะเนถึงรสชาติ โดยสีของเนื้อเกิดจากสารสีในเนื้อ ซึ่งประกอบด้วยฮีโมโกลบิน (hemoglobin) ซึ่งเป็นองค์ประกอบในเลือด พบว่าในเนื้อมีฮีโมโกลบินประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ และไมโอโกลบิน (myoglobin) ซึ่งพบว่ามีอยู่ในกล้ามเนื้อประมาณ 80-90 เปอร์เซ็นต์ของสารสีทั้งหมด (Aberle *et al.* 2001) โดยการเปลี่ยนแปลงของไมโอโกลบินจะส่งผลให้เนื้อมีสีแตกต่างกัน โครงสร้างของไมโอโกลบินจะประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนที่เป็นโปรตีน เรียกว่า โกลบิน (globin) ซึ่งไม่ใช่ตัวที่ทำให้เกิดสี และส่วนที่ไม่ใช่โปรตีน ที่เรียกว่า prosthetic heme group ซึ่งจะเป็นตัวที่ทำให้เกิดสี โดยมีธาตุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล็กอยู่ตรงกลาง (ภาพที่ 2.8) ซึ่งธาตุเหล็กจะมี 6 แขนที่สามารถจับกับโครงสร้างต่างๆ ดังนี้ แขนที่ 1-4 ของธาตุเหล็กจะจับอยู่กับโครงสร้างของไนโตรเจน (nitrogen; N) แขนที่ 5 จะจับกับโครงสร้างที่เป็นโปรตีน (proximal histidine) ส่วนแขนที่ 6 ของธาตุเหล็กจะเป็นแขนที่ไม่เสถียร ทำให้เกิดสีได้โดย สามารถจับกับธาตุตัวอื่นๆ ได้หลายชนิด (จับได้ครั้งละตัวเท่านั้น) เช่น ออกซิเจน (oxygen; O_2) คาร์บอนมอนอกไซด์ (carbon monoxide; CO) ไนโตรเจนมอนอกไซด์ (nitrogen monoxide; NO) ไฮโดรเจนไดออกไซด์ (hydrogen dioxide; H_2O) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (hydrogen sulfide; H_2S) เป็นต้น ซึ่งถ้าแขนที่ 6 ของธาตุเหล็กสามารถจับกับออกซิเจนแล้วไปเชื่อมกับโปรตีน distal histidine จะทำให้ไมโอโกลบินเป็นสีแดง (Lawrie and Ledward. 2006)



ภาพที่ 2.8 องค์ประกอบของไมโอโกลบิน

ที่มา : Aberle *et al.* (2001)

2.5.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ในขณะที่สัตว์มีชีวิต ระบบต่างๆ และอวัยวะต่างๆ ภายในร่างกายจะทำงานร่วมกัน เพื่อรักษาสมดุลของกล้ามเนื้อ สภาวะระบบต่างๆ ในสิ่งมีชีวิตที่สามารถทำงานได้จะต้องมีค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง มีอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส ต้องมีออกซิเจนและพลังงานจึงจะสามารถทำงานได้ เมื่อสัตว์ตายสมดุลการมีชีวิตเริ่มสูญเสีย แต่ยังไม่เสียสมดุลทันที จะสามารถอยู่ได้ในระยะหนึ่งเท่านั้น ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์ว่าจะมีพลังงานสะสมในร่างกายมากหรือน้อย สัตว์เล็กจะมีสมดุลการมีชีวิตสั้นกว่าสัตว์ใหญ่ นอกจากนี้สมดุลการมีชีวิตที่สูญเสียไปเกิดเนื่องมาจากออกซิเจนภายในร่างกายหมด ค่าความเป็นกรด-ด่างก็เริ่มลดลง อุณหภูมิก็ไม่สามารถรักษาให้คงที่ได้ จึงสูญเสียสมดุลการมีชีวิต โดยเมื่อสัตว์ถูกฆ่าออกซิเจนเริ่มหมดไป และเมตาบอลิซึมภายในกล้ามเนื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

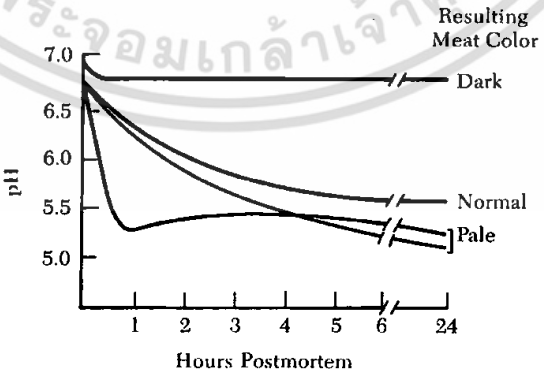
เริ่มเปลี่ยนแปลง จากที่ขณะมีชีวิตจะใช้ออกซิเจน เมื่อเสียชีวิตขบวนการเมตาบอลิซึม จะเปลี่ยนมาเป็นแบบไม่ใช้ออกซิเจน ATP และ creatine phosphate ที่ใช้ในการยืดหดตัวของกล้ามเนื้อหมดไป จากนั้นจะมีการดึงไกลโคเจน (glycogen) ที่เก็บสะสมไว้มาใช้เป็นพลังงาน โดยกระบวนการไกลโคไลซีส (glycolysis) จะทำให้เกิดกรดแลคติก (lactic acid) ขึ้นซึ่งจะส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของเนื้อสัตว์ค่อยๆ ลดลง (Aberle *et al.* 2001)

ค่าความเป็นกรด-ด่างของกล้ามเนื้อเกี่ยวข้องกับคุณภาพเนื้อหลายประการ เช่น สี ความแน่นเนื้อ (firmness) และความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ โดยในการเปลี่ยนแปลงของกล้ามเนื้อภายหลังสัตว์ตาย กล้ามเนื้อจะเริ่มเป็นกรดมากขึ้น เนื่องด้วยค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงจาก 7.0-7.1 จนกระทั่งถึงค่าความเป็นกรด-ด่างสุดท้ายที่ 5.4-6.0 ภายในเวลา 24 ชั่วโมงหลังตาย (Apple 2012) ดังแสดงในภาพที่ 2.9 ซึ่งการลดลงของค่าความเป็นกรด-ด่างในกล้ามเนื้อภายหลังสัตว์ตายเนื่องมาจากกรดแลคติกที่เพิ่มขึ้นจากการเกิดกระบวนการการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic metabolism) จนกระทั่งไกลโคเจนที่เก็บสะสมไว้ในกล้ามเนื้อจะหมดไป ค่าความเป็นกรด-ด่างในกล้ามเนื้อส่งผลต่อคุณภาพเนื้ออาจทำให้เกิดเนื้อ PSE (Pale Soft Exudative) หรือ DFD (Dark Firm Dry) (Aberle *et al.* 2001) โดยค่าความเป็นกรด-ด่างของเนื้อลักษณะต่างๆ ดังในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่าความเป็นกรด-ด่างของลักษณะเนื้อ PSE เนื้อปกติและเนื้อ DFD ในกล้ามเนื้อสันนอกสุกร

	PSE	Normal	DFD
pH 45 นาที ภายหลังสัตว์ตาย	<6.0	6.4	6.4
pH 24 ชั่วโมง ภายหลังสัตว์ตาย	5.3	5.5	>6.0

ที่มา : Warriss (2010)



ภาพที่ 2.9 การลดลงของค่าความเป็นกรด-ด่างภายหลังสัตว์ตาย

ที่มา : Aberle *et al.* (2001)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity)

ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ หมายถึง ความสามารถของเนื้อที่จะพยายามรักษาระดับของน้ำให้มีปริมาณเกือบเท่าเดิมไว้ แม้จะมีแรงจากภายนอกมากระทำ เช่น การตัด การบด การกด หรือการใช้ความร้อน กระบวนการเหล่านี้ล้วนส่งผลต่อการสูญเสียน้ำของเนื้อ ซึ่งเกี่ยวกับความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ ทำให้คุณภาพเนื้อและผลผลิตที่ได้มีปริมาณลดลง (ชัยณรงค์ คันธพนิต. 2529) ซึ่งปัจจัยที่ทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตอนที่เป็นกล้ามเนื้อขณะมีชีวิตมาจาก 2 ปัจจัย คือ 1) net charge effect ผลเนื่องจากประจุสุทธิที่เปลี่ยนแปลงไป โดยเนื่องจากภายหลังสัตว์ตายค่าความเป็นกรด-ด่างจะลดลงเรื่อยๆ เป็นผลมาจากกรดแลคติกที่เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับค่า isoelectric point (pI) ประจุสุทธิเป็นศูนย์ส่งผลให้โปรตีนในเนื้อไม่มีแรงผลักกัน เคลื่อนที่เข้าหากัน ทำให้น้ำไหลออกจากเนื้อ เพราะไม่มีประจุของโปรตีนมาตรึงไว้ โดยถ้าเนื้อ DFD จะมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง เพราะค่าความเป็นกรด-ด่างสูง ทำให้ค่า pH>pI ในทางกลับกันถ้าเนื้อ PSE จะมีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ เพราะค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำ และ 2) ที่ส่งผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ คือ steric effects โดยกล้ามเนื้อภายหลังสัตว์ตาย actin กับ myosin จะจับกัน ทำให้พื้นที่ภายในเหลืออยู่น้อย โมเลกุลของน้ำจึงไหลออกจากเซลล์กล้ามเนื้อ และนอกจากนี้ Ca^{2+} และ Mg^{2+} ที่ออกมาจากแหล่งเก็บจะเข้ามาจับกับประจุลบของโปรตีนกล้ามเนื้อจะหดตัวลง ส่งผลให้มีพื้นที่ภายในเซลล์น้อย จึงทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำลงด้วย (Aberle *et al*. 2001)

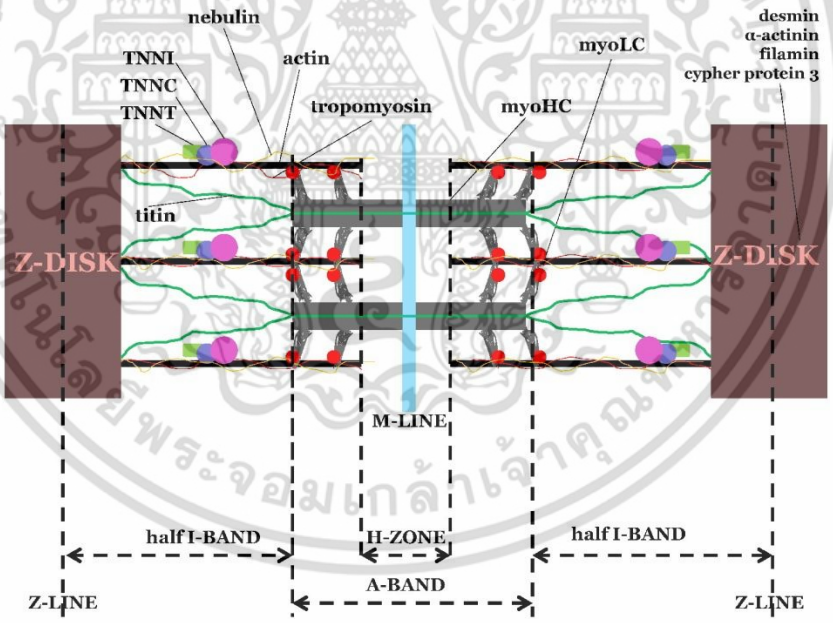
2.5.4 ขนาดของเส้นใยกล้ามเนื้อ (Muscle fiber size)

โดยทั่วไปแล้วความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อจะเล็กหรือใหญ่ขึ้นอยู่กับอิทธิพลของหลายปัจจัย เช่น ชนิดของสัตว์ เพศ อายุ ระดับโภชนะ (ชัยณรงค์ คันธพนิต. 2529) และขนาดของกล้ามเนื้อขึ้นอยู่กับการเพิ่มของเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของเส้นใยกล้ามเนื้อ นอกจากนี้แล้วยังเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละเส้นใยกล้ามเนื้อ เช่น เส้นใยกล้ามเนื้อที่มีความยาวสิ้นสุดก่อนถึงจุดเชื่อมต่อกับเส้นเอ็น ซึ่งจะช่วยเพิ่มขนาดของกล้ามเนื้อให้ใหญ่ขึ้น การขยายขนาดของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่อยู่ในมัดกล้ามเนื้อโดยการสะสมของไขมันก็จะช่วยเพิ่มขนาดของมัดกล้ามเนื้อด้วยเช่นกัน ซึ่งเส้นใยกล้ามเนื้อที่มีขนาดใหญ่จะมีความเหนียวมากกว่าเส้นใยกล้ามเนื้อที่มีขนาดเล็ก โดยหลังจากที่สัตว์โตเต็มที่แล้ว ขนาดของมัดกล้ามเนื้อและเส้นใยกล้ามเนื้ออาจจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงเนื่องจากการใช้งาน ซึ่งจะทำให้ขนาดเพิ่มขึ้น (hypertrophy) หรือถ้าไม่ถูกใช้งานก็จะลีบเล็กลง (atrophy) เมื่อสัตว์อายุมากและเซลล์เริ่มถูกทำลาย (senescence) จำนวนของเส้นใยกล้ามเนื้อจะลดลง แต่เซลล์ที่เหลืออยู่จะมีขนาดที่เพิ่มขึ้น (จันทร์พร เจ้าทรัพย์. 2554)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.5 ความยาวซาร์โคเมียร์ (Sarcomere length)

เส้นใยกล้ามเนื้อเป็นหน่วยโครงสร้างที่สำคัญที่สุดในกล้ามเนื้อ โดยจะประกอบขึ้นจากเยื่อหุ้มเซลล์เรียกว่า ซาร์โคเลมมา (sarcolemma) ภายในเส้นใยกล้ามเนื้อจะมีมัดของเส้นใยเล็กๆ อีกจำนวนมากเรียกว่า ไมโอไฟบริล ซึ่งในแต่ละไมโอไฟบริลจะประกอบขึ้นด้วยมัดของเส้นใยกล้ามเนื้อที่เล็กมากเรียกว่า ไมโอฟิลาเมน 2 ชนิด คือ thick filament และ thin filament โดยเส้นใยทั้งสองจะวางตัวอยู่ในแนวตามยาวกับไมโอไฟบริล และมีบางส่วนซ้อนกันทำให้เกิดแถบมืด (A-band, anisotropic band) และแถบสว่าง (I-band, isotropic band) (จุฑารัตน์ เศรษฐกุล. 2539) และซาร์โคเมียร์ซึ่งเป็นหน่วยที่เล็กที่สุดของเซลล์กล้ามเนื้อที่อยู่ระหว่าง Z-line 2 เส้น ภายในมีแถบทึบแสงอยู่ส่วนกลาง คือ A-band ส่วนแถบโปร่งแสงจะอยู่ข้างละครึ่งของ Z-line คือ I-band โดยภายในจะมีพื้นที่สีจางอยู่เรียกว่า H-zone ดังภาพที่ 2.10 ซึ่งความยาวของซาร์โคเมียร์ไม่คงที่ขึ้นอยู่กับการยืดหดตัวของกล้ามเนื้อ และความยาวของซาร์โคเมียร์มีผลต่อความนุ่มของเนื้อ โดยถ้าเนื้ออยู่ในสถาวะคลายตัวความยาวซาร์โคเมียร์จะมากกว่าเนื้อที่หดตัวและเนื้อจะนุ่มกว่า (จันทร์พร เจ้าทรัพย์. 2554)



ภาพที่ 2.10 ซาร์โคเมียร์

ที่มา : Lana and Zolla (2016)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพเนื้อ

คุณภาพเนื้อ หมายถึง ผลรวมของคุณลักษณะและคุณสมบัติของเนื้อตามความต้องการของผู้บริโภค รวมทั้งความเหมาะสมในการแปรรูป (ชัยณรงค์ คันธพนิต. 2529) ซึ่ง Lawrie (1991) ได้สรุปว่า คุณภาพเนื้อเป็นผลของความซับซ้อนในระบบสรีรวิทยาและชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับลักษณะเนื้อสัมผัสหรือความนุ่มของเนื้อถูกนำมาใช้เป็นเกณฑ์ที่สำคัญในการยอมรับของผู้บริโภค ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของเนื้อมีหลายปัจจัย เช่น อาหาร การจัดการ การขนส่งมายังโรงฆ่า การจัดการก่อนการฆ่าจนถึงกระบวนการในการฆ่า การเอาเครื่องในออก การเก็บรักษาซาก การตัดแต่ง และการจัดจำหน่าย (จุฑารัตน์ เศรษฐกุล. 2539)

ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ เป็นค่าที่บ่งบอกความนุ่มของเนื้อ ซึ่งความนุ่มเป็นลักษณะสำคัญที่แสดงถึงคุณภาพของเนื้อสัตว์ และเป็นลักษณะที่ผู้บริโภคต้องการมากกว่าลักษณะอื่นซึ่งความนุ่มของเนื้อมีผลมาจากหลายปัจจัย เช่น เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ขนาดเส้นใยกล้ามเนื้อ ไขมันแทรก และโครงสร้างระดับจุลภาค (ชัยณรงค์ คันธพนิต. 2529)

2.6.1 ความเครียดของสัตว์

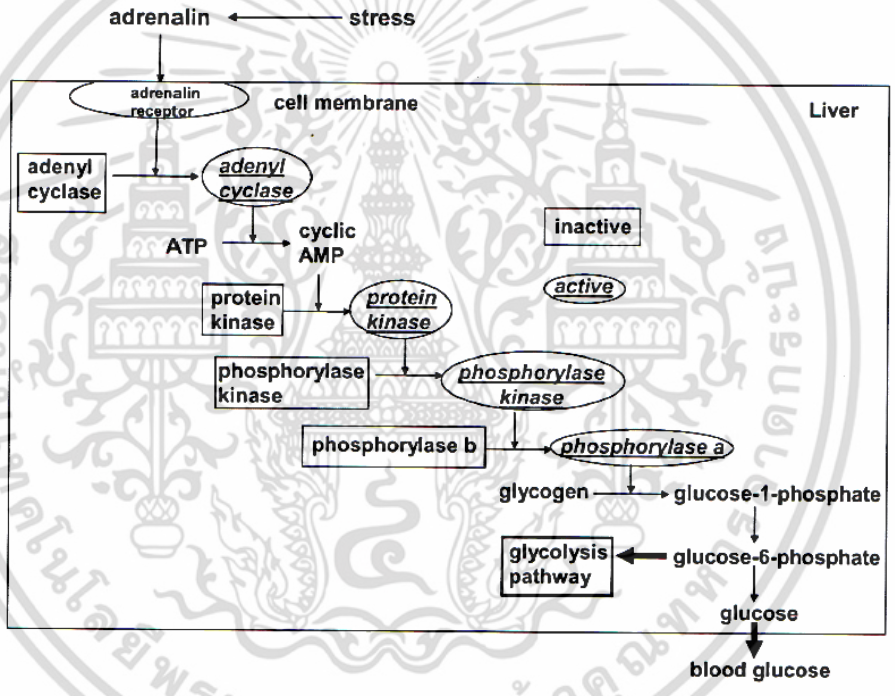
การจัดการก่อนสัตว์ตายมีผลต่อคุณภาพเนื้อเนื่องจากความเครียดของสัตว์ ซึ่งอาจเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น การขนส่งสัตว์จากฟาร์มมาโรงฆ่า ระยะทางในการขนส่ง เป็นการรวมกันในสิ่งแวดล้อมใหม่ เป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดความเครียด โดยมีผลต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมในร่างกายและคุณภาพเนื้อในด้านต่างๆ เช่น การเกิด DFD ในเนื้อโคและการเกิด PSE ในเนื้อสุกร ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญต่ออุตสาหกรรมการผลิตเนื้อ สิ่งเหล่านี้มีผลต่อค่าสีของเนื้อ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ เช่น ค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษา (drip loss) ค่าการสูญเสียน้ำระหว่างทำละลาย (thawing loss) และค่าการสูญเสียน้ำระหว่างปรุงสุก (cooking loss) (สัญชัย จตุรสิทธา. 2550)

สัตว์ที่อยู่ในสภาวะเครียด กล้ามเนื้อจะทำงานหนักและต้องการพลังงานอย่างทันทีทันใดในรูปของ ATP จำนวนมาก ในขณะที่ออกซิเจนไม่พอเพียง ดังนั้นพลังงานที่ได้จึงมาจากกระบวนการ anaerobic metabolism สิ่งเร้าจากภายนอกจะไปกระตุ้นให้ adrenal medulla ให้หลั่งฮอร์โมนอะดรีนาลีน โดยมีอวัยวะเป้าหมาย (target organ) คือตับและกล้ามเนื้อ ฮอร์โมนนี้จะไปจับกับ ß-receptor ที่เยื่อหุ้มเซลล์แล้วก่อให้เกิดการกระตุ้นการทำงานของเอ็นไซม์ adenyl cyclase ซึ่งอยู่ที่เยื่อหุ้มเซลล์ด้านใน ทำให้ ATP ถูกเปลี่ยนเป็น cAMP ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางถ่ายทอดสัญญาณจากฮอร์โมนที่ไม่สามารถผ่านเข้าเซลล์ได้ โดย cAMP จะไปกระตุ้นให้ phosphorylase b เปลี่ยนเป็น phosphorylase a จากนั้นเอ็นไซม์นี้จะไปกระตุ้นให้เกิดการสลายตัวของไกลโคเจนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็น glucose-1-phosphate แล้วจะถูกสลายต่อไปโดยกระบวนการไกลโคไลซีส ดังภาพที่ 2.11 (จันทร์พร เจ้าทรัพย์. 2554)

ความเครียดจะมีผลให้สัตว์ดึงไกลโคเจนที่เก็บสะสมไว้มาเป็นพลังงาน โดยกระบวนการไกลโคไลซีส ซึ่งเป็นกระบวนการแบบ anaerobic metabolism จะทำให้เกิดกรดแลคติกภายในกล้ามเนื้อขึ้น ถ้าสัตว์ยังมีชีวิตอยู่กรดแลคติกจะถูกส่งไปยังตับเพื่อเปลี่ยนกลับไปเป็นกลูโคสหรือไกลโคเจนได้ แต่ถ้าหากกระบวนการไกลโคไลซีสเกิดหลังจากที่สัตว์ตายแล้ว กรดแลคติกที่เกิดขึ้นจะส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างในเนื้อลดลง มีผลต่อคุณภาพเนื้อ ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงมาก อาจมีผลให้เนื้อนั้นเป็น PSE และถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงน้อย อาจมีผลให้เนื้อนั้นเป็น DFD ได้ (Aberle *et al.* 2001)



ภาพที่ 2.11 ความเครียดกระตุ้นการสลายไกลโคเจนในตับโดยฮอร์โมนอะดรีนาลีน
ที่มา : Hui *et al.* (2001) อ้างโดย จันทร์พร เจ้าทรัพย์ (2554)

2.6.2 การย่อยสลายตัวของโปรตีนภายหลังสัตว์ตาย

1) สาเหตุของการเกิดการย่อยสลายของโปรตีน

การย่อยสลายของโปรตีนภายในกล้ามเนื้อ จะมีผลมาจากเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายโปรตีนในเนื้อสัตว์ (proteolysis enzyme) ซึ่งจะมีผลทำให้เนื้อนุ่มขึ้น มีดังนี้ คาลเปน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(calpain) คาเทปซิน (cathepsin) โปรติเอโซม (proteasome) และเคสเปส (caspase) ซึ่งคาลเปนจะมีผลอย่างมากต่อความนุ่มของเนื้อ (Lawrie and Ledward. 2006)

คาลเปนเป็นเอนไซม์ที่ทำงานได้ดีเมื่อมีแคลเซียม (Ca^{2+}) มากระตุ้น โดยจะมี 2 ชนิดที่สำคัญ คือ μ-calpain (calpain 1) โดยจะทำงานได้ดีเมื่อมีแคลเซียมที่ระดับ 10^{-6} โมลาร์ (molar) มากระตุ้นการทำงาน และ m-calpain (calpain 2) ซึ่งจะทำงานได้ดีเมื่อมีแคลเซียมที่ระดับ 10^{-3} โมลาร์มากระตุ้นการทำงาน โดยคาลเปนจะมีเอนไซม์คาลปาสเตติน (calpastatin) เป็นตัวยับยั้งในการทำงาน (Shackelford *et al.* 1994) ในการศึกษาคาลเปน μ-calpain จะมีความสำคัญมากในด้านความนุ่มของเนื้อ แต่ก็ยังไม่ใช่เป็นตัวบ่งชี้ที่ดีในการบ่งบอกความนุ่มของเนื้อ (Page *et al.* 2002) โดยการศึกษาด้วยยับยั้ง คือ คาลปาสเตติน จะสามารถอธิบายความแตกต่างในด้านความนุ่มได้แม่นยำกว่า (Shackelford *et al.* 1994)

2) โปรตีนที่เกิดการย่อยสลาย

โดยสรุปเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงกล้ามเนื้อภายหลังสัตว์ตายที่เกิดขึ้นเนื่องจากเอนไซม์พบว่า ภายหลังสัตว์ตายจะเกิดการย่อยสลายของบริเวณ Z-line ทำให้เส้นใยกล้ามเนื้อเกิดการฉีกขาด ส่งผลให้โปรตีน desmin ถูกทำลายทำให้การเชื่อมขวางของเส้นใยกล้ามเนื้อ (transverse cross-linkage) ฉีกขาด นอกจากนี้โปรตีน titin และ nebulin ที่เป็นโปรตีนที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับโครงสร้างก็ถูกทำลายด้วยเช่นกัน ทำให้เส้นใยกล้ามเนื้อเกิดการคลายตัว โดยการสลายตัวของโปรตีนดังกล่าวจะเกิดผลผลิตที่มีน้ำหนักโมเลกุล 95 และ 28 กิโลดาลตัน (kDa) แต่โปรตีน troponin T ที่ทำหน้าที่ในการยึดเกาะกับ actomyosin จะสลายไปทำให้เกิดผลผลิตที่มีน้ำหนักโมเลกุล 28-32 kDa เกิดขึ้น (Aberle *et al.* 2001)

โปรตีน troponin T เป็นโปรตีนในกลุ่มไมโอไฟบริลที่เกิดการสลายตัวในระหว่างการบ่มเนื้อภายหลังสัตว์ตาย โดยการย่อยสลายโปรตีนในเนื้อโคพบว่ามี polypeptide ที่มีขนาดโมเลกุล 30 kDa เกิดขึ้น ซึ่งตรวจยืนยันด้วยเทคนิค Western blot แล้วพบว่าเป็นโปรตีน troponin T (Ho *et al.* 1994) จากการศึกษาของ Muroya *et al.* (2010) ได้ศึกษาการย่อยสลายของโปรตีน desmin และ troponin T ในกล้ามเนื้อสันนอกสุกร โดยใช้เทคนิค Western blot พบว่า เนื้อที่บ่มเป็นเวลา 6 วันเกิดการย่อยสลายของโปรตีน desmin (54 kDa) โดยมี polypeptide ที่มีขนาดโมเลกุล 39 และ 52 kDa เกิดขึ้น ส่วนการย่อยสลายของโปรตีน troponin T จะมี polypeptide ที่มีขนาดโมเลกุล 28 และ 31 kDa เกิดขึ้น

2.7 ผลของสารแรคโตพามีนต่อเมตาบอลิซึมของสุกรขุน

Bergen *et al*. (1989) ได้ทำการศึกษาผลของแรคโตพามีนต่อการเมทาบอลิซึมของโปรตีนในกล้ามเนื้อ ซึ่งทดลองในสุกรลูกผสมเพศผู้ตอนจำนวน 40 ตัว โดยมีน้ำหนักเริ่มทดลองเฉลี่ย 66.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิโลกรัมแบ่งกลุ่มเลี้ยงด้วยอาหาร 2 สูตร คือ สูตรควบคุมไม่เสริมแรคโตพามีน และสูตรอาหารที่เสริมด้วยแรคโตพามีน 20 ppm แล้วทำการเก็บตัวอย่างกล้ามเนื้อ *semitendinosus* เพื่อวิเคราะห์โปรตีนพบว่าสุกรที่ได้รับแรคโตพามีน 20 ppm มี fractional accretion rate เพิ่มขึ้น 20 เปอร์เซ็นต์ มี fractional synthesis rate (FSR) มากขึ้น ($P<0.05$) และมี fractional breakdown rate (FBR = FSR-FAR) มากขึ้นเช่นกัน ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของ fractional accretion rate มีผลสัมพันธ์ให้ fractional synthesis rate และ fractional breakdown rate เพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยมีความสำคัญกับการเมตาบอลิซึมของโปรตีนในกล้ามเนื้อ *semitendinosus* นอกจากนี้สุกรที่ได้รับแรคโตพามีน 20 ppm ยังมี protein accretion ของแต่ละวันเพิ่มขึ้น 35 เปอร์เซ็นต์ มีการสังเคราะห์โปรตีน (protein synthesis) และการสลายของโปรตีน (protein breakdown) เพิ่มขึ้น 56 เปอร์เซ็นต์และ 58 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางที่ 2.3)

ตารางที่ 2.3 ผลของการเสริมแรคโตพามีนต่อการวัดเมทาบอลิซึมโปรตีนในกล้ามเนื้อ *semitendinosus* ในสุกรขุน

สิ่งที่ศึกษา	กลุ่มควบคุม	แรคโตพามีน
Fractional synthesis rate (FSR) [a,b] (%/d)	4.4 ± 1.2 [ce]	6.1 ± 1.2 [df]
Fractional accretion rate (FAR) (%/d)	1.0	1.2
Fractional breakdown rate (FBR) (%/d)	3.4	4.9
Protein synthesis[g] (g/d)	2.81	4.28
Protein accretion (g/d)	0.64	0.86
Protein breakdown[i] (g/d)	2.17	3.42

[a] No differences in FSR within treatment at 21 and 35 d; all FSR values pooled by treatment

[b] Means contain missing value estimates; df = 1, 8

[c] N = 7

[d] N = 8

[e,f] Values in rows not sharing common superscripts are different ($P < .06$)

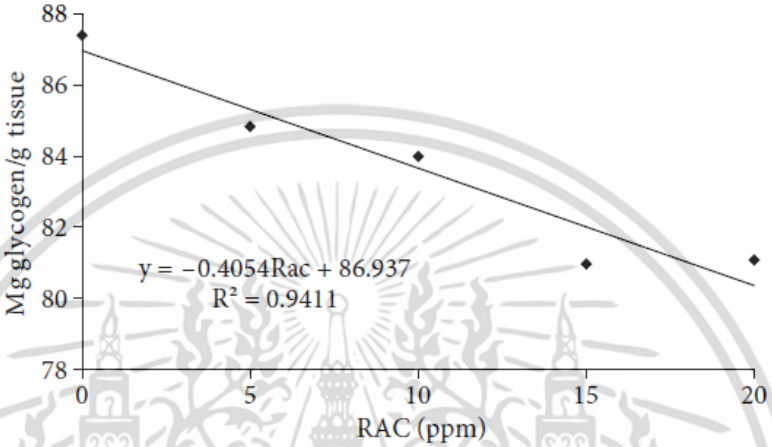
[g,h,I] Protein synthesis, accretion or breakdown estimates in g/d equals ST average muscle protein pool multiplied by FSR, FAR and FBR, respectively

ที่มา : Bergen *et al*. (1989)

Araújo *et al*. (2014) ทำการศึกษาผลของแรคโตพามีนที่เสริมลงในอาหารต่อกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างไขมันและเซลล์กล้ามเนื้อ โดยเสริมแรคโตพามีนที่ระดับ 0 5 10 15 และ 20 ppm ทดลองในสุกรสายพันธุ์ทางการค้าจำนวน 40 ตัว ให้น้ำแบบไม่จำกัด และให้อาหาร 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งต่อวัน ที่เวลา 07.00 น. และ 16.00 น. สุกรเข้าฆ่า 28 วันหลังการทดลอง เก็บตัวอย่างเนื้อเยื่อไขมันจากไขมันช่องท้อง ไขมันใต้ผิวหนัง และกล้ามเนื้อสันนอกมาวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ พบว่าระดับของแรคโตพามีนต่อกิจกรรมของเอนไซม์ lipoprotein lipase ทั้งหมดมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) และปริมาณไกลโคเจนที่สะสมในกล้ามเนื้อของกลุ่มที่ได้รับสารแรคโตพามีนมีค่าลดลง เมื่อเสริมแรคโตพามีนในสูตรอาหารเพิ่มขึ้น ($P<0.01$) ดังแสดงในภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 ผลของการเสริมแรคโตพามีนต่อปริมาณไกลโคเจนในกล้ามเนื้อสันนอกสุกร

ที่มา : Araújo *et al*. (2014)

2.8 ผลของสารแรคโตพามีนต่อคุณภาพซากและคุณภาพเนื้อของสุกรขุน

การใช้แรคโตพามีนในอาหารสัตว์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ลดการสร้างไขมันและการเพิ่มสังเคราะห์โปรตีนนั้น ต้องให้สัตว์ได้รับในช่วงสุดท้ายประมาณ 1 เดือนก่อนเข้าฆ่า ถ้ามีการหยุดใช้แรคโตพามีน (withdraw) ผลที่ต้องการก็ไม่เกิดประโยชน์ เพราะการสลายไขมันและการสังเคราะห์โปรตีนจะไม่เกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้การใช้สารแรคโตพามีนสำหรับสุกรนั้นยังขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ด้วย หากพันธุกรรมไม่มีศักยภาพในการสร้างเนื้อแดงการใช้แรคโตพามีนก็ไม่มีผล (วราพันธุ์ จินตณวิชญ์. 2555)

การเสริมแรคโตพามีนปริมาณเฉลี่ย 15.3 ppm มีผลทำให้น้ำหนักซากอุ่นเพิ่มขึ้น 4 เปอร์เซ็นต์ พื้นที่หน้าตัดเนื้อสันเพิ่มขึ้น 12 เปอร์เซ็นต์และปริมาณเนื้อแดงเพิ่มขึ้น 4 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ต้องมีการจัดการสูตรอาหารให้เหมาะสม โดยเฉพาะปริมาณไลซีน (Andretta *et al.* 2012) สอดคล้องกับ Webster *et al*. (2007) ที่ได้ทำการศึกษาปริมาณไลซีนและแรคโตพามีนที่เหมาะในสูตรอาหารต่อคุณภาพซากและคุณภาพเนื้อ โดยใช้ในสุกรระยะขุนที่ 28 วันก่อนฆ่า จำนวน 432 ตัว น้ำหนักเข้าฆ่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

108.9 กิโลกรัม แบ่งออกเป็น 12 กลุ่มทดลอง ตามสูตรอาหาร คือ สุกรที่ได้รับแรคโตพามีนที่ 5 และ 10 ppm ร่วมกับไลซีน 0.8 1.0 1.2 และ 1.4 เปอร์เซ็นต์และสุกรที่ไม่ได้รับแรคโตพามีนแต่ได้รับไลซีนที่ 0.6 0.8 1.0 และ 1.2 เปอร์เซ็นต์พบว่าสุกรที่ได้รับอาหารสูตรที่มีแรคโตพามีนจะมีเปอร์เซ็นต์ซากเพิ่มขึ้น (P<0.01) ความหนาไขมันสันหลังลดลง (P<0.01) พื้นที่หน้าตัดเนื้อสันเพิ่มขึ้น (P<0.01) และไขมันลดลง (P<0.01) สำหรับการเสริมแรคโตพามีน 5 ppm ร่วมกับไลซีน 1.0 เปอร์เซ็นต์ จะมีเปอร์เซ็นต์ซากเพิ่มขึ้นสูงที่สุด (P<0.05) ไขมันช่องท้องและความหนาไขมันสันหลังที่บริเวณซี่โครงซี่ที่ 10 ลดลง (P<0.05) และมีพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันเพิ่มขึ้น (P=0.05) ขณะที่การเสริมไลซีนร่วมกับแรคโตพามีนที่ 0 และ 10 ppm ไม่มีผลต่อคุณภาพซาก (P>0.05) เมื่อพิจารณาถึงคุณภาพเนื้อ พบว่าสุกรที่ได้รับไลซีนเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปริมาณไขมันแทรกในเนื้อลดลง (P>0.05) และสุกรที่ได้รับสูตรอาหารที่มีแรคโตพามีน 10 ppm มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น (P=0.04) ในด้านองค์ประกอบทางเคมี พบว่าสุกรที่ได้รับสูตรอาหารที่มีแรคโตพามีนมีเปอร์เซ็นต์ของความชื้นและโปรตีนเพิ่มขึ้น ในขณะที่มีเปอร์เซ็นต์ไขมันลดลง (P<0.01) ดังแสดงในตารางที่ 2.4

Carr *et al*. (2009) ได้ทำการศึกษาผลของแรคโตพามีนต่อคุณภาพซากและคุณภาพเนื้อของสุกรขุนจำนวน 278 ตัว แบ่งเป็นสุกรเพศผู้ตอน 138 ตัว และสุกรเพศเมีย 140 ตัว ที่น้ำหนักประมาณ 99±5.4 กิโลกรัม และน้ำหนักเข้าฆ่า 133-139 กิโลกรัม ซึ่งแบ่งออกเป็น 7 กลุ่ม คือ สุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีน (crude protein; CP) 16 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับแรคโตพามีนที่ระดับ 0 (CP0) 5 (CP5) และ 20 ppm (CP20) และสูตรอาหารที่มีระดับโปรตีน 16 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับการเสริมกรดอะมิโน (amino acid fortified; AA) และแรคโตพามีนที่ระดับ 0 (AA0) 5 (AA5) 10 (AA10) และ 20 ppm (AA20) พบว่าสุกรที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมแรคโตพามีนอย่างเดียวมีน้ำหนักซากสูงกว่ากลุ่มสุกรที่ไม่ได้รับการเสริมสารแรคโตพามีนร่วมกับการเสริมกรดอะมิโน (P<0.05) เมื่อพิจารณาถึงการเสริมแรคโตพามีนเพียงอย่างเดียวในสูตรอาหาร พบว่าน้ำหนักซากและความยาวซากของสุกรไม่แตกต่างกัน (P>0.05) ขณะที่พื้นที่หน้าตัดเนื้อสันของสุกรในกลุ่มที่ได้รับการเสริมแรคโตพามีนมีขนาดพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริม (P<0.05) นอกจากนี้ยังพบว่าการเสริมแรคโตพามีนไม่มีผลต่อค่าสีของเนื้อ (P>0.05) แต่มีผลต่อไขมันแทรกซึ่งสุกรที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมกรดอะมิโนร่วมกับแรคโตพามีนที่ระดับ 10 ppm มีไขมันแทรกต่ำกว่าสุกรที่ได้รับอาหารที่มีกรดอะมิโนแต่ไม่มีการเสริมแรคโตพามีน (P<0.05) จึงอาจสรุปได้ว่าการเสริมแรคโตพามีนไม่มีผลเสียต่อคุณภาพซากของสุกรที่น้ำหนักส่งตลาด (น้ำหนักประมาณ 136 กิโลกรัม) นอกจากนี้องค์ประกอบทางเคมี ของสุกรที่ได้รับการเสริมแรคโตพามีนมีเปอร์เซ็นต์ไขมันน้อยกว่าสุกรกลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริม (P<0.05) แต่ในขณะที่มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นและโปรตีนมากกว่าในสุกรกลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริม (P<0.05) ดังแสดงในตารางที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Athayde *et al*. (2012) ได้ศึกษาผลของการเสริมแรคโตพามีนในอาหารสุกรต่อคุณภาพเนื้อ โดยใช้สุกรเพศผู้ตอนและเพศเมียจำนวน 340 ตัว น้ำหนัก 107.3±0.76 กิโลกรัม เลี้ยงแยกเพศ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ตามสุกรที่ได้รับอาหารที่ผสมแรคโตพามีนแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 0 5 และ 10 ppm เป็นระยะเวลา 28 วันก่อนฆ่า พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิที่ 45 นาที และ 24 ชั่วโมงหลังสัตว์ตาย ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) ขณะที่สุกรที่ได้รับการเสริมแรคโตพามีน 10 ppm มีค่าสีแดง (a* ; redness) น้อยกว่าสุกรกลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริมแรคโตพามีน (P=0.038) เมื่อพิจารณาถึงไขมันแทรกในเนื้อ พบว่าการเสริมแรคโตพามีนไม่มีผล (P>0.05) ต่อคะแนนไขมันแทรก นอกจากนี้ยังพบว่าค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงสุกของสุกรที่ได้รับแรคโตพามีน 5 ppm สูงกว่าสุกรที่ได้รับแรคโตพามีน 10 ppm (P=0.05) สำหรับค่าแรงตัดผ่านเนื้อของสุกรที่ได้รับแรคโตพามีน 10 ppm (5.90 กิโลกรัม) มีค่าสูงกว่าสุกรที่ได้รับแรคโตพามีน 5 ppm (5.04 กิโลกรัม) และสุกรที่ไม่ได้รับแรคโตพามีน (4.56 กิโลกรัม) (P<0.01) แต่ไม่พบความแตกต่างของค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษา

Carr *et al*. (2005b) ได้ศึกษาผลของแรคโตพามีนและความแตกต่างของเมล็ดธัญพืชที่ใช้เป็นอาหารสุกรต่อลักษณะซากและคุณภาพเนื้อของสุกรขุนระยะสุดท้าย โดยใช้สุกรเพศผู้ตอน 48 ตัว และเพศเมีย 48 ตัว น้ำหนักเริ่มต้นประมาณ 45 กิโลกรัม ได้รับอาหารแตกต่างกัน 3 สูตร คือ สูตรที่มีข้าวโพด ข้าวสาลีและข้าวบาร์เล่ย์ โดยแต่ละสูตรจะมีการเสริมแรคโตพามีนที่ 10 ppm และให้สุกรกินในช่วง 28 วันก่อนฆ่า โดยจะเริ่มให้สารแรคโตพามีนที่น้ำหนัก 80 กิโลกรัม จนกระทั่งเข้าฆ่าที่น้ำหนักประมาณ 109 กิโลกรัม จากการศึกษาพบว่าสุกรที่ได้รับแรคโตพามีนมีไขมันช่องท้องที่น้อยกว่า (P<0.05) เปอร์เซ็นต์ซากและพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริมแรคโตพามีน (P<0.05) โดยพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันของกลุ่มที่ได้รับแรคโตพามีนมีขนาดใหญ่กว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับแรคโตพามีน 12.6 เปอร์เซ็นต์ คุณภาพเนื้อ พบว่าสุกรที่ได้รับแรคโตพามีนค่า b* ต่ำกว่าในกลุ่มสุกรที่ไม่ได้รับแรคโตพามีน สำหรับค่า a*ในสุกรที่ได้รับอาหารสูตรที่ใช้ข้าวโพดร่วมกับการเสริมแรคโตพามีนมีค่าสูงกว่าสุกรที่ได้รับอาหารสูตรที่ใช้ข้าวสาลีและข้าวบาร์เล่ย์ ทั้งนี้ไม่พบความแตกต่างของค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษา และค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงสุก ขณะที่ค่าแรงตัดผ่านเนื้อของสุกรที่ได้รับแรคโตพามีนมีค่าสูงกว่า (P<0.05) สุกรที่ไม่ได้รับแรคโตพามีน

Patience *et al*. (2009) ได้ศึกษาผลของการเสริมแรคโตพามีน 5 ppm ในสูตรอาหารสุกรขุนต่อลักษณะซากและคุณภาพเนื้อ โดยใช้สุกรจำนวน 536 ตัว น้ำหนักเริ่มต้น 86 กิโลกรัม และน้ำหนักเข้าฆ่า 118 กิโลกรัม โดยจะเสริมแรคโตพามีนในอาหาร 26 วันก่อนฆ่า จากการทดลองพบว่าน้ำหนักซากและเปอร์เซ็นต์ซากทั้ง 2 กลุ่มไม่ต่างกัน (P>0.05) สุกรที่ได้รับแรคโตพามีนจะมีความหนาสันหลังน้อยกว่า (P<0.05) กลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริมแรคโตพามีน (17.11 และ 18.02 มิลลิเมตร ตามลำดับ) และความหนาของเนื้อสันเพิ่มขึ้น (70.8 และ 68.3 มิลลิเมตร ตามลำดับ) (P<0.01) เมื่อพิจารณาถึงคุณภาพเนื้อ พบว่าการเสริมแรคโตพามีนไม่มีผลต่อค่า L* แต่มีผลต่อค่า a* และ b*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดลง (P<0.05) นอกจากนี้ไม่พบความแตกต่างของปริมาณไขมันแทรกและค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงสุก (P>0.05) แต่ในสุกรเพศเมียที่ได้รับแรคโตพามีนมีค่าแรงตัดผ่านเนื้อสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับ (P<0.01) ขณะที่ไม่พบความแตกต่างในสุกรเพศผู้ตอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ผลของการเสริมแรคโตพามีนร่วมกับไลซีนในสูตรอาหารต่อลักษณะซากและคุณภาพเนื้อสันนอกสุกรขุน

แรคโตพามีน (ppm)	0				5				10				SEM	P-value
ปริมาณไลซีนในสูตรอาหาร (%)	0.6	0.8	1.0	1.2	0.8	1.0	1.2	1.4	0.8	1.0	1.2	1.4		
น้ำหนักมีชีวิต (กิโลกรัม)	104.5	105.7	102.4	106.0	107.4	111.7	108.8	106.4	109.0	108.9	110.1	108.0	1.63	0.01
ซาก (%)	73.7	73.7	73.9	73.3	74.1	74.6	74.2	74.1	74.8	75.8	74.6	74.6	0.38	0.01
น้ำหนักซากอุ่น (กิโลกรัม)	76.6	77.6	75.3	77.4	79.5	83.8	80.9	78.8	81.7	82.8	82.4	80.7	1.28	0.01
น้ำหนักซากเย็น (กิโลกรัม)	75.6	76.6	74.3	76.4	78.6	82.8	79.8	77.8	80.9	81.6	81.3	79.6	1.26	0.01
ไขมันช่องท้อง (กิโลกรัม)	1.20	1.20	1.12	1.18	1.14	0.95	0.89	0.86	0.99	0.88	0.78	0.85	0.07	0.01
ความหนาไขมันสันหลัง (มิลลิเมตร)	20.4	18.8	19.3	19.5	19.5	18.8	18.0	15.0	16.8	17.2	15.9	16.4	1.06	0.01
พื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน (เซนติเมตร^2)	37.6	38.6	38.3	40.3	40.7	43.1	42.2	39.3	41.8	42.0	41.0	41.9	1.33	0.01
การสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษา (%)	4.11	3.28	3.13	3.85	3.16	3.52	4.11	3.57	3.46	4.22	4.00	2.95	0.44	0.86
เนื้อแดง (%)	51.9	53.2	52.9	53.5	53.5	54.7	54.7	54.9	55.1	55.0	55.2	55.2	0.73	0.01
ความชื้น (%)	73.8	73.8	74.0	73.8	73.8	74.1	74.3	74.4	73.8	74.0	74.2	74.2	0.22	0.28
ไขมัน (%)	2.49	2.04	1.78	1.96	2.23	1.78	1.43	1.51	2.25	1.65	1.50	1.66	0.20	0.04
โปรตีน (%)	21.4	21.9	22.0	22.1	21.8	22.1	22.6	22.0	21.7	22.4	22.5	22.7	0.27	0.01

ที่มา : ดัดแปลงจาก Webster *et al*. (2007)

ตารางที่ 2.5 ผลของการเสริมแรคโตพามีนร่วมกับกรดอะมิโนในสูตรอาหารต่อลักษณะซากและคุณภาพเนื้อสุกรขุน

	AA[a]0	AA5	AA10	AA20	CP[b]0	CP5	CP20	B[c]	G[d]	B vs. G	AA0 vs. AA5	AA0 vs. AA10	AA0 vs. AA20	CP0 vs. CP5	CP0 vs. CP20
น้ำหนักมีชีวิต (กิโลกรัม)	133.95	135.24	133.66	133.39	133.11	133.46	132.83	132.77	133.70	NS	*	NS	NS	NS	NS
น้ำหนักซากอุ่น (กิโลกรัม)	98.76	102.73	101.86	102.31	99.94	100.46	101.46	100.70	101.47	NS	*	*	*	NS	NS
น้ำหนักซากเย็น (กิโลกรัม)	96.18	100.11	99.26	99.59	97.31	97.89	98.52	97.98	98.84	NS	*	*	*	NS	NS
พื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน (เซนติเมตร^2)	47.81	49.67	51.19	51.81	47.95	48.31	51.55	47.81	51.70	*	NS	*	*	NS	*
ความยาวซาก (เซนติเมตร)	85.07	85.30	84.04	84.62	85.18	85.50	84.61	84.44	85.34	NS	NS	*	NS	NS	NS
คะแนนสีเนื้อ[e]	2.58	2.60	2.45	2.82	2.48	2.55	2.64	2.69	2.49	*	NS	NS	NS	NS	NS
คะแนนไขมันแทรก[f]	2.15	1.90	1.78	2.08	1.80	2.03	2.19	2.21	1.77	*	NS	*	NS	NS	*
ไขมัน (%)	25.26	22.61	23.87	22.34	26.77	24.19	23.22	26.26	21.81	*	*	NS	*	*	*
ความชื้น (%)	58.04	59.89	58.96	60.13	56.95	58.82	59.57	57.15	60.67	*	*	NS	*	*	*
โปรตีน (%)	16.46	17.24	17.03	17.49	16.18	16.73	17.11	16.41	17.37	*	*	*	*	*	*

* $P<0.05$

[a] Amino acid fortified, [b] Crude protein, [c] Barrow, [d] Gilt

[e] NPPC (1999) (where 1 = pale and 6 = red), [f] NPPC (1999) estimated % lipid

ที่มา : ดัดแปลงจาก Carr *et al*. (2009)

ตารางที่ 2.6 ผลของแรคโตพามีนต่อคุณภาพเนื้อสันนอกสุกรขุน

อ้างอิง	แรคโตพามีน (ppm)	สายพันธุ์	เพศ	pH		ค่าสี			การสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษา (%)	ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (กก.)
				45 นาที	24 ชม.	L*	a*	b*		
Athayde *et al*. (2012)	0	Commercial crossbred (Camborough 25 × AGPIC 337)	B and G	6.07	5.70	43.1	6.4^{a}	0.23	2.8	4.56^{b}
	5			6.08	5.67	43.7	5.9^{ab}	0.22	3.1	5.04^{b}
	10			6.00	5.68	44.1	5.5^{b}	0.23	3.1	5.90^{a}
Carr *et al*. (2005a)	0	Dekalb EB or EB2 sires × Dekalb 45 or Dekalb 43 dams	B	-	5.46^{a}	48.73	9.23^{a}	5.10^{a}	-	3.76^{a}
	10			-	5.53^{b}	48.11	7.96^{b}	3.85^{b}	-	4.29^{b}
	20			-	5.53^{b}	48.93	7.55^{b}	3.69^{b}	-	4.42^{b}
Carr *et al*. (2005b)	0	PIC 337 sires × PIC C22 dams	B and G	6.01	5.58	50.62	8.63	5.85	4.11	3.51
	10			6.05	5.59	50.86	7.53	4.99	4.53	3.92
Patience *et al*. (2009)	0	Camborough	B and G	-	5.74	54.47	8.19	13.93	6.73	6.62
	5			-	5.74	54.13	7.43	13.10	6.21	7.43
Fernández-Dueñas *et al*. (2008)	0		B and G	-	5.73	47.04	7.32	2.98^{a}	-	2.74^{a}
	5			-	5.72	46.61	7.01	2.54^{b}	-	3.03^{b}
	7.4			-	5.76	46.40	6.88	2.41^{b}	-	2.79^{a}

B=Barrow , G= Gilt

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

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 สัตว์ทดลอง

สุกรขุนสามสาย (ดูร็อค × ลาร์จไวท์ × แลนด์เรซ) จำนวน 30 ตัว (เพศเมีย 15 ตัว และเพศผู้ตอน 15 ตัว) โดยมีปัจจัยที่ศึกษา ปัจจัยแรก คือ ปริมาณสารแรคโตพามีนในสูตรอาหาร มี 3 ระดับ คือ การขุนสุกรด้วยสูตรอาหารปกติ (กลุ่มควบคุม) และสูตรอาหารที่เสริมด้วยสารแรคโตพามีนในปริมาณ 20 และ 40 ppm ปัจจัยที่สอง คือ เพศ แบ่งเป็นเพศเมียและเพศผู้ตอน และศึกษาอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสอง โดยจะทำการเสริมแรคโตพามีนที่สุกรมีน้ำหนักตัวประมาณ 60-100 กิโลกรัม แต่ละกลุ่มทดลอง ประกอบด้วยสุกรจำนวน 10 ตัว (เพศเมีย 5 ตัว และเพศผู้ตอน 5 ตัว) เริ่มขุนสุกรในคอกขังเดี่ยว ตั้งแต่น้ำหนักเฉลี่ย 20 กิโลกรัมถึง 100 กิโลกรัม ให้กินอาหารเต็มที่และมีน้ำให้กินตลอดเวลา เก็บรวบรวมข้อมูลสมรรถนะการเจริญเติบโต ปริมาณการกินอาหาร และเก็บข้อมูลการทดลองต่างๆ อย่างละเอียด (ดำเนินการที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาสุกร อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา)

ภาพที่ 3.1 สัตว์ทดลอง

3.2 สูตรอาหารที่ใช้เลี้ยงสุกร

เตรียมสูตรอาหารสุกรขุนพื้นฐานใช้อาหารเม็ดสำเร็จรูปโปรตีน 18 เปอร์เซ็นต์สำหรับสุกรน้ำหนัก 20-40 กิโลกรัม และเปลี่ยนเป็นอาหารผสมสูตรทดสอบพันธุ์ระดับโปรตีน 18 เปอร์เซ็นต์สำหรับสุกรน้ำหนัก 40-60 กิโลกรัม ช่วงสุดท้ายเมื่อสุกรน้ำหนัก 60-100 กิโลกรัม ให้อาหารผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรทดสอบระดับโปรตีน 18 เปอร์เซ็นต์เช่นกันและผสมสารแรคโตพามีนที่ 3 ระดับ คือ 0 20 และ 40 ppm เพื่อให้สุกรแสดงศักยภาพการผลิตออกมาเต็มที่ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบของสูตรอาหารที่ใช้เลี้ยงสุกร

วัตถุดิบ (%)	สำหรับสุกรน้ำหนัก	สำหรับสุกรน้ำหนัก 60-100 กก.		
	20-60 กก.	T1 (0 ppm)	T2 (20 ppm)	T3 (40 ppm)
ปลายข้าว	53.00	53.00	53.00	53.00
รำละเอียด	15.00	15.00	15.00	15.00
ถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน	22.00	22.00	22.00	22.00
ปลาป่น	5.00	5.00	5.00	5.00
ไดแคลเซี่ยมฟอสเฟต	4.00	4.00	4.00	4.00
เกลือป่น	0.50	0.50	0.50	0.50
ไลซีน	0.10	0.10	0.10	0.10
ยาปฏิชีวนะ	0.10	0.10	0.10	0.10
พรีมิกซ์	0.25	0.25	0.25	0.25
ยาจับเชื้อรา	0.20	0.20	0.20	0.20
แรคโตพามีน	0	0	0.10	0.20
พลังงาน (Kcal/kg)	3,118.20	3,118.20	3,115.09	3,111.99
% โปรตีน	18.05	18.05	18.03	18.02
ราคา (บาท/กก.)	16.01	16.01	17.70	19.39

ที่มา : ศูนย์วิจัยและพัฒนาสุกร อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา (2560)

3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย

เมื่อสุกรมีน้ำหนักประมาณ 100 กิโลกรัม ส่งสุกรเข้าฆ่าที่โรงฆ่าศูนย์วิจัยและพัฒนาสุกร กรมปศุสัตว์ อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา โดยมีขั้นตอน คือ ทำให้สุกรสลบโดยการช็อตด้วยเครื่องช็อตไฟฟ้าบริเวณกกหูทั้งสองข้าง ทันทีที่สุกรสลบรีบใช้โซ่ผูกขาข้างใดข้างหนึ่ง แล้วแขวนสุกรขึ้นสูงจากพื้นอยู่ในแนวดิ่ง รีบแทงคอสุกรเอาเลือดออกทันที ทำการลวกซากสุกรในน้ำอุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 2 นาที แล้วขูดขนสุกร ล้างซากสุกร จากนั้นเอาเครื่องในออกจากซากสุกร แล้วใช้มีดตัดหัวสุกร และทำการผ่าซากออกเป็น 2 ซีกด้วยเลื่อยไฟฟ้า ชั่งน้ำหนักซาก แล้วนำซากมาบ่มที่ห้องเย็นอุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การเก็บตัวอย่างเนื้อ

เก็บตัวอย่างกล้ามเนื้อสันนอกภายหลังสัตว์ตายภายในเวลา 1 ชั่วโมง โดยเก็บจากชิ้นเนื้อบริเวณซี่โครงซี่ที่ 10-11 จากซากซีกซ้ายของสุกร (ชิ้นที่ 1) แต่ละตัวประมาณ 100 กรัม นำเนื้อมาหั่นขนาดชิ้นละ 2 เซนติเมตร และนำตัวอย่างเนื้อไปแช่ในไนโตรเจนเหลว เก็บในถุงพลาสติก HD (high density polyethylene) จากนั้นนำตัวอย่างไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปศึกษาปริมาณไกลโคเจนในกล้ามเนื้อ

เก็บตัวอย่างกล้ามเนื้อสันนอกจากซากซีกขวาของสุกรแต่ละตัว ที่ผ่านการบ่มซากเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส นำชิ้นส่วนกล้ามเนื้อสันนอกมาตัดแบ่งเป็นชิ้นส่วนย่อยเป็น 8 ชิ้น เพื่อใช้ในการศึกษาคุณภาพเนื้อ ดังนี้ (ภาพที่ 3.2)

ชิ้นที่ 2 ตัดเนื้อหนา 1.5 เซนติเมตร เพื่อวัดค่าสีของเนื้อ

ชิ้นที่ 3 ตัดเนื้อหนา 2 เซนติเมตร เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการทำละลาย เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างปรุงสุก และค่าแรงตัดผ่านเนื้อที่เนื้ออายุ 1 วัน

ชิ้นที่ 4 ตัดเนื้อหนา 2 เซนติเมตร บ่มเป็นเวลา 5 วันที่อุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส จากนั้นเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการทำละลาย เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างปรุงสุก และค่าแรงตัดผ่านเนื้อที่เนื้ออายุ 5 วัน

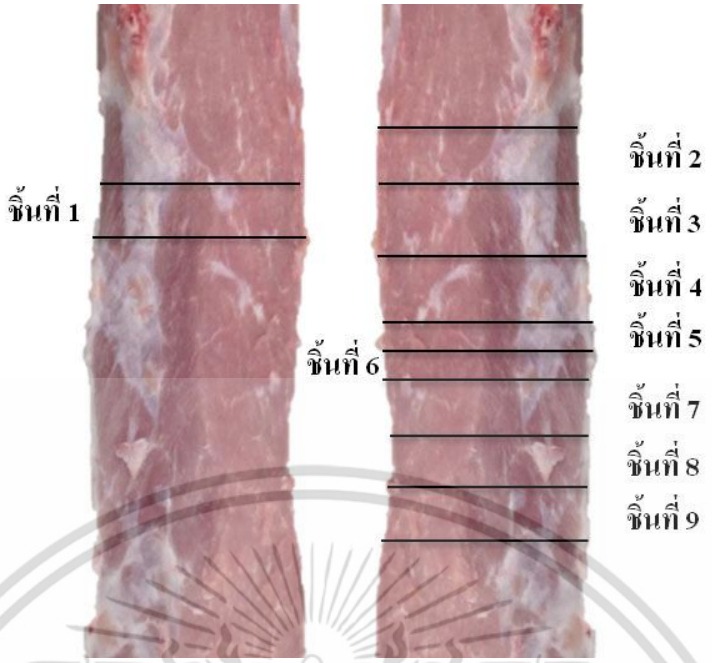
ชิ้นที่ 5 และชิ้นที่ 6 ตัดเนื้อหนา 1 เซนติเมตร เก็บรักษาเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษา

ชิ้นที่ 7 ตัดเนื้อหนา 1.5 เซนติเมตร เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์ความยาวซาร์โคเมียร์และความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อ

ชิ้นที่ 8 ตัดเนื้อหนา 1.5 เซนติเมตร เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณคอลลาเจน

ชิ้นที่ 9 ตัดเนื้อหนา 1.5 เซนติเมตร บ่มเป็นเวลา 5 วันที่อุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส จากนั้นเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์ศึกษาการสลายตัวของโปรตีน troponin T

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.2 การตัดแบ่งตัวอย่างกล้ามเนื้อสันนอกสำหรับการศึกษาคุณภาพเนื้อ

3.5 อุปกรณ์และสารเคมี

3.5.1 อุปกรณ์

1. เครื่องมือวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของเนื้อ (Mettler-Toledo; SevenGo™ pH meter SG 2, China)
2. เครื่องมือวัดสีของเนื้อ (Minolta Chomameter; CR-300, Japan)
3. เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (Tanita model 1144; Tanita Corporation, Japan)
4. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Sartorius; Basic, Germany)
5. เครื่องบรรจุสุญญากาศ (Ramon VP-600A, Germany)
6. ตู้แช่แข็งควบคุมอุณหภูมิที่ -20 องศาเซลเซียส (SF-PCI497; Panasonic, Thailand)
7. ตู้แช่แข็งควบคุมอุณหภูมิที่ -40 องศาเซลเซียส (VT-406; Thanes Development, Thailand)
8. เครื่องวัดค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (Instron Universal Testing Machine Model 2519-104; Instron Corporation, USA)
9. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Memmert, Germany)
10. เครื่องบดละเอียด (Moulinex; Minipimer MR 430 HC, France)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. กล้องจุลทรรศน์ compound microscope (Olympus; CX-40, Japan)

12. เครื่องมือวัดอุณหภูมิ (Thermometer Testo; T106, Germany)

13. Microscope eye-piece camera รุ่น Dino-eye (ANMO electronics corporation; Taiwan)

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

15. เครื่อง Homogenizer (Ultra tarrax, Germany)

16. เครื่องปั่นเหวี่ยง Centrifuge (Labogene; Scanspeed 1580R, Denmark)

17. Microplate (Maxisorp, Nunc™)

18. เครื่อง Automatic microplate reader (Tecan Sunrise, UK)

19. เครื่อง microplate reader (iMark™; BioRad, USA)

20. กระดาษกรอง whatman เบอร์ 111 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 110 มิลลิเมตร

21. แผ่นเมมเบรน polyvinylidene difluoride (PVDF; BioRad, USA)

22. เครื่องถ่ายรูปเจล (Gel Doc EZ; BioRad, USA)

23. เครื่องแยกโปรตีน (Mini-PROTEAN® Tetra Vertical Electrophoresis Cell; BioRad, USA)

24. เครื่องย้ายโปรตีนจากเจลไปสู่เมมเบรน (Criterion™ blotter; BioRad, USA)

3.5.2 สารเคมี

1. Neutral formalin (Univer, Australia)

2. Sodium chloride (NaCl; Univer, Australia)

3. Potassium chloride (KCl; Ajax Finechem, Australia)

4. Ethylenediaminetetraacetic acid disodium salt (EDTA; Univer, Australia)

5. Boric acid (H_3BO_3; Fisher Scientific, UK)

6. Glutaraldehyde ($C_5H_8O_2$; Loba Chemie, India)

7. Perchloric acid (HCl; Merck, Germany)

8. Sodium bicarbonate ($NaHCO_3$; Ajax Finechem, Australia)

9. Sodium acetate (CH_3COONa; Ajax Finechem, Australia)

10. Glycogen from Bovine liver (Sigma, UK)

11. Amyloglucosidase (Sigma, U.S.A)

12. Glucose oxidase (Thermo Scienctific, Australia)

13. Calcium chloride (CaCl; Merck, Germany)

14. Citric acid monohydrate ($HOC(COOH)(CH_2COOH)_2$; Ajax Finechem, Australia)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15. Acetic acid (CH_3COOH; Merck, Germany)

16. Isopropanol (C_3H_8O; Merck, Germany)

17. p-dimethlyamino-benzadehyde ($C_9H_{11}NO$; Loba Chemie, India)

18. Hydrochloric acid (HCl; Merck, Germany)

19. Activited carbon (Applichem GmbH, Germany)

20. Chloramine T ($C_7H_7ClNO_2S{\cdot}Na$; Sigma-Aldrich, Netherlands)

21. Tris (hydroxymethyl) aminomethane Hydrochloride (Tris-HCl; Vivantis, U.S.A)

22. Sodium hydroxide (NaOH; Ajax Finechem, Australia)

23. SDS (sodium dodecyl sulfate) (Bio Basic Inc., U.S.A)

24. Bovine serum albumin (BSA; Sigma, UK)

25. Glycine (Promega, U.S.A)

26. Ammoniumpersulfate (APS) (Ajax Finechem, Australia)

27. Tetramethylethylenediamine (TEMED) (Bio Basic Inc., U.S.A)

28. Methanol (CH_3OH; Univer, Australia)

29. Bromophenol blue (Ajax Finechem, Australia)

30. Anti-troponin T (Sigma, U.S.A)

31. Anti-mouse IgG (Roche, Germany)

32. 3,3', 5,5'-tetramethyl-benzidine (TMB; Sigma, U.S.A)

สารเคมีและการเตรียมสารเคมีสำหรับวิเคราะห์ปริมาณไกลโคเจน ความยาวซาร์โคเมียร์ ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อ ปริมาณคอลลาเจน และการสลายตัวของโปรตีน troponin T ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก

3.6 วิธีการวิจัยคุณภาพเนื้อ

3.6.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

วัดค่าความเป็นกรด-ด่างบริเวณส่วนของกล้ามเนื้อสันนอกซีกซ้ายระหว่างซี่โครงที่ 10-11 โดยทำการวัดค่าความเป็นกรด-ด่างที่ระยะเวลา 45 นาทีภายหลังสัตว์ตายและความเป็นกรด-ด่างที่ 24 ชั่วโมงภายหลังสัตว์ตาย โดยใช้เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (Mettler Toledo; SevenGo™ pH meter SG2, China)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.2 ค่าสีของเนื้อ (Color)

ทำการเก็บกล้ามเนื้อสันนอกจากซากซีกขวาของสุกรที่บริเวณซี่โครงที่ 11-12 ตัดเนื้อให้มีความหนาประมาณ 1.5 เซนติเมตร แล้วปล่อยให้สัมผัสอากาศที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นวัดสีของเนื้อโดยใช้เครื่องวัดสีของเนื้อ (Minolta Chomameter; CR-300, Japan)

3.6.3 ความยาวซาร์โคเมียร์ (Sarcomere length)

วัดความยาวซาร์โคเมียร์ ตามวิธีที่แนะนำโดย Cross *et al.* (1981) นำตัวอย่างเนื้อสันนอกที่แช่แข็งมาทำละลายโดยเก็บที่อุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการตัดแต่งส่วนของไขมันออก เก็บตัวอย่างเนื้อหนาชิ้นละ 3×3×2 เซนติเมตร แช่ใน Solution A เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (KCl 7.46 กรัม Boric acid 2.49 กรัม และ EDTA 1.85 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 700 มิลลิลิตร เติม Glutaraldehyde 25 เปอร์เซ็นต์ 100 มิลลิลิตร ทำการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้เท่ากับ 7.1 หลังจากนั้นให้ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1 ลิตร) จากนั้นย้ายชิ้นเนื้อจาก Solution A มาแช่ใน Solution B เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (KCl 1.86 กรัม Boric acid 2.49 กรัม EDTA 1.85 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 700 มิลลิลิตร เติม Glutaraldehyde 25 เปอร์เซ็นต์ 100 มิลลิลิตร ทำการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้เท่ากับ 7.1 หลังจากนั้นให้ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1 ลิตร) เมื่อครบตามระยะเวลาที่กำหนดนำชิ้นเนื้อที่ได้มาฉีกให้เป็นเส้นใยขนาดเล็กนำมาวางบนแผ่นสไลด์ แล้วจึงนำตัวอย่างไปวัดความยาวซาร์โคเมียร์ด้วยเครื่อง Helium-Neon Laser (IHS Engineering 360; model SC-31004, USA) แล้วนำค่าที่วัดได้มาคำนวณความยาวซาร์โคเมียร์ (ในหน่วยไมโครเมตร) ตามสูตรคำนวณดังนี้

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

เมื่อ D = ระยะห่างระหว่างแผ่นสไลด์กับจอรับภาพ = 15 เซนติเมตร

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

3.6.4 ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อ (Diameter)

วัดความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อ ตามวิธีที่แนะนำโดย Tuma *et al.* (1962) นำตัวอย่างเนื้อสันนอกที่แช่แข็งมาทำละลายโดยเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาทำการตัดแต่งส่วนของชั้นผิวหนังและไขมันออก เก็บตัวอย่างเนื้อหนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณชิ้นละ 1×1 เซนติเมตร นำมาแช่ใน neutral formalin 4 เปอร์เซ็นต์ อย่างน้อย 48 ชั่วโมง ในตู้เย็นอุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส สไลด์ตัวอย่างให้หนาประมาณ 1/8 นิ้ว นำตัวอย่างใส่ในเครื่องปั่นและเติม NaCl 0.9 เปอร์เซ็นต์ 50 มิลลิลิตรลงในเครื่องปั่น ปั่นตัวอย่างประมาณ 30 วินาที จากนั้นนำสารละลายที่ปั่นได้หยดลงบนแผ่นสไลด์ นำไปวัดความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 4x แล้วบันทึกค่าด้วยโปรแกรม Dino lite (Taiwan)

3.6.5 ปริมาณไกลโคเจน (Glycogen content)

การวิเคราะห์ปริมาณไกลโคเจน ดัดแปลงตามวิธีที่แนะนำโดย Dreiling *et al.* (1987) ทำการเก็บกล้ามเนื้อสันนอกซีกซ้าย ตรงตำแหน่งซี่โครงที่ 10-11 ประมาณ 100 กรัม โดยเก็บที่ระยะเวลาภายใน 1 ชั่วโมงภายหลังสัตว์ตาย นำตัวอย่างเนื้อที่ได้มาบดให้ละเอียด โดยใส่ไนโตรเจนเหลวในการรักษาสภาพ เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณไกลโคเจนในเนื้อ จากนั้นทำการชั่งตัวอย่างเนื้อ 0.4 กรัม ใส่หลอดทดลอง และเติม 8 เปอร์เซ็นต์ perchloric acid 2 มิลลิลิตร นำมาปั่นด้วยเครื่อง homogenizer แล้วนำมาปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 12,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นทำการ neutralize โดยการปิเปตเอาส่วนใสใส่ลงในหลอดทดลองจำนวน 133 ไมโครลิตร แล้วเติม Sodium bicarbonate และ 0.2 M Sodium acetate จนกระทั่งได้สารละลายที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ประมาณ 5.2 จากนั้นปิเปตสารละลายที่ได้มา 200 ไมโครลิตร นำมาย่อยโดยใช้ amyloglucosidase 5 ไมโครลิตร นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปบ่มเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที แล้วจึงนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 12,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที ปิเปตเฉพาะส่วนใส 10 ไมโครลิตร นำมาเติม glucose oxidase 170 ไมโครลิตร ทิ้งไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส 10 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 550 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง automatic microplate reader (Tecan Sunrise, UK)

3.6.6 ส่วนประกอบทางเคมี

การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีโดยวิธี AOAC (2005) ทำการเก็บตัวอย่างชิ้นเนื้อแช่ในตู้แช่แข็ง -20 องศาเซลเซียล นำตัวอย่างเนื้อสันนอกที่แช่แข็งมาทำละลายโดยเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการบดเนื้อเพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน (Crude protein, CP) ไขมัน (Ether extract, EE) ความชื้น (Moisture) และเถ้า (Ash)

3.6.7 ปริมาณคอลลาเจน (Collagen content)

การวิเคราะห์ปริมาณคอลลาเจน ดัดแปลงตามวิธีของ Hill (1966) นำตัวอย่างเนื้อสันนอกที่แช่แข็งมาทำละลายโดยเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงมาบดด้วยเครื่องบดละเอียด จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่บดแล้วตัวอย่างละ 4.0 กรัม ลงใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอดทดลอง แล้วเติม ringer solution 20 มิลลิลิตร นำไปปั่นด้วยเครื่อง homogenizer จนชิ้นเนื้อละเอียด จากนั้นนำตัวอย่างไปต้มในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 77 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 66 นาที แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 10,000 g ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที เมื่อครบกำหนดทำการปิเปตเอาส่วนใส (supernatant) ใส่หลอดทดลอง 17 มิลลิลิตร เติม 12 N HCl 17 มิลลิลิตร และนำส่วนที่ตกตะกอน (pellet) มาใส่ในหลอดทดลอง เติม 6 N HCl 25 มิลลิลิตรแล้วนำตัวอย่างไปต้มในอ่างน้ำมันควบคุมอุณหภูมิ (oil bath) ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมงแรกเขย่าหลอดตัวอย่างทุกๆ 30 นาที เมื่อครบตามระยะเวลาที่กำหนดเติม activited carbon ลงในหลอดตัวอย่าง แล้วกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 111 ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้อยู่ในช่วง 4.5-7.5 ปรับปริมาตรในแต่ละตัวอย่างให้เป็น 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำหลอดที่ได้จากส่วนตกตะกอนมาเจือจาง โดยปิเปตสารตัวอย่างคอลลาเจนที่ไม่ละลายมา 500 ไมโครลิตรผสมกับน้ำกลั่น 2.5 มิลลิลิตร แล้วจึงดูดของเหลวที่ได้จากการสกัดตัวอย่างทั้งหมด ทั้งคอลลาเจนที่ละลายได้และไม่ละลายมา 400 ไมโครลิตร เติม oxidant solution 200 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันวางทิ้งไว้ 20 นาที จากนั้นเติม color reagent 200 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วนำไปต้มในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที หลังจากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 550 นาโนเมตร เครื่อง microplate reader (iMark™; BioRad, USA) จากนั้นนำผลที่ได้ไปคำนวณกราฟมาตรฐานใช้ความเข้มข้นของไฮดรอกซีโพรลีนเท่ากับ 0 1 2 3 4 5 6 7 ไมโครกรัมของไฮดรอกซีโพรลีนต่อมิลลิกรัม และคำนวณโดยใช้สูตรดังนี้

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

c = ความเข้มข้นของไฮดรอกซีโพรลีน

f = จำนวนเท่าของการเจือจางสารละลายที่ได้จากการย่อย

โดย Soluble = 1

Insoluble = 6

w = น้ำหนักตัวอย่างเนื้อ

3.6.8 การสลายตัวของโปรตีน troponin T ที่ระยะเวลาการบ่ม 5 วัน โดยใช้เทคนิค Western blot

1) การเตรียมเจล TGX Stain-Free gel (Biorad, USA) สำหรับ sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 การเตรียมเจล TGX stain-Free gel สำหรับ SDS-PAGE

	1.0 mm Bio-Rad Glass Plates	
	Stacker	Resolver
Resolver A	-	3 ml
Resolver B	-	3 ml
Stacker A	1 ml	-
Stacker B	1 ml	-
TEMED	2 µl	3 µl
10% APS	10 µl	30 µl

Resolver A Resolver B Stacker A และ Stacker B คือ gel acrylamide solution สำเร็จรูป

TEMED คือ tetramethylethylenediamine สำเร็จรูป

10% APS คือ ammoniumpersulfate 10 เปอร์เซ็นต์ (เตรียมสดทุกครั้งที่ใช้)

ที่มา : Biorad, USA

2) การเตรียมตัวอย่าง

ทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของโปรตีน troponin T โดยเริ่มจากการสกัดตัวอย่าง โดยนำตัวอย่างเนื้อที่ผ่านการบดด้วยไนโตรเจนเหลวชั่งลงในหลอดทดลอง 0.2 กรัม เติม extraction buffer + protein inhibitor 2 มิลลิลิตร แล้วปั่นด้วยเครื่องปั่นละเอียด จากนั้นดึงตัวอย่างแต่ละตัวแยกเป็น 2 หลอดขนาด 1.5 มิลลิลิตร ดังนี้ 1) ดึงตัวอย่างจำนวน 200 ไมโครลิตร มาเติม 2x SDS อีกจำนวน 200 ไมโครลิตร 2) ดึงตัวอย่างจำนวน 100 ไมโครลิตร มาเติม 0.1 M NaOH อีกจำนวน 900 ไมโครลิตร เพื่อนำไปวัดความเข้มข้นของโปรตีน

การวัดความเข้มข้นของโปรตีนที่สกัดได้จากแต่ละตัวอย่าง ด้วยเทคนิค Lowry โดยแต่ละตัวอย่างทำการวัด 2 ซ้ำ แล้วนำไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน (standard curve) ที่เจือจางของ Bovine serum albumin (BSA; Sigma, UK) ด้วย 0.1 M NaOH ให้มีความเข้มข้น ระหว่าง 0-90 ไมโครกรัม จากนั้นปิเปต 50 ไมโครลิตรของสารละลายมาตรฐาน ตัวอย่างที่เจือจางด้วย 0.1 M NaOH จนมีความเข้มข้นอยู่ในช่วงเดียวกับสารละลายมาตรฐาน และใช้ 0.1 M NaOH เป็น blank ลงในหลุมของ microplate แล้วเติม solution A (5 มิลลิลิตร 2 เปอร์เซ็นต์ (w/v) Na_2CO_3 ใน 0.1 M NaOH, 0.5 มิลลิลิตร 1 เปอร์เซ็นต์ (w/v) $CuSO_4$, 0.5 มิลลิลิตร KNaTartate) ลงไป 50 ไมโครลิตร ผสมสารให้เข้ากัน ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาทีแล้วเติม solution B (5 มิลลิลิตร 0.1 M NaOH, 0.5 มิลลิลิตร Folin Ciocalteu reagent) ลงไป 50 ไมโครลิตรเช่นกัน ผสมสารให้เข้ากัน ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง microplate reader (Tecan Sunrise, UK) จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของ BSA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปสร้างกราฟมาตรฐานและคำนวณหาสมการถดถอยเชิงเส้น Y = ax ± b โดยค่า Y เป็นค่าการดูดกลืนแสงและค่า x เป็นค่าความเข้มข้นของสารละลาย BSA และทำการคำนวณหาความเข้มข้นของโปรตีนตัวอย่าง โดยใช้สมการถดถอยเชิงเส้นของกราฟมาตรฐาน

3) การทำอิเล็กโทรโฟรีซิส

นำหลอดตัวอย่างมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที เมื่อครบเวลาที่กำหนดให้นำตัวอย่างไปหยอดลงในช่องว่างของเจลที่เตรียมไว้ โดยเครื่องแยกโปรตีนแบบ vertical slab gel ให้เจลช่องที่ 1 เป็นโปรตีนมาตรฐาน (protein marker) เพื่อใช้เปรียบเทียบน้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนตัวอย่าง และช่องที่ 2 เป็นต้นไปเป็นโปรตีนตัวอย่าง โดยใช้ตัวอย่าง 10 ไมโครลิตรต่อช่องว่างของเจล ต่ออุปกรณ์สำหรับทำอิเล็กโทรโฟรีซิส จากนั้นใส่ running buffer สำหรับทำอิเล็กโทรโฟรีซิสที่ส่วนบนและส่วนล่างของแชมเบอร์ ใส่สารละลายโปรตีนที่เตรียมไว้ลงในช่องว่างของเจล ต่อขั้วไฟฟ้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เปิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยใช้กระแสไฟฟ้า 200 โวลต์ เป็นเวลา 45 นาที เมื่อครบเวลาที่กำหนด ปิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และนำเจลออกจากแผ่นกระจกใส่ในภาชนะ นำเจลไปถ่ายรูปด้วยเครื่อง Gel Doc EZ (Biorad, USA) จากนั้นต่อมานำเจลที่ได้แล้ว เข้าสู่เทคนิค Western blot ต่อไป

4) การทำ Western blot

ย้ายโปรตีนจากเจลไปสู่แผ่นเมมเบรน polyvinylidene difluoride (PVDF BioRad, USA) โดยเครื่องเคลื่อนย้ายโปรตีน (Biorad, USA) โดยใช้กระแสไฟฟ้า 200 มิลลิแอมแปร์ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ใช้ Western blot buffer เป็นตัวพากระแสไฟฟ้า เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำแผ่นเมมเบรนไปถ่ายรูปด้วยเครื่อง Gel Doc (Biorad, USA) ใช้โปรแกรม Image Lab เพื่อถ่ายภาพทั้งหมด แล้วนำไปวัดความเข้มของแถบโปรตีน เสร็จแล้วนำแผ่นเมมเบรนไป block ด้วย skim milk 5 เปอร์เซ็นต์ (skim milk 5 กรัมผสมกับ 1x TBST 100 มิลลิลิตร) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จึงนำแผ่นเมมเบรนมาแช่ในแอนติบอดี (antibody) ที่ 1 (anti-troponin T) ที่เจือจาง 1:15,000 ไมโครลิตร เขย่าเบาๆ เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นนำแผ่นเมมเบรนเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสประมาณ 12 ชั่วโมง แล้วนำมาล้างด้วย skim milk 1 เปอร์เซ็นต์ (skim milk 1 กรัมผสมกับ 1x TBST 100 มิลลิลิตร) 5 ครั้งๆ ละ 10 นาที จากนั้นทำการแช่แผ่นเมมเบรนในแอนติบอดีตัวที่ 2 (anti-mouse IgG) ที่เจือจาง 1:7,500 ไมโครลิตร จากนั้นเขย่าเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วล้างแผ่นเมมเบรนด้วย skim milk 1 เปอร์เซ็นต์ 5 ครั้งๆ ละ 10 นาที และล้างด้วย 1x TBST และหยด substrate (TMB) รอจนกว่าจะเห็นแถบโปรตีน (ขั้นตอนนี้ไม่ควรโดนแสง) ให้หยุดปฏิกิริยาด้วยน้ำกลั่นแล้วนำแผ่นเมมเบรนไปถ่ายรูปด้วยเครื่อง Gel Doc EZ (Biorad, USA)

5) การวิเคราะห์ผล

วิเคราะห์ความเข้มของแถบโปรตีน troponin T ที่มีขนาด 37 kDa และขนาด 30 kDa ด้วยโปรแกรม Image Lab 5.1 จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาอัตราส่วนระหว่างแถบโปรตีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งหมดกับแถบโปรตีน troponin-T และผลผลิตที่ได้จากการย่อยสลายของโปรตีนที่ขนาด 30 kDa โดยใช้สูตรการคำนวณ ดังนี้

$$\text{Normalized Quantity} = \frac{\text{Relative Quantity of Target Protein}}{\text{Relative Quantity of Target Protein Lane}}$$

เมื่อ Relative Quantity of Target Protein คือ ค่าแถบโปรตีนทั้งหมด

Relative Quantity of Target Protein Lane คือ ค่าแถบโปรตีน troponin T

3.6.9 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษา (Drip loss)

วิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษา ตามวิธีที่แนะนำโดย Honikel (1998) นำกล้ามเนื้อสันนอกที่ผ่านแช่เย็นไว้ที่อุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มาตัดให้หนาชิ้นละ 1 เซนติเมตร จำนวน 2 ชิ้น น้ำหนักประมาณ 70-100 กรัม ทำการชั่งและบันทึกน้ำหนักเริ่มต้น (D1) จากนั้นนำชิ้นเนื้อบรรจุในถุงพลาสติก แล้วปิดปากถุงให้แน่น นำไปแขวนที่อุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส เมื่อครบ 48 ชั่วโมง จึงนำเนื้อออกจากถุง นำมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง ทำการบันทึกน้ำหนักสุดท้าย (D2) แล้วคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษาที่ 2 วัน ตามสูตรดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษา} = \frac{D1 - D2}{D1} \times 100$$

3.6.10 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงสุก (Cooking loss) และการวัดค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (Warner-Bratzler shear force)

วิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงสุกและการวัดค่าแรงตัดผ่านเนื้อ ตามวิธีที่แนะนำโดย Boccard *et al*. (1981) ทำการศึกษาความนุ่มของเนื้อ ที่ระยะเวลาการบ่ม 1 และ 5 วัน โดยนำตัวอย่างที่แช่แข็งมาทำละลายโดยเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่างชิ้นเนื้อก่อนต้ม บันทึกเป็นน้ำหนักเริ่มต้น (W1) จากนั้นบรรจุตัวอย่างชิ้นเนื้อในถุงร้อน นำไปต้มในอ่างควบคุมอุณหภูมิโดยใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นานประมาณ 30 นาที หรือต้มจนกระทั่งได้อุณหภูมิใจกลางเนื้อ 70 องศาเซลเซียส จากนั้นนำถุงที่บรรจุตัวอย่างชิ้นเนื้อที่ผ่านการทำให้สุกแล้วไปทำให้เย็น โดยการแช่ในน้ำแบบให้น้ำไหลผ่านนาน 30 นาที หรือจนกระทั่งได้อุณหภูมิใจกลางเนื้อลดลงเหลือประมาณ 32 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงนำเนื้อออกจากถุง ซับน้ำที่ผิวเนื้อให้แห้งเล็กน้อย และชั่งน้ำหนักอีกครั้ง บันทึกเป็นน้ำหนักสุดท้าย (W2) นำมาคำนวณเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงสุกตามสูตรดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงสุก} = \frac{W1 - W2}{W1} \times 100$$

จากนั้นนำตัวอย่างเนื้อไปทำการวัดค่าแรงตัดผ่านเนื้อ โดยนำตัวอย่างชิ้นเนื้อที่เย็นแล้วมาตัดตามแนวยาวของเส้นใยกล้ามเนื้อเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด กว้าง×ยาว×สูง เท่ากับ 1×3×1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ตัวอย่างละ 10 ชิ้น แล้วนำไปวัดค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (Warner-Bratzler shear force) ด้วยเครื่อง Instron Universal Testing Machine Model 2519-104; Instron Corporation, USA โดยกำหนดหน่วยเป็นกิโลกรัม

3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบอิทธิพลของปัจจัยที่ศึกษา แบ่งออกเป็น ปัจจัยแรก (A) คือ ปริมาณสารแรคโตพามีนในสูตรอาหาร มี 3 ระดับ ได้แก่ 0 20 และ 40 ppm ปัจจัยที่สอง (B) คือ เพศของสุกรทดลอง มี 2 เพศ คือ เพศเมีย และเพศผู้ตอน และศึกษาอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสอง โดยใช้สถิติแบบหุ่นเส้นตรงทั่วไป (General linear model; GLM) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในรูปของ Least Square Mean (LSM) โดยใช้ pdiff ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป โดยมีแบบหุ่นทางสถิติ ดังนี้

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + A_i B_j + \epsilon_{ijk}$$

โดยที่ Y_{ijk} = ค่าสังเกตของสิ่งทดลองที่ ij ซ้ำที่ k

μ = ค่าเฉลี่ยทั้งหมดของค่าสังเกตที่ต้องการศึกษา

A_i = อิทธิพลของสารแรคโตพามีนที่ i เมื่อ i = 1, 2, 3

B_j = อิทธิพลของเพศสุกรที่ j เมื่อ j = 1, 2

$A_i B_j$ = อิทธิพลร่วมของสารแรคโตพามีนที่ i และเพศของสุกรที่ j

ϵ_{ijk} = ค่าความคาดเคลื่อนในสิ่งทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิจารณ์

4.1 ผลการศึกษาคุณภาพซากสุกรขุน

จากการศึกษาการเสริมสารแรคโตพามีนในอาหารสุกรขุนต่อคุณภาพซาก พบว่าสุกรที่ได้รับสารแรคโตพามีนที่ระดับ 20 และ 40 ppm มีน้ำหนักมีชีวิตสูงกว่าสุกรกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และสุกรกลุ่มที่ได้รับสารแรคโตพามีนมีเปอร์เซ็นต์เนื้อแดงสูงกว่า ($P<0.05$) สุกรกลุ่มควบคุม โดยมีเปอร์เซ็นต์เนื้อแดงของสุกรกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่ได้รับสารแรคโตพามีนที่ระดับ 20 และ 40 ppm เท่ากับ 48.10 51.50 และ 51.70 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แต่มีเปอร์เซ็นต์ไขมันของกลุ่มสุกรที่ได้รับสารแรคโตพามีน (5.10 เปอร์เซ็นต์) ที่ต่ำกว่า ($P<0.05$) สุกรกลุ่มควบคุม (5.6 เปอร์เซ็นต์) ขณะที่น้ำหนักซากอุ่น น้ำหนักซากเย็น ความยาวช่องท้อง เปอร์เซ็นต์ซากอุ่น เปอร์เซ็นต์กระดูก เปอร์เซ็นต์เบคอน พื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน ความหนาไขมันสันหลัง ความหนาไขมันบริเวณซี่โครงที่ 10-11 สีของเนื้อ สีไขมัน และคะแนนไขมันแทรก ของสุกรทั้ง 3 กลุ่มการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (ตารางที่ 4.1) จากการรายงานของ Gerlemann *et al.* (2013) พบว่าสุกรที่ได้รับสารแรคโตพามีนที่ระดับ 7.4 ppm มีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น 4.47 กิโลกรัม ($P<0.0001$) เมื่อเทียบกับสุกรกลุ่มควบคุม และสุกรที่ได้รับแรคโตพามีนมีเปอร์เซ็นต์ซากดีขึ้น ($P<0.0001$) มีพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันใหญ่ขึ้น ($P<0.0001$) มีปริมาณเนื้อแดงเพิ่มขึ้น ($P<0.0001$) และมีไขมันสันหลังลดลง ($P<0.001$) เมื่อเทียบกับสุกรกลุ่มควบคุม ในขณะที่ Patience *et al.* (2009) พบว่าการเสริมแรคโตพามีนที่ระดับ 5 ppm ไม่มีผลต่อน้ำหนักซากและเปอร์เซ็นต์ซาก ($P>0.05$) แต่มีผลทำให้ความหนาไขมันสันหลังลดลง ($P<0.05$) มีปริมาณเนื้อแดงเพิ่มขึ้น 1 เปอร์เซ็นต์ ($P<0.01$) และมีพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันใหญ่ขึ้นเช่นกัน ($P<0.05$)

จากการศึกษาอิทธิพลของเพศพบว่าเพศมีผลต่อปริมาณไขมันในซากและพื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน สุกรเพศผู้ตอนมีเปอร์เซ็นต์ไขมันสูงกว่าสุกรเพศเมีย แต่พื้นที่หน้าตัดเนื้อสันของสุกรเพศเมียสูงกว่าสุกรเพศผู้ตอน ($P<0.05$) สอดคล้องกับการทดลองของ Hinson *et al.* (2012) พบว่ากลุ่มสุกรที่ได้รับสารแรคโตพามีนจะมีน้ำหนักซากเพิ่มขึ้น 3 เปอร์เซ็นต์ ($P<0.01$) และมีพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันเพิ่มขึ้น 3 เปอร์เซ็นต์ ($P<0.05$) เช่นกัน นอกจากนี้ยังมีเปอร์เซ็นต์ซากเพิ่มขึ้น 1 เปอร์เซ็นต์ ($P<0.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม และในสุกรที่ได้รับแรคโตพามีนเพศเมียมีพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันมากกว่าเพศผู้ตอน 3.1 มิลลิเมตร ($P<0.01$) มีไขมันสันหลังตำแหน่งซี่โครงซี่ที่ 10 น้อยกว่า 3.56 มิลลิเมตร ($P<0.01$) และมีเปอร์เซ็นต์เนื้อแดงมากกว่า 2 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับสุกรเพศผู้ตอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลของการเสริมแรคโตพามีนต่อเปอร์เซ็นต์ซากและเปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนที่ได้จากการตัดแต่งของสุกรขุน

ลักษณะที่ศึกษา[1]	Ractopamine (RAC)			Sex		P-value		
	0 ppm	20 ppm	40 ppm	Gilts	Barrows	RAC	Sex	RAC*Sex
น้ำหนักมีชีวิต (กก.)	100.50^{b}	103.30^{a}	104.70^{a}	101.60^{x}	104.10^{y}	P<0.05	P<0.05	NS
น้ำหนักซากอุ่นซีกซ้าย (กก.)	39.49	40.54	40.57	40.21	40.19	NS	NS	NS
น้ำหนักซากอุ่นซีกขวา (กก.)	38.84	39.58	39.78	39.06	39.74	NS	NS	NS
น้ำหนักซากเย็นซีกซ้าย (กก.)	37.64	38.31	38.35	37.72	38.48	NS	NS	NS
ความยาวซาก (ซม.)	101.10^{a}	98.60^{b}	97.50^{b}	99.30	98.70	P<0.05	NS	NS
ความยาวช่องท้อง (ซม.)	84.97	82.93	81.70	83.46	82.93	NS	NS	NS
เปอร์เซ็นต์ซากอุ่น	76.12	77.89	78.12	77.05	77.71	NS	NS	NS
เปอร์เซ็นต์เนื้อแดง	48.10^{b}	51.50^{a}	51.70^{a}	51.06	49.76	P<0.05	NS	NS
เปอร์เซ็นต์กระดูก	6.60	6.21	6.21	6.23	6.46	NS	NS	NS
เปอร์เซ็นต์เบคอน	6.79	6.88	6.75	6.84	6.73	NS	NS	NS
เปอร์เซ็นต์ไขมัน	5.60^{a}	5.10^{b}	5.10^{b}	5.09^{y}	5.42^{x}	P<0.05	P<0.05	P<0.05
พื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน (ซม.^{2})	42.70	44.90	46.40	47.20^{x}	42.10^{y}	NS	P<0.05	NS
ความหนาไขมันสันหลัง (ซม.)	0.99	1.05	0.95	0.98	1.02	NS	NS	NS
ความหนาไขมัน side fat[2](ซม.)	0.71	0.56	0.59	0.62	0.62	NS	NS	NS
สีเนื้อ	1.94	2.01	1.95	2.04	1.90	NS	NS	NS
สีไขมัน	1.28	1.30	1.32	1.52^{x}	1.08^{y}	NS	P<0.05	NS
คะแนนไขมันแทรก	1.49	1.18	1.23	1.25	1.35	NS	NS	NS

[1]คำนวณด้วย Analysis of covariance โดยใช้น้ำหนักมีชีวิตเป็น covariate

[2]ความหนาไขมัน side fat ซี่โครงที่ 10-11

[a,b]ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันเนื่องมาจากอิทธิพลของการเสริมแรคโตพามีน (P<0.05)

[x,y] ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันเนื่องมาจากอิทธิพลของเพศ (P<0.05)

ที่มา : ศูนย์วิจัยและพัฒนาสุกร อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา (2560)

4.2 ผลของการศึกษาปริมาณการแสดงออกของ MHC isoforms

จากการศึกษาการเสริมสารแรคโตพามีนในอาหารสุกรขุนต่อปริมาณการแสดงออกของ MHC isoforms พบว่าปริมาณการแสดงออกของยีน MHC I ของสุกรกลุ่มควบคุมต่ำกว่าสุกรที่ได้รับสารแรคโตพามีนทั้งที่ระดับ 20 และ 40 ppm (P<0.01) มีปริมาณการแสดงออกของยีน MHC IIa ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุกรที่ได้รับสารแรคโตพามีนที่ระดับ 40 ppm สูงที่สุด (P<0.01) ปริมาณการแสดงออกของยีน MHC IIx ของสุกรกลุ่มควบคุมสูงกว่าสุกรที่ได้รับสารแรคโตพามีนทั้งที่ระดับ 20 และ 40 ppm (P<0.01) และจากการศึกษาพบว่ามีปริมาณการแสดงออกของยีน MHC IIb ของสุกรกลุ่มที่ได้รับสารแรคโตพามีนที่ระดับ 40 ppm สูงกว่าสุกรกลุ่มควบคุม (P<0.05) ในขณะที่สุกรที่ได้รับสารแรคโตพามีนที่ระดับ 20 ppm มีปริมาณไม่ต่างจากสุกรกลุ่มที่ได้รับสารแรคโตพามีนที่ระดับ 40 ppm (P>0.05) ดังตารางที่ 4.2 แต่จากการศึกษาของ Gunawan *et al.* (2007) พบว่าแรคโตพามีนไม่มีผลต่อปริมาณการแสดงออกของยีน MHC I และ Aalhus *et al*. (1992) รายงานว่าแรคโตพามีนไม่มีผลต่อขนาดของเส้นใยกล้ามเนื้อ type I ของสุกร Gunawan *et al.* (2007) พบว่าปริมาณการแสดงออกของยีน MHC IIx จะลดลง แต่ MHC IIb จะเพิ่มขึ้น

การศึกษาอิทธิพลของเพศ พบว่าไม่มีผลต่อปริมาณการแสดงออกของยีน MHC I MHC IIx และ MHC IIb แต่มีผลปริมาณการแสดงออกของยีน MHC IIa โดยเพศผู้ตอนมีปริมาณการแสดงออกมากกว่าเพศเมีย (P<0.05) นอกจากนี้ยังพบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างแรคโตพามีนและเพศมีผลต่อปริมาณการแสดงออกของยีน MHC IIa และ MHC IIx โดยสุกรเพศผู้ตอนที่ได้รับแรคโตพามีนที่ระดับ 40 ppm มีปริมาณการแสดงออกของยีน MHC IIa สูงที่สุด (P<0.05) และสุกรเพศผู้ตอนในกลุ่มควบคุมมีปริมาณการแสดงออกของยีน MHC IIx สูงที่สุด (P<0.05) ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 ผลของการเสริมแรคโตพามีนต่อปริมาณการแสดงออกของยีน MHC ชนิดต่างๆ

ปริมาณการ	Ractopamine (RAC)			Sex		P-value		
แสดงออกของยีน	0 ppm	20 ppm	40 ppm	Gilts	Barrows	RAC	Sex	RAC*Sex
MHC I	0.46^{b}	0.94^{a}	1.16^{a}	0.89	0.83	0.004	0.709	0.455
MHC IIa	2.48^{b}	4.47^{b}	16.44^{a}	6.97^{y}	8.63^{x}	<0.0001	0.020	0.006
MHC IIx	33.58^{a}	23.55^{b}	5.30^{c}	20.07	21.54	<0.0001	0.647	0.048
MHC IIb	63.48^{b}	71.04^{ab}	77.10^{a}	72.08	69.01	0.011	0.368	0.090

^{a,b} ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันเนื่องมาจากอิทธิพลของการเสริมแรคโตพามีน (P<0.05)

^{x,y} ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันเนื่องมาจากอิทธิพลของเพศ (P<0.05)

ที่มา : กลุ่มตรวจสอบชีววัตถุสำหรับสัตว์ กรมปศุสัตว์ (2560)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 อิทธิพลร่วมระหว่างแรคโตพามีนกับเพศในปริมาณการแสดงออกของยีน MHC ชนิดต่างๆ

ปริมาณการแสดงออกของยีน	0 ppm		20 ppm		40 ppm	
	Gilts	Barrows	Gilts	Barrows	Gilts	Barrows
MHC IIa	2.61^{c}	2.36^{c}	4.38^{c}	4.56^{c}	13.91^{b}	18.97^{a}
MHC IIx	27.10^{b}	40.05^{a}	26.78^{b}	20.31^{b}	6.34^{c}	4.27^{c}

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

ที่มา : กลุ่มตรวจสอบชีววัตถุสำหรับสัตว์ กรมปศุสัตว์ (2560)

4.3 ผลของการศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่าง

ผลจากการศึกษาการเสริมสารแรคโตพามีนในอาหารสุกรขุนต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของกล้ามเนื้อภายหลังสัตว์ตาย 45 นาทีและ 24 ชั่วโมง พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ของสุกรทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง (ตารางที่ 4.4) สอดคล้องกับการทดลองของ Fernández-Dueñas *et al.* (2008) ซึ่งรายงานว่าการเสริมแรคโตพามีนในสูตรอาหารไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างสุดท้ายในกล้ามเนื้อสันนอกสุกรสอดคล้องกับ Athayde *et al.* (2012) พบว่าการเสริมแรคโตพามีนไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของกล้ามเนื้อสันนอกที่ 45 นาทีและ 24 ชั่วโมงภายหลังสัตว์ตาย จากการทดลองของ Xiong *et al.* (2006) ซึ่งพบว่าการเสริมแรคโตพามีนที่ระดับ 20 ppm ไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง ($P>0.05$) ของกล้ามเนื้อภายหลังสัตว์ นอกจากนี้ Carr *et al.* (2005a) รายงานว่าค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 45 นาทีของสุกรกลุ่มที่ได้รับแรคโตพามีน 20 ppm (pH=6.26) มีค่ามากกว่ากลุ่มสุกรที่ได้รับแรคโตพามีน 10 ppm (pH=6.09) และสุกรกลุ่มควบคุม (pH=6.12) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 24 ชั่วโมงของสุกรกลุ่มที่ได้รับแรคโตพามีนนั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อเทียบกับสุกรกลุ่มควบคุมเช่นเดียวกับการทดลองของ Carr *et al.* (2005b) ซึ่งรายงานว่าการเสริมแรคโตพามีนในสูตรอาหารที่ระดับ 10 ppm ไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างที่เวลา 45 นาที และ 24 ชั่วโมงภายหลังสัตว์ตายภายในกล้ามเนื้อสันนอกสุกร

การศึกษาอิทธิพลของเพศรวมถึงอิทธิพลร่วมระหว่างแรคโตพามีนและเพศ พบว่าไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของกล้ามเนื้อภายหลังสัตว์ตายทั้ง 45 นาทีและ 24 ชั่วโมง ($P>0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลของการเสริมแรคโตพามีนต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของกล้ามเนื้อภายหลังสัตว์ตาย 45 นาทีและ 24 ชั่วโมง

ลักษณะที่	Ractopamine (RAC)			Sex		P-value		
ศึกษา	0 ppm	20 ppm	40 ppm	Gilts	Barrows	RAC	Sex	RAC*Sex
pH 45 นาที	5.93	5.93	5.98	5.94	5.95	0.774	0.848	0.793
pH 24 ชั่วโมง	5.57	5.62	5.50	5.58	5.55	0.327	0.571	0.207

4.4 ผลของการศึกษาค่าสีของเนื้อ

จากการศึกษาการเสริมสารแรคโตพามีนในอาหารสุกรขุนต่อค่าสีของเนื้อ พบว่าค่า L* ของสุกรทั้ง 3 กลุ่มการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) แต่ในขณะที่ค่า a* ของสุกรกลุ่มที่ไม่ได้รับสารแรคโตพามีนมีค่ามากกว่ากลุ่มที่ได้รับสารแรคโตพามีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยค่า a* ของสุกรกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่ได้รับสารแรคโตพามีนที่ระดับ 20 และ 40 ppm มีค่า 8.59 6.95 และ 6.17 ตามลำดับ ซึ่งการเสริมสารแรคโตพามีนมีผลทำให้ค่า a* ลดลงสอดคล้องกับผลการทดลองของปริมาณการแสดงออกของยีน MHC IIb ที่เพิ่มขึ้น (P<0.05) ในกลุ่มสุกรที่ได้รับสารแรคโตพามีนเมื่อเทียบกับสุกรกลุ่มควบคุม และค่า b* ของสุกรกลุ่มที่ไม่ได้รับสารแรคโตพามีนมีค่ามากกว่าสุกรกลุ่มที่ได้รับสารแรคโตพามีนที่ระดับ 40 ppm อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) (ตารางที่ 4.5) แต่ในขณะที่คะแนนไขมันแทรกในเนื้อนั้นไม่แตกต่างกัน (P>0.05) ซึ่ง Kerry *et al.* (2002) รายงานว่าค่า b* มีความสัมพันธ์กับปริมาณไขมันแทรกในเนื้อ จากการศึกษาของ Athayde *et al.* (2012) รายงานว่าแรคโตพามีนมีผลทำให้ค่า a* ลดลงและ Carr *et al.* (2005a) พบว่าทั้งในกล้ามเนื้อสันนอกและกล้ามเนื้อสะโพกของสุกรที่เสริมสารแรคโตพามีนที่ระดับ 20 ppm มีค่า a* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับสุกรกลุ่มควบคุม โดยการลดลงของค่า a* นั้นเนื่องจากอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงของเส้นใยกล้ามเนื้อจากชนิด intermediate fibers (Type IIa) ไปเป็นชนิด white fibers (Type IIb) และการที่ค่า a* ลดลงนั้นเป็นผลมาจากการที่เส้นใยกล้ามเนื้อมีการขยายขนาดของเซลล์ให้ใหญ่ขึ้น (hypertrophy) นอกจากนี้การที่ค่า a* ลดลงเมื่อมีการเสริมแรคโตพามีนนั้นยังแสดงถึงปริมาณของออกซีไมโอโกลบินภายในกล้ามเนื้อที่ลดลงด้วย ค่า L* ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) สอดคล้องกับการทดลองของ Fernández-Dueñas *et al.* (2008) และ Athayde *et al.* (2012) ที่พบว่าแรคโตพามีนไม่มีผลต่อค่า L* ในเนื้อสุกร นอกจากนี้ Carr *et al.* (2005b) พบว่าค่า b* ในเนื้อสุกรที่ได้รับอาหารที่เสริมแรคโตพามีนระดับ 10 ppm น้อยกว่าสุกรกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยมีค่าเท่ากับ 4.99 และ 5.85 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาอิทธิพลของเพศรวมถึงอิทธิพลร่วมระหว่างแรคโตพามีนและเพศ พบว่าไม่มีผลต่อค่าสีของเนื้อ (P>0.05)

ตารางที่ 4.5 ผลของการเสริมแรคโตพามีนต่อค่าสีของเนื้อ

ค่าสีเนื้อ	Ractopamine (RAC)			Sex		P-value		
	0 ppm	20 ppm	40 ppm	Gilts	Barrows	RAC	Sex	RAC*Sex
L*	56.92	58.36	56.58	57.14	57.43	0.542	0.848	0.602
a*	8.59[a]	6.95[b]	6.17[b]	7.71	6.67	0.005	0.106	0.090
b*	2.44[a]	1.66[ab]	0.75[b]	1.88	1.35	0.031	0.281	0.168

[a,b] ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

4.5 ผลของการศึกษาความยาวซาร์โคเมียร์และความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อ

จากการศึกษาการเสริมสารแรคโตพามีนในอาหารสุกรขุนต่อความยาวซาร์โคเมียร์และความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อ พบว่าทั้งสองลักษณะที่ศึกษาของสุกรกลุ่มที่ไม่ได้รับสารแรคโตพามีนและกลุ่มที่ได้รับสารแรคโตพามีนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) โดยความยาวซาร์โคเมียร์ของสุกรกลุ่มที่ไม่ได้รับสารแรคโตพามีนมีความยาวซาร์โคเมียร์ 1.70 ไมโครเมตร และสุกรกลุ่มที่ได้รับสารแรคโตพามีนที่ระดับ 20 และ 40 ppm มีความยาวซาร์โคเมียร์ 1.74 และ 1.73 ไมโครเมตรตามลำดับ สำหรับความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อสุกรที่ไม่ได้รับสารแรคโตพามีนเท่ากับ 70.96 ไมโครเมตร และในกลุ่มของสุกรที่ได้รับสารแรคโตพามีนที่ระดับ 20 และ 40 ppm ยาวเท่ากับ 72.73 และ 75.75 ไมโครเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4.6) แต่ในขณะที่ Berge *et al.* (1993) รายงานว่าเคลนบูเทอรอลมีผลเล็กน้อยต่อความยาวซาร์โคเมียร์ในเนื้อลูกโค และจากการศึกษาของ Aalhus *et al.* (1992) พบว่าแรคโตพามีนมีผลทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อมีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากอัตราส่วนของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด fast white fibers เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับ Kim *et al.* (1998) ที่พบว่าไคมาเทอรอล มีผลทำให้กล้ามเนื้อสันนอกในแกะขยายขนาดของเซลล์ให้ใหญ่ขึ้น (hypertrophy) และมีอัตราส่วนของเส้นใยกล้ามเนื้อ type II ที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน

การศึกษาอิทธิพลของเพศ พบว่าไม่มีผลต่อความยาวซาร์โคเมียร์และความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อ ในด้านของอิทธิพลร่วมระหว่างแรคโตพามีนและเพศพบว่าไม่มีผลต่อความยาวซาร์โคเมียร์ แต่มีผลต่อความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อ โดยสุกรเพศผู้ตอนที่ได้ระดับแรคโตพามีนที่ระดับ 40 ppm มีความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อยาวที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(P<0.05) และสุกรเพศผู้ตอนในกลุ่มควบคุมมีความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อสั้นที่สุด (P<0.05) ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.6 ผลของการเสริมแรคโตพามีนต่อความยาวซาร์โคเมียร์และความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อ

ลักษณะที่ศึกษา	Ractopamine (RAC)			Sex		P-value		
	0 ppm	20 ppm	40 ppm	Gilts	Barrows	RAC	Sex	RAC*Sex
ความยาวซาร์โคเมียร์[1]	1.70	1.74	1.73	1.72	1.73	0.352	0.506	0.172
ความยาวเส้นผ่าศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อ[1]	70.97	72.73	75.75	73.97	72.33	0.378	0.560	0.012

[1] หน่วยไมโครเมตร

ตารางที่ 4.7 อิทธิพลร่วมระหว่างแรคโตพามีนกับเพศต่อความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อ

ลักษณะที่ศึกษา	0 ppm		20 ppm		40 ppm	
	Gilts	Barrows	Gilts	Barrows	Gilts	Barrows
ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อ (ไมโครเมตร)	76.81^{ab}	65.12^{c}	74.43^{abc}	71.02^{abc}	70.66^{bc}	80.84^{a}

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

4.6 ผลของการศึกษาปริมาณไกลโคเจน

จากการศึกษาการเสริมสารแรคโตพามีนในอาหารสุกรขุนต่อปริมาณไกลโคเจนในกล้ามเนื้อหลังสัตว์ตายภายในเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าปริมาณไกลโคเจนของสุกรกลุ่มที่ไม่ได้รับสารแรคโตพามีนมีค่ามากกว่ากลุ่มสุกรที่ได้รับสารแรคโตพามีนทั้ง 2 ระดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยสุกรกลุ่มที่ไม่ได้รับสารแรคโตพามีนมีปริมาณไกลโคเจนในกล้ามเนื้อ 32.51 ไมโครโมลต่อกรัม และกลุ่มสุกรที่ได้รับสารแรคโตพามีนที่ระดับ 20 และ 40 ppm มีปริมาณไกลโคเจนในกล้ามเนื้อ 20.43 และ 20.27 ไมโครโมลต่อกรัมตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อสุกรได้รับแรคโตพามีนในระดับที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณไกลโคเจนในกล้ามเนื้อนั้นลดลง (ตารางที่ 4.8) โดยเป็นผลมาจากแรคโตพามีนทำให้สัตว์ต้องการพลังงานสูงในการสร้างกล้ามเนื้อ ส่งผลให้มีการดึงพลังงานที่เก็บสะสมภายในกล้ามเนื้อ (ไกลโคเจน) มาใช้ (Gunawan *et al.* 2007) สอดคล้องกับการทดลองของ Araújo *et al*. (2014) ที่พบว่าปริมาณไกลโคเจนที่สะสมในกล้ามเนื้อสันนอกสุกรมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าลดลงเมื่อเสริมแรคโตพามีนในสูตรอาหารเพิ่มขึ้น (P<0.01) เนื่องจากแรคโตพามีนไปกระตุ้นให้มีการสร้างกล้ามเนื้อ ซึ่งร่างกายสัตว์ต้องการพลังงานในการสร้างกล้ามเนื้ออย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้สุกรที่ได้รับสารแรคโตพามีนนั้นมีพลังงานเก็บสะสมในรูปของไกลโคเจนภายในกล้ามเนื้อน้อยลง ซึ่ง Fernandez *et al.* (2002) รายงานว่ากล้ามเนื้อสันนอกของสุกรลูกผสมเปียแตรงและลาร์จไวท์มีปริมาณไกลโคเจนภายหลังสัตว์ตาย 45 นาทีเท่ากับ 54.7±5.2 ไมโครโมลต่อกรัม และ Lonergan *et al.* (2001) พบว่ากล้ามเนื้อสันนอกของสุกรพันธุ์ดูร็อคมีปริมาณไกลโคเจนภายหลังสัตว์ตาย 15 นาทีเท่ากับ 31.6 ไมโครโมลต่อกรัม โดย Aberle *et al.* (2001) รายงานว่าภายหลังสัตว์ตายปริมาณไกลโคเจนที่เก็บสะสมไว้ จะเกิดการสลายด้วยกระบวนการไกลโคไลซีสจะทำให้เกิดกรดแลคติกขึ้นซึ่งจะส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของเนื้อสัตว์ค่อยๆ ลดลง

การศึกษาอิทธิพลของเพศรวมถึงอิทธิพลร่วมระหว่างแรคโตพามีนและเพศ พบว่าไม่มีผลต่อปริมาณไกลโคเจนหลังสัตว์ตายภายในเวลา 1 ชั่วโมง (P>0.05)

ตารางที่ 4.8 ผลของการเสริมแรคโตพามีนต่อปริมาณไกลโคเจนหลังสัตว์ตายภายในเวลา 1 ชั่วโมง

ปริมาณไกลโคเจน	Ractopamine (RAC)			Sex		P-value		
	0 ppm	20 ppm	40 ppm	Gilts	Barrows	RAC	Sex	RAC*Sex
ปริมาณไกลโคเจน (ไมโครโมลต่อกรัม)	32.51[a]	20.43[b]	19.91[b]	23.46	24.90	0.015	0.697	0.276

[a,b] ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

4.7 ผลของการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี

ผลของการเสริมสารแรคโตพามีนในอาหารสุกรขุนต่อองค์ประกอบทางเคมี พบว่าเปอร์เซ็นต์ของความชื้น ไขมัน โปรตีน และเถ้าในกล้ามเนื้อสันนอกสุกรที่ไม่ได้รับสารแรคโตพามีนและในกลุ่มของสุกรที่ได้รับสารแรคโตพามีนที่ระดับ 20 และ 40 ppm นั้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) ในขณะที่เปอร์เซ็นต์ความชื้นของเพศเมียมากกว่าเพศผู้ตอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) (ตารางที่ 4.9) ขณะที่ Carr *et al*. (2005b) พบว่าการเสริมแรคโตพามีนที่ระดับ 10 ppm ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นและเปอร์เซ็นต์ไขมันในกล้ามเนื้อสันนอกสุกร แต่ในขณะที่การทดลองของ Carr *et al*. (2009) พบว่าการเสริมแรคโตพามีนที่ระดับ 20 ppm ทำให้เปอร์เซ็นต์ไขมันในกล้ามเนื้อลดลง ในขณะที่เปอร์เซ็นต์โปรตีนในกล้ามเนื้อนั้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับการเสริมแรคโตพามีน เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์ไขมันในซากลดลงและเปอร์เซ็นต์โปรตีนในซากเพิ่มขึ้น จากการศึกษาของ Bergen *et al.* (1989) รายงานว่าอัตราการสร้างโปรตีนภายในกล้ามเนื้อสุกรที่ได้รับสารแรคโตพามีนที่ระดับ 20 ppm (6.1 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน) มากกว่า (P<0.05) กลุ่มที่ได้รับอาหารควบคุม (4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์เซ็นต์ต่อวัน) และมีการรายงานว่าเนื้อเยื่อไขมันสุกรที่ได้รับสารแรคโตพามีนจะเพิ่มการสลายของไขมันและจะยับยั้งการสร้างกรดไขมัน (Mersmann. 1998)

การศึกษาอิทธิพลของเพศไม่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีในด้านเปอร์เซ็นต์ไขมัน โปรตีน และเถ้า สำหรับอิทธิพลร่วมระหว่างแรคโตพามีนและเพศ พบว่าไม่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมี (P>0.05)

ตารางที่ 4.9 ผลของการเสริมแรคโตพามีนต่อองค์ประกอบทางเคมี

องค์ประกอบทางเคมี	Ractopamine (RAC)			Sex		P-value		
	0 ppm	20 ppm	40 ppm	Gilts	Barrows	RAC	Sex	RAC*Sex
ความชื้น (%)	71.78	74.01	72.75	73.75[a]	71.95[b]	0.103	0.037	0.586
ไขมัน (%)	2.27	1.98	2.07	1.89	2.32	0.710	0.152	0.599
โปรตีน (%)	22.38	22.49	21.85	22.63	21.84	0.600	0.160	0.867
เถ้า (%)	1.16	1.23	1.26	1.25	1.19	0.204	0.234	0.683

[a,b] ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

4.8 ผลของการศึกษาปริมาณคอลลาเจน

จากการศึกษาการเสริมสารแรคโตพามีนในอาหารสุกรขุนต่อปริมาณคอลลาเจน พบว่าปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ของสุกรกลุ่มที่ไม่ได้รับสารแรคโตพามีนมีค่ามากกว่ากลุ่มที่ได้รับสารแรคโตพามีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยสุกรกลุ่มที่ไม่ได้รับสารแรคโตพามีนมีปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ 0.50 มิลลิกรัมต่อกรัม และสุกรกลุ่มที่ได้รับสารแรคโตพามีนที่ระดับ 20 และ 40 ppm มีปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ 0.35 และ 0.36 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และยังพบว่าปริมาณคอลลาเจนที่ไม่ละลาย คอลลาเจนรวม และเปอร์เซ็นต์คอลลาเจนที่ละลายได้ของสุกรทั้ง 3 กลุ่มการทดลองนั้นมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ดังตารางที่ 4.10 จากการรายงานของ Berge *et al.* (1993) พบว่าเคลนบูเทอรอลมีผลให้คอลลาเจนที่ละลายได้ในเนื้อลูกโคลดลง และ Dawson and Buttery (1990) รายงานว่าสารเบต้า-อะโกนิสต์ (ไคมาเทอรอล) มีผลทำให้ปริมาณคอลลาเจนรวมในเนื้อโคลดลง (P<0.05) โดยกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เสริมไคมาเทอรอลมีปริมาณคอลลาเจนรวม 15.2 และ 12.5 มิลลิกรัมต่อกรัมเนื้อสด ตามลำดับ และไคมาเทอรอลยังมีผลต่อเปอร์เซ็นต์คอลลาเจนที่ละลายได้ (P<0.05) ซึ่งกลุ่มกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เสริมไคมาเทอรอลมีเปอร์เซ็นต์คอลลาที่ละลายได้ 18.9 และ 13.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาอิทธิพลของเพศ พบว่ามีผลต่อคอลลาเจนที่ละลายได้ คอลลาเจนที่ไม่ละลาย และคอลลาเจนรวม ($P<0.05$) ในด้านอิทธิพลร่วมระหว่างแรคโตพามีนและเพศ พบว่าไม่มีผลต่อปริมาณคอลลาเจน ($P>0.05$)

ตารางที่ 4.10 ผลของการเสริมแรคโตพามีนต่อปริมาณคอลลาเจนในกล้ามเนื้อสันนอกสุกร

ลักษณะที่ศึกษา	Ractopamine (RAC)			Sex		P-value		
	0 ppm	20 ppm	40 ppm	Gilts	Barrows	RAC	Sex	RAC*Sex
คอลลาเจนที่ละลายได้[1]	0.50[a]	0.35[b]	0.36[b]	0.45[x]	0.36[y]	0.009	0.031	0.589
คอลลาเจนที่ไม่ละลาย[1]	2.77	2.40	2.26	2.70[x]	2.25[y]	0.151	0.044	0.230
คอลลาเจนรวม[1]	3.27	2.75	2.61	3.15[x]	2.60[y]	0.079	0.030	0.247
% คอลลาเจนที่ละลายได้	15.45	12.72	13.96	14.14	13.94	0.167	0.861	0.546

[1] หน่วยมิลลิกรัมต่อกรัม

[a,b] ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันเนื่องมาจากอิทธิพลของการเสริมแรคโตพามีน ($P<0.05$)

[x,y] ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันเนื่องมาจากอิทธิพลของเพศ ($P<0.05$)

4.9 ผลของการศึกษาการสลายตัวของโปรตีน troponin T

จากการศึกษาการเสริมสารแรคโตพามีนในอาหารสุกรขุนต่อการสลายตัวของโปรตีน troponin T พบว่าโดยการสลายตัวของโปรตีน troponin T จะมี polypeptide เกิดขึ้นซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุล 37 kDa และ 30 kDa ของสุกรกลุ่มที่ไม่ได้รับแรคโตพามีนและกลุ่มที่ได้รับแรคโตพามีนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.11 ขณะที่ Kretchmar *et al.* (1990) พบว่าแกะที่ได้รับสารเบต้า-อะโกนิสต์จะเกิดจากย่อยสลายในไมโอไฟบิลทำให้เกิดผลผลิตของโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุล 30 kDa ของเนื้อที่บ่มภายหลังสัตว์ตายลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม สอดคล้องกับ Koohmaraie *et al.* (1991) รายงานว่าการเสริมสารเบต้า-อะโกนิสต์ทำให้การสลายตัวของโปรตีน desmin และ troponin T ภายในกล้ามเนื้อลดลง โดยการสลายตัวของโปรตีนที่ลดลงนั้นส่งผลให้ค่าแรงตัดผ่านเนื้อเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลให้ความนุ่มของเนื้อลดลง และนอกจากนี้ Xiong *et al.* (2006) รายงานว่าแรคโตพามีนมีผลทำให้การย่อยสลายของโปรตีนในกล้ามเนื้อสุกรลดลง โดยเฉพาะโปรตีนที่มีขนาดโมเลกุล 15-45 kDa และมีผลให้ค่าแรงตัดผ่านเนื้อเพิ่มขึ้น เนื้อจึงเหนียวขึ้น

การศึกษาอิทธิพลของเพศ พบว่าไม่มีผลต่อการสลายตัวของโปรตีน troponin T ในด้านของอิทธิพลร่วมระหว่างแรคโตพามีนและเพศพบว่ามีผลต่อการสลายตัวของโปรตีน troponin T ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักโมเลกุล 30 kDa พบว่าสุกรเพศเมียที่ได้รับสารแรคโตพามีนที่ระดับ 40 ppm มีอัตราส่วนระหว่างความเข้มของแถบโปรตีน troponin T 30 kDa ต่อความเข้มของแถบโปรตีนรวมมากที่สุด ($P<0.05$) และสุกรเพศผู้ตอนที่ได้รับสารแรคโตพามีนที่ระดับ 40 ppm มีอัตราส่วนระหว่างความเข้มของแถบโปรตีน troponin T 30 kDa ต่อความเข้มของแถบโปรตีนรวมน้อยที่สุด ($P<0.05$) ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.11 ผลของการเสริมแรคโตพามีนต่อความเข้มของแถบโปรตีน troponin T และผลผลิตที่ได้จากการสลายตัวของโปรตีน troponin T

ความเข้มของ	Ractopamine (RAC)			Sex		P-value		
แถบโปรตีน	0 ppm	20 ppm	40 ppm	Gilts	Barrows	RAC	Sex	RAC*Sex
37 kDa[1]	0.87	1.08	1.14	0.98	1.08	0.282	0.463	0.946
30 kDa[2]	0.62	0.47	0.50	0.56	0.50	0.249	0.460	0.023

[1] อัตราส่วนระหว่างความเข้มของแถบโปรตีน troponin T 37 kDa ต่อความเข้มของแถบโปรตีนรวม

[2] อัตราส่วนระหว่างความเข้มของแถบโปรตีน troponin T 30 kDa ต่อความเข้มของแถบโปรตีนรวม

ตารางที่ 4.12 อิทธิพลร่วมระหว่างแรคโตพามีนกับเพศต่อความเข้มของแถบโปรตีนที่เกิดจากการสลายตัวของโปรตีน troponin T

ความเข้มของ	0 ppm		20 ppm		40 ppm	
แถบโปรตีน	Gilts	Barrows	Gilts	Barrows	Gilts	Barrows
30 kDa[1]	0.620^{ab}	0.610^{ab}	0.363^{bc}	0.568^{abc}	0.683^{a}	0.315^{c}

[1] อัตราส่วนระหว่างความเข้มของแถบโปรตีน troponin T 30 kDa ต่อความเข้มของแถบโปรตีนรวม

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

4.10 ผลของการศึกษาค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อและค่าแรงตัดผ่านเนื้อ

จากการศึกษาการเสริมสารแรคโตพามีนในอาหารสุกรขุน พบว่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษา (48 ชั่วโมง) ของสุกรที่ได้รับแรคโตพามีนและสุกรที่ไม่ได้รับแรคโตพามีนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) นอกจากนี้ในด้านของเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการทำละลายและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงสุกของสุกรทั้งกลุ่มที่ไม่ได้รับสารแรคโตพามีนและกลุ่มที่ได้รับสารแรคโตพามีนนั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ของทั้งระยะเวลาการบ่มที่ 1 วันและ 5 วัน โดยจากการทดลองของ Carr *et al.* (2005b) ซึ่งรายงานว่าการเสริมแรคโตพามีนที่ระดับ 10 ppm ในสูตรอาหารไม่มีผลต่อค่าการสูญเสียน้ำในระหว่างการเก็บรักษาของกล้ามเนื้อสันนอกสุกร และจากการทดลองของ Fernández-Dueñas *et al.* (2008) รายงานว่าการเสริมแรคโตพามีนในสูตรอาหารไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างสุดท้ายและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงสุกในกล้ามเนื้อสันนอกสุกร นอกจากนี้ Athayde *et al*. (2012) มีการรายงานว่าการเสริมแรคโตพามีนในระดับ 5 และ 10 ppm ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำในระหว่างการเก็บรักษาของกล้ามเนื้อสันนอกสุกรไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ทั้งนี้เนื่องจากอัตราส่วนของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด white fiber ที่เพิ่มขึ้น เป็นผลมาจากสุกรมีการสร้างโปรตีนในกล้ามเนื้อมากขึ้นเมื่อได้รับการเสริมสารแรคโตพามีนในอาหาร

ค่าแรงตัดผ่านเนื้อสุกรของกลุ่มที่ไม่ได้รับสารแรคโตพามีนมีค่าน้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับสารแรคโตพามีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ของทั้งระยะเวลาการบ่มที่ 1 วันและ 5 วัน โดยกลุ่มของสุกรที่ได้รับสารแรคโตพามีนที่ระดับ 20 ppm ในระยะเวลาการบ่มที่ 1 วันและ 5 วันมีค่าแรงตัดผ่านเนื้อสูงถึง 7.34 และ 6.62 กิโลกรัมตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าการเสริมสารแรคโตพามีนมีผลทำให้ความนุ่มของเนื้อลดลง (ตารางที่ 4.13) จากรายงานของ Carr *et al.* (2005a) ที่พบว่าการเสริมแรคโตพามีนที่ระดับ 10 และ 20 ppm ทำให้ค่าแรงตัดผ่านเนื้อเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกลุ่มสุกรกลุ่มควบคุม Lonergan *et al.* (2001) รายงานว่าในสุกรที่มีประสิทธิภาพการเจริญเติบโตดีจะมีการย่อยสลายโปรตีนไมโอฟิบิลาลดลง มีผลให้ค่าแรงตัดผ่านเนื้อสูงขึ้น ความนุ่มของเนื้อจึงลดลงและ Xiong *et al.* (2006) พบว่าการเสริมแรคโตพามีนที่ระดับ 20 ppm ทำให้เนื้อสุกรเหนียวขึ้น ซึ่งพบว่าการสลายตัวของโปรตีนและการทำงานของเอนไซม์ภายในกล้ามเนื้อลดลงเมื่อเทียบกับสุกรกลุ่มควบคุม นอกจากนี้ Wheeler and Koohmaraie (1992) รายงานว่าการเสริมเบต้า-อะโกนิสต์ ในสูตรอาหารสุกรทำให้เนื้อเหนียวขึ้นนั้นอาจเนื่องมาจากสารเบต้า-อะโกนิสต์ทำให้โปรตีนในกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นและการทำงานของคาลปาสเตตินที่เป็นตัวยับยั้งเอนไซม์คาลเปนซึ่งเป็นเอนไซม์หลักที่ย่อยโปรตีนภายในกล้ามเนื้อภายหลังสัตว์ตายก็เพิ่มขึ้นและ Koohmaraie *et al.* (1996) รายงานว่าการเสริมแรคโตพามีนในแกะมีผลให้การทำงานเอนไซม์คาลเปน (μ-calpain) ลดลงและการทำงานของคาลปาสเตตินเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับแกะกลุ่มควบคุม

การศึกษาอิทธิพลของเพศพบว่าไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษา เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการทำละลายและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงสุก แต่มีผลต่อค่าแรงตัดผ่านเนื้อที่ระยะเวลาการบ่ม 5 วัน ($P<0.05$) สำหรับการศึกษาอิทธิพลร่วมระหว่างแรคโตพามีนและเพศ พบว่าไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษา เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการทำละลาย เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงสุก และค่าแรงตัดผ่านเนื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 ผลของการเสริมแรคโตพามีนต่อค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อและค่าแรงตัดผ่านเนื้อ

ลักษณะที่ศึกษา	ระยะเวลาที่บ่ม (วัน)	Ractopamine (RAC)			Sex		P-value		
		0 ppm	20 ppm	40 ppm	Gilts	Barrows	RAC	Sex	RAC*Sex
การสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษา[1] (%)		5.99	5.42	4.51	5.28	5.34	0.132	0.912	0.439
การสูญเสียน้ำระหว่างการทำละลาย (%)	1	9.39	9.29	7.91	9.29	8.44	0.173	0.231	0.638
การสูญเสียน้ำระหว่างการทำละลาย (%)	5	11.29	10.86	9.20	10.52	10.39	0.170	0.894	0.861
การสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงสุก (%)	1	21.89	23.64	21.69	23.05	21.76	0.151	0.149	0.292
การสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงสุก (%)	5	21.03	22.28	21.18	22.00	20.99	0.457	0.262	0.336
ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (กิโลกรัม)	1	5.51[b]	7.34[a]	7.26[a]	6.91	6.50	0.011	0.438	0.574
ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (กิโลกรัม)	5	5.67[b]	6.62[a]	6.96[a]	6.91[x]	5.93[y]	0.022	0.012	0.314

[a,b]ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันเนื่องมาจากอิทธิพลของการเสริมแรคโตพามีน ($P<0.05$)

[x,y] ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันเนื่องมาจากอิทธิพลของเพศ ($P<0.05$)

[1]การสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษา 48 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1) จากการศึกษาผลของการเสริมแรคโตพามีนในอาหารสุกรขุน พบว่าความเป็นกรด-ด่างของกล้ามเนื้อภายหลังสัตว์ตายที่ 45 นาทีและ 24 ชั่วโมงภายหลังสัตว์ตายไม่มีความแตกต่างกัน แต่ในด้านค่าสีของเนื้อ พบว่า ค่า L* ไม่มีความแตกต่างกันของสุกรทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง สำหรับค่า a* และ b* ของสุกรกลุ่มที่ได้รับแรคโตพามีนที่ระดับ 40 ppm มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลของปริมาณการแสดงออกของยีน MHC IIb ที่พบว่ากลุ่มที่ได้รับแรคโตพามีนที่ระดับ 40 ppm มีปริมาณ MHC IIb สูงที่สุด ส่งผลให้ค่า a* ของเนื้อมีค่าน้อยกว่ากลุ่มทดลองอื่น และจากการศึกษาในครั้งนี้ไม่พบอิทธิพลของเพศต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าสีของเนื้อ

2) การเสริมแรคโตพามีนและเพศของสุกรไม่มีผลต่อความยาวซาร์โคเมียร์และความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อ แต่พบอิทธิพลร่วมระหว่างแรคโตพามีนและเพศต่อความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อ ซึ่งการเสริมแรคโตพามีนที่ระดับ 40 ppm ส่งผลให้สุกรเพศผู้ตอนมีความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อมากที่สุด

3) ปริมาณไกลโคเจนของสุกรที่ได้รับแรคโตพามีนมีค่าน้อยกว่ากลุ่มควบคุม แต่องค์ประกอบทางเคมี พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน สำหรับปริมาณคอลลาเจน พบว่าคอลลาเจนที่ละลายได้ในกลุ่มควบคุมมีค่ามากที่สุด และการสลายตัวของโปรตีน troponin T พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน แต่พบอิทธิพลร่วมระหว่างแรคโตพามีนและเพศของการสลายตัวของโปรตีน troponin T ที่น้ำหนักโมเลกุล 30 kDa ส่วนอิทธิพลของเพศพบว่ามีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้น คอลลาเจนที่ละลายได้ คอลลาเจนที่ไม่ละลาย และคอลลาเจนรวม โดยเพศผู้ตอนมีปริมาณที่ต่ำกว่าเพศเมีย

4) ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อพบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติของสุกรทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง แต่ค่าแรงตัดผ่านเนื้อของกลุ่มที่ได้รับแรคโตพามีนมีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุม โดยพบว่าผลผลิตขนาด 30 kDa ของสุกรเพศผู้ตอนที่ได้รับสารแรคโตพามีนที่ระดับ 40 ppm มีค่าน้อยที่สุด นอกจากนี้ปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มสุกรที่ได้รับและไม่ได้รับสารแรคโตพามีน จึงเป็นเหตุผลที่พอจะกล่าวได้ว่าค่าแรงตัดผ่านเนื้อของกลุ่มสุกรที่ได้รับสารแรคโตพามีนสูงขึ้น และจากการศึกษาอิทธิพลด้านเพศ พบว่าไม่มีอิทธิพลต่อค่าแรงตัดผ่านเนื้อที่ระยะเวลาการบ่ม 1 วัน แต่ค่าแรงตัดผ่านเนื้อที่ระยะเวลาการบ่ม 5 วันของสุกรเพศเมียสูงกว่าสุกรเพศผู้ตอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

การเสริมแรคโตพามีนในอาหารสุกรขุนมีผลทำให้ค่าแรงตัดผ่านเนื้อสูงขึ้น ซึ่งเป็นค่าที่วัดได้จากเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ ถ้าเนื้อมีค่าแรงตัดผ่านเนื้อสูงขึ้น เนื้อก็อาจจะมีความเหนียวเพิ่มขึ้น และเพื่อเป็นการยืนยันว่าเนื้อสุกรที่เสริมสารแรคโตพามีนมีผลให้เนื้อเหนียวขึ้นจริงนั้น ผู้บริโภคจะพบความแตกต่างหรือไม่ จึงควรมีการศึกษาการประเมินทางประสาทสัมผัสเพิ่มเติม เพื่อจะได้เป็นข้อมูลยืนยันอีกประการหนึ่ง

ขณะที่ผลการทดลองในครั้งนี้ของศูนย์วิจัยและพัฒนาสุกร อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา พบว่าการใช้แรคโตพามีนมีผลต่อการเพิ่มปริมาณเนื้อแดงในซาก แต่เมื่อพิจารณาถึงคุณภาพเนื้อ ด้านความนุ่ม พบว่าการใช้สารแรคโตพามีน ทำให้เนื้อเหนียวขึ้น ดังนั้นการใช้สารแรคโตพามีนจึงไม่เหมาะสมสำหรับผู้ประกอบการที่เน้นตลาดในด้านความนุ่มของเนื้อสุกร แต่ทั้งนี้ผู้บริโภคส่วนใหญ่ขณะตัดสินใจซื้อเนื้อสุกร ไม่ทราบว่าเนื้อนั้นนุ่มหรือไม่ จะตัดสินใจซื้อเนื้อสุกร โดยดูจากสีของเนื้อเป็นหลัก แต่ถ้าผู้ประกอบการมุ่งเน้นปริมาณเนื้อแดงในซากสุกร การใช้สารแรคโตพามีนจะส่งผลดีต่อผู้ประกอบการ คือ ทำให้ซากมีปริมาณเนื้อแดงที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงผลเสียต่อสุขภาพของผู้บริโภค และสวัสดิภาพสัตว์ด้วยว่าเหมาะสมหรือไม่

จากผลการวิจัยในการใช้สารแรคโตพามีนที่ระดับ 40 ppm พบว่าไม่มีผลที่แตกต่างกันทั้งคุณภาพซาก (ศูนย์วิจัยและพัฒนาสุกร อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา) และคุณภาพเนื้อกับการใช้สารแรคโตพามีนที่ระดับ 20 ppm ซึ่งเป็นระดับสูงสุดที่อนุญาตให้ใช้ในบางประเทศ ดังนั้นการใช้สารแรคโตพามีนมากเกินไป นอกจากไม่มีผลต่อการเพิ่มสมรรถภาพการผลิต อัตราการเจริญโต และปริมาณเนื้อแดงแล้ว ยังทำให้สิ้นเปลืองและเพิ่มต้นทุนค่าอาหารของสุกรเพิ่มขึ้นอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กลุ่มตรวจสอบชีววัตถุสำหรับสัตว์ กรมปศุสัตว์. 2560. **ร่างรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการศึกษาผลของการใช้ Ractopamine ในสุกรขุน.** สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช.).

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

จันทร์พร เจ้าทรัพย์. 2554. **เทคโนโลยีการฆ่าสัตว์.** กรุงเทพฯ : คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

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

ปรีชา อินนุรักษ์. 2556. "สารเร่งเนื้อแดงมหันตภัยที่ต้องระวัง." **วารสารสัตวบาล.** 23(105) : 12-13.

วราพันธุ์ จินตณวิชญ์. 2555. "แรคโตพามีนห้ามใช้หรือให้ใช้." **วารสารปศุสัตว์เกษตรศาสตร์.** 39 (154) : 30-33.

ศูนย์วิจัยและพัฒนาสุกร อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา. 2560. **ร่างรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการศึกษาผลของการใช้ Ractopamine ในสุกรขุน.** สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช.).

สมาคมธุรกิจเวชภัณฑ์สัตว์. 2555. "**แรคโตพามีนหายนะธุรกิจสุกรไทย.**" [Online]. Available : http://www.thaiahpa.com/article/55. 23 กุมภาพันธ์ 2558.

สัญชัย จตุรสิทธา. 2550. **การจัดการเนื้อสัตว์.** พิมพ์ครั้งที่ 4. เชียงใหม่ : คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

Aalhaus, J.L., Schaefer, A.L., Murray, A.C. and Jones, S.D.M. 1992. "The Effect of Ractopamine on Myofiber Distribution and Morphology and Their Relationship to Meat Quality in Swine." **Meat Sci.** 31(4) : 397-409.

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

Almeida, V.V., Nuñez, A.J.C. and Miyada, V.S. 2012. "Ractopamine as a Metabolic Modifier Feed Additive for Finishing Pigs: a Review." **Braz. Arch. Biol. Technol.** 55(3) : 445-456.

Andretta, I., Kipper, M., Lehnen, C.R., Demori, A.B., Remus, A. and Lovatto, P.A. 2012. "Meta-Analysis of the Relationship between Ractopamine and Dietary Lysine Levels on Carcass Characteristics in Pigs." **Lives. Sci**. 143(1) : 91-96.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

Apple, J.K. 2012. "**The Influence of Paylean (Ractopamine Hydrochloride) on Pork Quality.**" [Online]. Available : http://porkgateway.org/wp-content/uploads/2015/07/influence-of-paylean-on-pork-quality1.pdf. 9 July 2016.

Araújo, T.S., Jardim Porto, L.C., Guilhen Mario, È., Pereira, L.J., Da Silva Ferreira, M.S., Zangerônimo, M.G., Napimoga, M.H., Botion, L.M. and De Sousa, R.V. 2014. "Ractopamine Effect on Lipid Metabolism and GLUT4 amount of Finishing Pigs." **Turk. J. Vet. Anim. Sci.** 38 : 54-62.

Athayde, N.B., Dalla Costa, O.A., Roca, R.O., Guidoni, A.L., Ludtke, C.B. and Lima, G.J.M.M. 2012. "Meat Quality of Swine Supplemented with Ractopamine under Commercial Conditions in Brazil." **J. Anim. Sci.** 90 : 4604-4610.

Avendaño-Reyes, L., Torres-Rodríguez, V., Meraz-Murillo, F.J., Pérez-Linares, C., Figueroa-Saavedra, F. and Robinson, P.H. 2006. "Effect of Two ß-Adrenergic Agonists on Finishing Performance, Carcass Characteristics, and Meat Quality of Feedlot Steers." **J. Anim. Sci.** 84 : 3259-3265.

Bailey, A.J. and Light, N.D. 1989. **Connective tissue in meat and meat products.** London : Elsevier Applied Science.

Berge, Ph., Culioli, J. and Ouali, A. 1993. "Performance, Muscle Composition and Meat Texture in Veal Calves Administered a ß- Agonists (Clenbuterol)." **Meat Sci.** 33(2) : 191-206.

Bergen, W.G., Johnson, S.E., Skjaerlund, D.M., Babiker, A.S., Ames, N.K., Merkel, R.A. and Anderson, D.B. 1989. "Muscle Protein Metabolism in Finishing Pigs Fed Ractopamine." **J. Anim. Sci.** 67 : 2255-2262.

Boccard, R., Buchter, L., Casteels, M., Cosentino, E., Dransfield, E. and Hood, D.E. 1981. "Procedures for Measuring Meat Quality Characteristics in Beef Production Experiments." **Livest. Prod. Sci.** 8 : 385-397.

Carr, S.N., Hamilton, D.N., Miller, K.D., Schroeder, A.L., Fernández-Dueñas, D., Killefer, J., Ellis, M. and McKeith, F.K. 2009. "The Effect of Ractopamine Hydrochloride (Paylean®) on Lean Carcass Yields and Pork Quality Characteristics of Heavy Pigs Fed Normal and Amino Acid Fortified Diets." **Meat Sci.** 81 : 533-539.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Carr, S.N., Ivers, D.J., Anderson, D.B., Jones, D.J., Mowrey, D.H., England, M.B., Killefer, J., Rincker, P.J. and McKeith., F.K. 2005a. "The Effects of Ractopamine Hydrochloride on Lean Carcass Yields and Pork Quality Characteristics." **J. Anim. Sci.** 83 : 2886-2893.

Carr, S.N., Rincker, P.J., Killefer, J., Baker, D.H., Ellis, M. and McKeith, F.K. 2005b. "Effects of Different Cereal Gains and Ractopamine Hydrochloride on Performance Carcass Characteristics and Fat Quality in Late-Finishing Pigs." **J. Anim. Sci.** 83 : 223-230.

Centner, T.J., Alvey, J.C. and Stelzleni, A.M. 2014. "Beta Agonists in Livestock Feed : Status, Health Concerns, and International Trade." **J. Anim. Sci.** 92 : 4234-4240.

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

Dawson, J.M. and Buttery, P.J. 1990. "Muscle Composition of Steers Treated with the ß-agonist, Cimaterol." **Meat Sci.** 28(4) : 289-297.

Dikeman, M.E. 2007. "Effect of Metabolic Modifiers on Carcass Traits and Meat Quality." **Meat Sci.** 77 : 121-135.

Dong, Y., Xia, X., Wang, X., Ding, S., Li, X., Zhang, S., Jiang, H., Liu, J., Li, J., Feng, Z., Ye, N., Zhou, M. and Shen, J. 2011. "Validation of an Ultra-Performance Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry Method for Determination of Ractopamine: Application to Residue Depletion Study in Swine." **Food Chem.** 127 : 327-332.

Dreiling, C.E., Brown, D.E., Casale, L., and Kelly, L. 1987. "Muscle Glycogen: Comparison of Iodine Binding and Enzyme Digestion Assays and Application to Meat Samples." **Meat Sci.** 20 : 167-177.

Fernández-Dueñas, D.M., Myers, A.J., Scramlin, S.M., Parks, C.W., Carr, S.N., Killefer, J. and McKeith, F.K. 2008. "Carcass, Meat Quality, and Sensory Characteristics of Heavy Body Weight Pigs Fed Ractopamine Hydrochloride (Paylean)." **J. Anim. Sci.** 83 : 3544-3550.

Fernandez, X., Neyraud, E., Astruc, T. and Sante, V. 2002. "Effects of Halothane Genotype and Pre-Slaughter Treatment on Pig Meat Quality. Part 1. Post Mortem Metabolism, Meat Quality Indicators and Sensory Traits of M. Longissimus Lumborum." **Meat Sci.** 62 : 429–437.

Ferreira, A.S., Júnior, G.M.O., Silva, F.C.O., Oliveira, R.F.M. and Silva, E.P. 2013. "Ractopamine for Pigs: a Review about Nutritional Requirements." **J. Basic Appl. Sci.** 9 : 276-285.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Gerlemann, G.D., Allee, G.L., Boler, D.D., Ritter, M.J., Pierdon, M.K. and Carr, S.N. 2013. "The Effect of Ractopamine Hydrochloride Feeding Programs on Growth and Carcasses of Finishing Pigs Marketed in 2 Different Groups." **Prof. Anim. Sci.** 29 : 271-277.

Gunawan, A.M., Richert, B.T., Schinckel, A.P., Grant, A.L. and Gerrard, D.E. 2007. "Ractopamine Induces Differential Gene Expression in Porcine Skeletal Muscles. **J. Anim. Sci.** 85 : 2115 - 2124.

Hill, F. 1966. "The Solubility of Intramuscular Collagen in Meat Animals of Various Ages." **J. Food Sci.** 31 : 161-166.

Hinson, R.B., Galloway, H.O., Boler, D.D., Ritter, M.J., McKeith, F.K. and Carr, S.N. 2012. "Effect of Feeding Ractopamine Paylean on Growth and Carcass Traits in Finishing Pigs Marketed Equal Slaughter Weights." **Prof. Anim. Sci.** 28 : 657-663.

Ho, C.Y., Stromer, M.H., Robson, R.M. 1994. "Indentification of the 30 kDa Polypeptide in Post Mortem Skeletal Muscle as a Degradation Product of Troponin-T." **Biochimie.** 76 : 369-375.

Honikel, K.O. 1998. "Reference Methods for the Assessment of Physical Characteristics of Meat." **Meat Sci.** 49(4) : 447 – 457.

Hui, Y.H., Nip, W.K., Rogers, R.W. and Young, O.A. 2001. **Meat science and applications.** New York : Marcel Dekker, Inc.

Johnson, B.J., Smith, B.S. and Chung, K.Y. 2014. "Historical Overview of the Effect of ß-Adrenergic Agonists on Beef Cattle Production." **Asian Australas. J. Anim. Sci.** 27(5) : 757-766.

Kerry, J.P., Kerry, J.F. and Ledward, D. 2002. **Meat processing: improving quality.** New York : CRC Press.

Kim, Y.S., Lee, Y.B. and Ashmore, C.R. 1998. "Effect of Cimaterol on Carcass and Skeletal Muscle Characteristics under Ad Libitum and Restricted Feeding Conditions in Lambs." **Asian Australas. J. Anim. Sci.** 1(4) : 223-232.

Koohmaraie, M., Shackelford, S.D. and Wheeler, T.L. 1996. "Effect of ß-Adrenergic Agonist (L644, 969) and Male Sex Condition on Muscle Growth and Meat Quality of Callipyge Lamb." **J. Anim. Sci.** 74 : 70-79.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Koohmaraie, M., Shackelford, S.D., Muggli-Cockett, N.E. and Stone, R.T. 1991. "Effects of ß-Adrenergic Agonist (L644,969) on Muscle Growth, Endogenous Proteinase Activities, and Postmortem Proteolysis in Wether Lambs." **J. Anim. Sci.** 69 : 4823-4835.

Kretchmar, D.H., Hathaway, M.R., Epley, R.J. and Dayton, W.R. 1990. "Alterations in Postmortem Degradation of Myofibrillar Proteins in Muscle of Lambs Fed ß-Adrenergic Agonist." **J. Anim. Sci.** 68 : 1760-1772.

Lana, A. and Zolla, L. 2016. "Proteolysis in Meat Tenderization from the Point of View of each Single Protein: A Proteomic Perspective." **J. Proteomics.** 147 : 85-97.

Lawrie, R.A. and Ledward, D.A. 2006. **Lawrie's Meat Science.** 7th ed. Cambridge : Woodhead Publishing Ltd.

Lawrie, R.A. 1991. **Meat science.** 5th ed. Pergamum Press : oxford. UK.

Lonergan, S.M., Huff-Lonergan, E., Rowe, L.J., Kuhlers, D.L. and Jungst, S.B. 2001. "Selection for Lean Growth Efficiency in Duroc Pigs Influences Pork Quality." **J. Anim. Sci.** 79 : 2075-2085.

Mersmann, H.J. 1998. "Overview of the Effect of Beta-Adrenergic Receptor Agonist on Animal Growth Including Mechanisms of Action." **J. Anim. Sci.** 76(1) : 160-172.

Mill, S.E., Kissel, J., Bidwell, C.A. and Smith, D.J. 2003. "Stereoselectivity of Porcine Beta-Adrenergic Receptor for Ractopamine Stereoisomers." **J. Anim. Sci.** 81 : 122-129.

Muroya, S., Ertbjerg, P., Pomponio, L. and Christensen, M. 2010. "Desmin and Troponin T are Degraded Faster in Type IIb Muscle Fibers than in Type I Fibers During Postmortem Aging of Porcine Muscle." **Meat Sci.** 86 : 764-769.

Page, B.T., Casas, E., Heaton, M.P., Cullen, N.G., Hyndman, D.L., Morris, C.A., Crawford, A.M., Wheeler, T.L., Koohmaraie, M., Keele, J.W. and Smith, T.P.L. 2002. "Evaluation of Single-Nucleotide Polymorphisms in *CAPN1* for Association with Meat Tenderness in Cattle." **J. Anim. Sci.** 80 : 3077-3085.

Page, K.A., Hartzell, D.L., Li, C., Westby, A.L., Della-Fera, M.A., Azain, M.J., Pringle, T.D. and Baile, C.A. 2004. "ß-Adrenergic Receptor Agonists Increase Apoptosis of Adipose Tissue in Mice." **Domest. Anim. Endocrinol.** 26 : 23-31.

Patience, J.F., Shand, P., Pietrasik, Z., Merrill, J., Vessie, G., Ross, K.A. and Beaulieu, A.D. 2009. "The Effect of Ractopamine Supplementation at 5 ppm of Swine Finishing Diets on

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Growth Performance, Carcass Composition and Ultimate Pork Quality." **Can. J. Anim. Sci.** 89 : 53-66.

Ryall, J.G. and Lynch, G.S. 2008. "The Potential and the Pitfalls of ß-Adrenoceptor Agonists for the Management of Skeletal Muscle Wasting." **Pharmacol. Ther.** 120 : 219-232.

Salem, M., Levesque, H., Moon, T.W., Rexroad, C.E. and Yao, J. 2006. "Anabolic Effect of Feeding $ß_2$-Adrenergic Agonists on Rainbow Trout Muscle Proteases and Proteins." **Comp. Biochem. Physiol. A.** 144 : 145-154.

Scramlin, S.M., Platter, W.J., Gomez, R.A., Choat, W.T., McKeith, F.K. and Killefer, J. 2010. "Comparative Effect of Ractopamine Hydrochloride and Zilpaterol Hydrochloride on Growth Performance, Carcass Traits, and Longissimus Tenderness of Finishing Steers." **J. Anim. Sci.** 88 : 1823-1829.

Shackelford, S.D., Koohmaraie, M., Cundiff, L.V., Gregory, K.E., Rohrer, G.A. and savell, J.W. 1994. "Heritabilities and Phenotypic and Genetic Correlations for Bovine Postrigor Calpastatin Activity, Intramuscular Fat Content, Warner-Bratzler Shear Force, Retail Product Yield, and Growth Rate." **J. Anim. Sci.** 72 : 857-863.

Turberg, M.P., Rodewald, J.M. and Coleman, M.R. 1996. "Determination of Ractopamine in Monkey Plasma and Swine Serum by High-Performance Liquid Chromatography with Electrochemical Detection." **J. Chromatogr. B.** 675 : 279-285.

Tuma, H.J., Venable, J.H., Wuthier, P.R. and Henrickson, R.L. 1962. "Relationship of Fiber Diameter to Tenderness and Meatiness as Influenced by Bovine Age." **J. Anim. Sci.** 21 : 33-36.

Warriss, P.D. 2010. **Meat Science: an Introductory Text.** 2nd ed. Cambridge : Cambridge University Press.

Webster, M.J., Goodband, R.D., Tokach, M.D., Nelssen, J.L., Dritz, S.S., Unruh, J.A., Brown, K.R., Real, D.E., Derouchey, J.M., Woodworth, J.C., Groesbeck, C.N. and Marsteller, T.A. 2007. "Interactive Effect between Ractopamine Hydrochloride Diets Lysine on Finishing Pigs Growth Performance Carcass Characteristics Pork Quality and Tissue Accretion." **Prof. Anim. Sci.** 23 : 597-611.

Wheeler, T.L. and Koohmaraie, M. 1992. "Effect of ß-Adrenergic Agonist L644, 969 on Muscle Protein Turnover, Endogenous Proteinase Activities and Meat Tenderness in Steers." **J. Anim. Sci.** 70 : 3035-3043.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Xiong, Y.L., Gower, M.J., Li, C., Elmore, C.A., Cromwell, G.L. and Lindemann, M.D. 2006. "Effect of Dietary Ractopamine on Tenderness and Postmortem Protein Degradation of Pork Muscle." **Meat Sci.** 73 : 600-604.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
การเตรียมสารเคมี

1. วิเคราะห์ปริมาณไกลโคเจน

- 8 เปอร์เซ็นต์ Perchloric acid

Perchloric acid	115	มิลลิลิตร
Distilled water	700	มิลลิลิตร

ผสม Perchloric acid ลงใน Distilled water หลังจากนั้นปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง

- 5 M Sodium bicarbonate

Sodium bicarbonate	420	กรัม
Distilled water	1	ลิตร

ละลาย Sodium bicarbonate ใน Distilled water จากนั้นดูดเฉพาะส่วนใสเก็บไว้ใช้ โดยเก็บที่อุณหภูมิห้อง

- 0.2 M Sodium acetate pH 4.8

Sodium acetate	27.22	กรัม
Distilled water	700	มิลลิลิตร

ละลาย Sodium acetate ใน Distilled water จากนั้นปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้ได้ 4.8 แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 1 ลิตร ด้วย Distilled water เก็บที่อุณหภูมิห้อง

- Amyloglucosidase (100 unit/ml)

Amyloglucosidase	0.01	กรัม
Distilled water	1	มิลลิลิตร

ผสม Amyloglucosidase ใน Distilled water เขย่าให้เข้ากัน เก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส

2. วิเคราะห์ความยาวซาร์โคเมียร์

- Solution A (pH 7.1)

KCl	7.46	กรัม
Boric acid	2.49	กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EDTA	1.85	กรัม
Glutaraldehyde 25 เปอร์เซ็นต์	100	มิลลิลิตร
Distilled water	700	มิลลิลิตร

ละลาย KCl Boric acid EDTA ใน Distilled water 700 มิลลิลิตร เติม glutaraldehyde 25 เปอร์เซ็นต์ 100 มิลลิลิตร ทำการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้เท่ากับ 7.1 หลังจากนั้นให้ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำ Distilled water ให้ได้ 1 ลิตร เก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส

- Solution B (pH 7.1)

KCl	1.86	กรัม
Boric acid	2.47	กรัม
EDTA	1.85	กรัม
Glutaraldehyde 25 เปอร์เซ็นต์	100	มิลลิลิตร
Distilled water	700	มิลลิลิตร

ละลาย KCl Boric acid EDTA ใน Distilled water 700 มิลลิลิตร เติม glutaraldehyde 25 เปอร์เซ็นต์ 100 มิลลิลิตร ทำการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้เท่ากับ 7.1 หลังจากนั้นให้ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำ Distilled water ให้ได้ 1 ลิตรเก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส

3. วิเคราะห์ขนาดเส้นใยกล้ามเนื้อ

- Neutral formalin 4 เปอร์เซ็นต์

Neutral formalin 40 เปอร์เซ็นต์	100	มิลลิลิตร
Distilled water	900	มิลลิลิตร

ผสม Neutral formalin 40 เปอร์เซ็นต์ ใน Distilled water ผสมให้เข้ากัน เก็บที่อุณหภูมิห้อง

- NaCl 0.9 เปอร์เซ็นต์

NaCl	0.9	กรัม
Distilled water	70	มิลลิลิตร

ละลาย NaCl ใน Distilled water แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร ด้วย Distilled water เก็บที่อุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. วิเคราะห์ปริมาณคอลลาเจน

- Ringer's solution

NaCl	1.914	กรัม
KCl	0.224	กรัม
$CaCl_2$	0.073	กรัม
Distilled water		

ละลาย NaCl KCl และ $CaCl_2$ ด้วย Distilled water ปรับปริมาตรให้ครบ 1 ลิตร เก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส

- Oxidant solution

a) Chloramine T reagent

7 เปอร์เซ็นต์ (w/v) Chloramine T

Distilled water

ละลาย Chloramine T 1.4 กรัม ด้วย Distilled water ปริมาณ 20 มิลลิลิตร เตรียมใหม่ทุกครั้งที่ใช้

b) Acetate buffer pH 6.0

Citric acid monohydrate	50	กรัม
Sodium acetate trihydrate	120	กรัม
NaOH	34	กรัม
Acetic acid	12	มิลลิลิตร
Propanal-1	300	มิลลิลิตร
Distilled water		

ละลาย Citric acid monohydrate Sodium acetate trihydrate NaOH และ Acetic acid ด้วย Distilled water ปริมาณ 600 มิลลิลิตร ทำการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้เท่ากับ 6.0 ปรับปริมาตรด้วย Distilled water ให้ครบ 1 ลิตร จากนั้นเติม Distilled water 200 มิลลิลิตร และเติม Propanal-1 300 มิลลิลิตร เก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส

นำสารละลาย a) มาผสมในสารละลาย b) ด้วยอัตราส่วน 1:4 เตรียมใหม่ทุกครั้งที่ใช้

- Color reagent solution

p-Dimethyamino-benzagehyde	10	กรัม
70 เปอร์เซ็นต์ Perchloric acid	30	มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2-propanol	65	มิลลิลิตร
Distilled water	5	มิลลิลิตร

- Hydroxyproline standard solution

เตรียม STD Hydroxyproline ความเข้มข้น 0 1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0 7.0 8.0 9.0 และ 10.0 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร จาก stock Hydroxyproline 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

5. วิเคราะห์การสลายตัวของโปรตีน troponin T

- Extraction buffer ที่เติม protein inhibitor

a) 50 mM tris pH 7.5	6.057	กรัม
5 mM EDTA	1.8612	กรัม
Distilled water	1	ลิตร
b) Protein inhibitor		
AEBSF	20	mg/ml
Leupeptin	5	mg/ml
Pepstatin	1	mg/ml

การคำนวณ protein inhibitor ที่ต้องการใส่ใน extraction buffer

ถ้าต้องการ extraction buffer ในการสกัดตัวอย่าง 15 มิลลิลิตร

ดังนั้น AEBSF 20 mg/ml ต้องการความเข้มข้น 200 µg/ml = $\frac{15 \text{ ml} \times 200 \text{ µg/ml}}{20 \text{ mg/ml}}$ = 150 µl

Leupeptin 5 mg/ml ต้องการความเข้มข้น 1 µg/ml = $\frac{15 \text{ ml} \times 1 \text{ µg/ml}}{5 \text{ mg/ml}}$ = 3 µl

Pepstatin 1 mg/ml ต้องการความเข้มข้น 1 µg/ml = $\frac{15 \text{ ml} \times 1 \text{ µg/ml}}{1 \text{ mg/ml}}$ = 15 µl

นำสารละลาย a) มาผสมในโปรตีน b) ที่คำนวณได้ ควรเตรียมใหม่ทุกครั้งที่สกัดตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 10 เปอร์เซ็นต์ Ammonium persulphate solution (APS 1 มิลลิลิตร) เตรียมใหม่ทุกครั้ง

Ammonium persulphate	0.01	กรัม
Distilled water	10	มิลลิลิตร

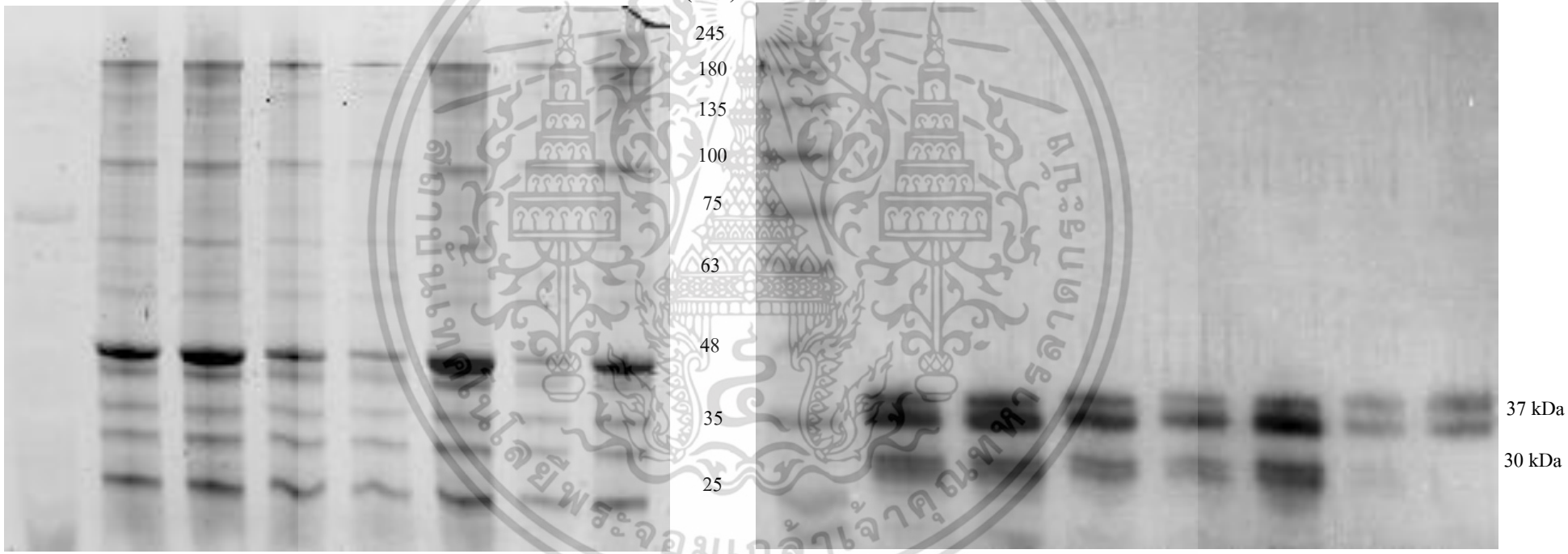
- Western blot buffer

Glycine	60	กรัม
Tris	6	กรัม
Isopropanol	100	มิลลิลิตร
Distilled water		

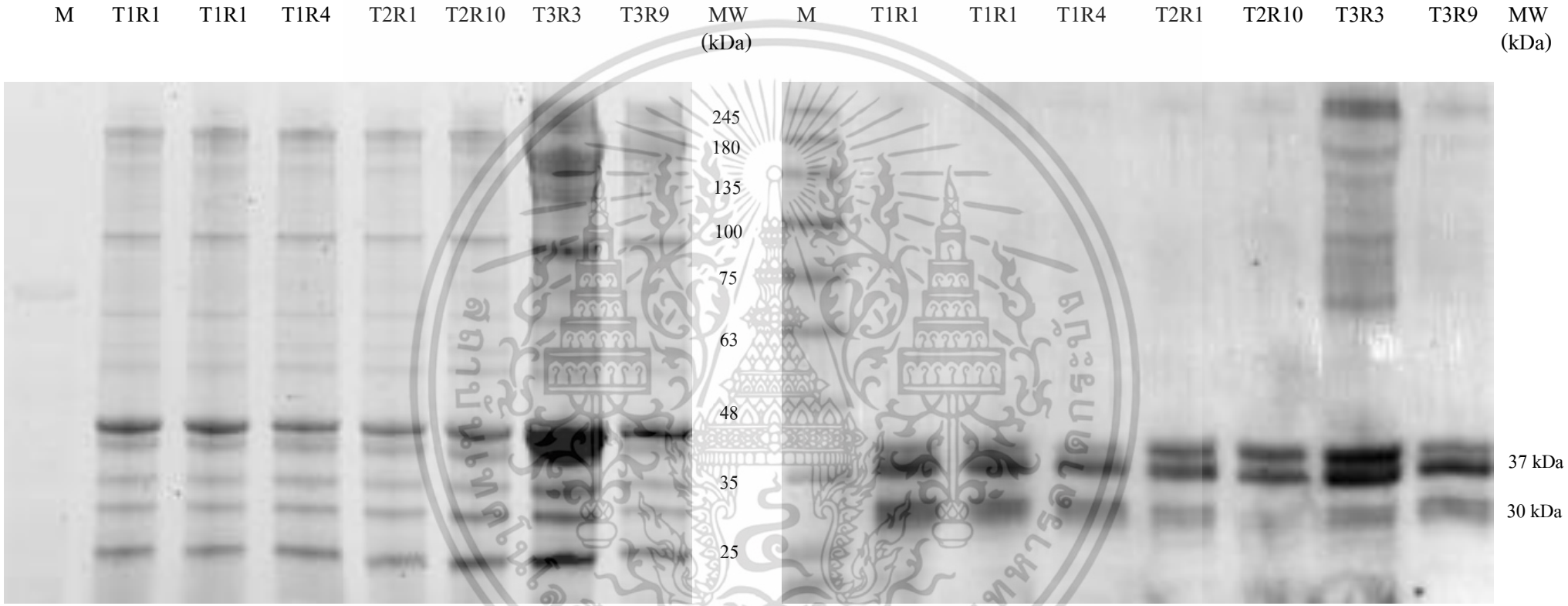
ละลาย Glycine และ Tris ใน Isopropanol แล้วปรับปริมาตรด้วย Distilled water ให้ครบ 2 ลิตร

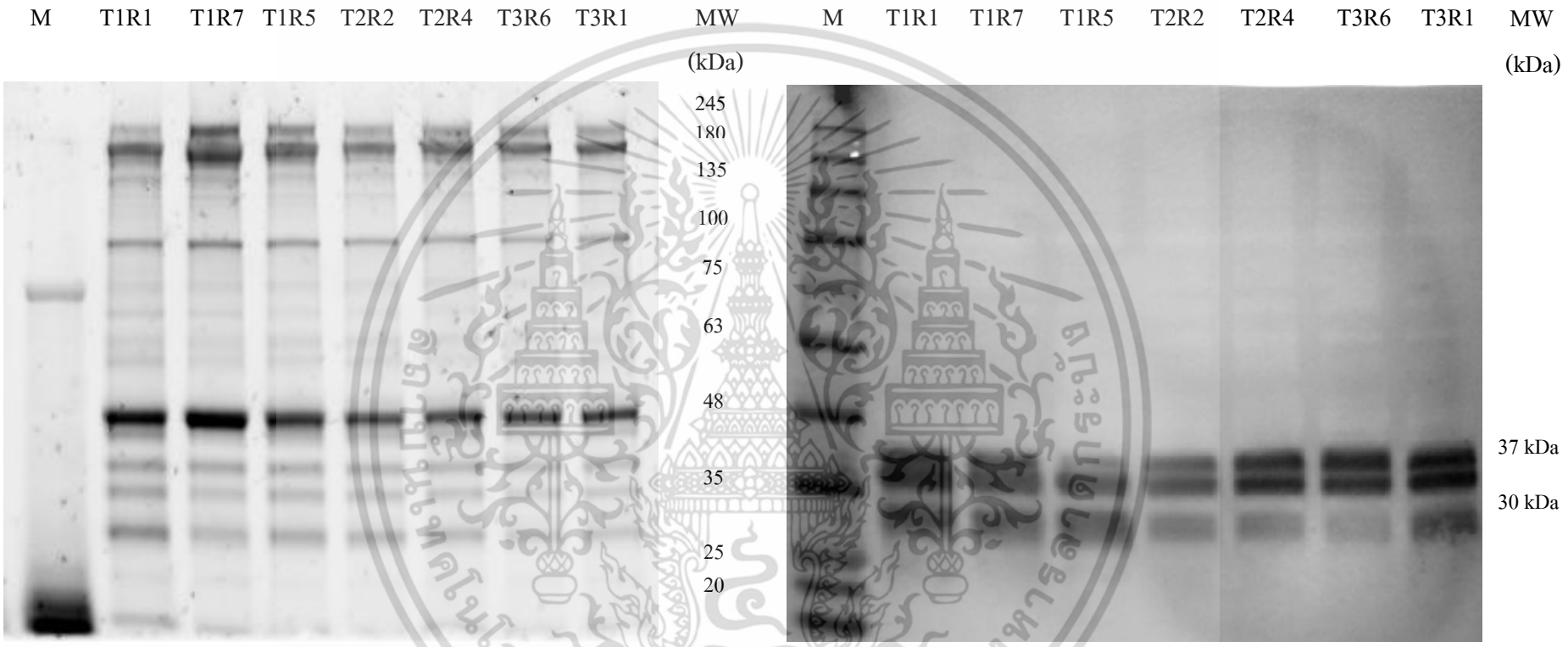
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

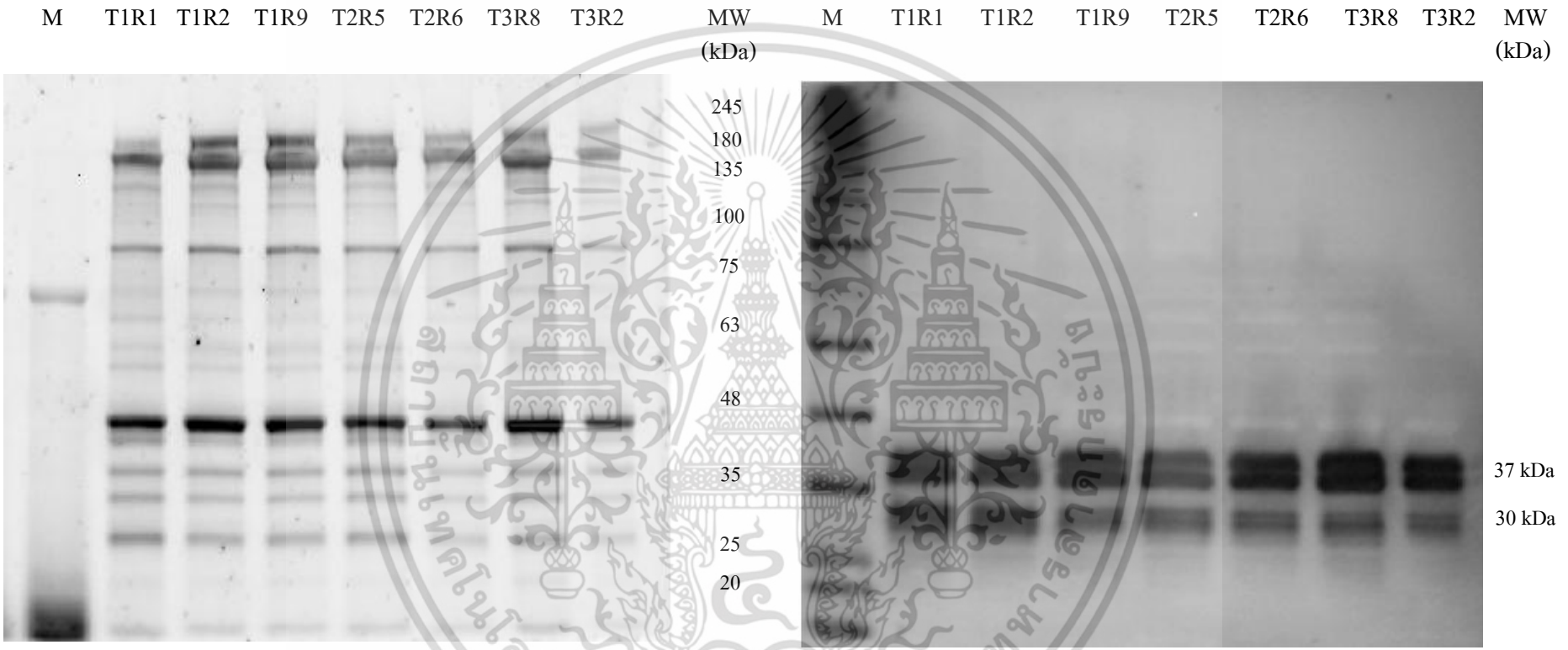

M
T1R1
T1R6
T1R8
T2R3
T2R7
T3R5
T3R10
MW
(kDa)
245
180
135
100
75
63
48
35
25
M
T1R1
T1R6
T1R8
T2R3
T2R7
T3R5
T3R10
MW
(kDa)
37 kDa
30 kDa

(ก) (ข)

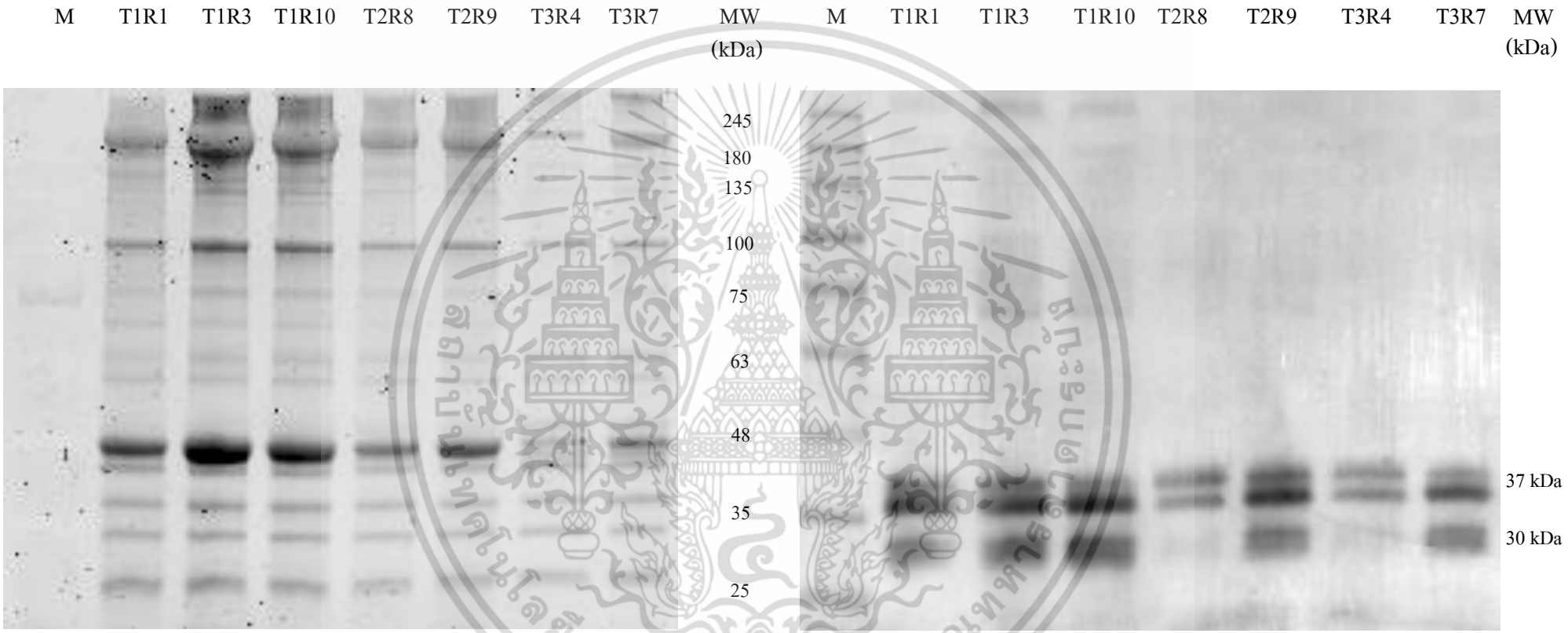

M
T1R1
T1R1
T1R4
T2R1
T2R10
T3R3
T3R9
MW (kDa)
245
180
135
100
75
63
48
35
25
37 kDa
30 kDa
(ค)
(ง)


M
T1R1
T1R7
T1R5
T2R2
T2R4
T3R6
T3R1
MW
(kDa)
245
180
135
100
75
63
48
35
25
20
M
T1R1
T1R7
T1R5
T2R2
T2R4
T3R6
T3R1
MW
(kDa)
37 kDa
30 kDa

(จ) (ฉ)


M
T1R1
T1R2
T1R9
T2R5
T2R6
T3R8
T3R2
MW (kDa)
245
180
135
100
75
63
48
35
25
20
37 kDa
30 kDa

(ข) (ฆ)



M = Marker MW = Molecular weight (kDa)

ภาพผนวกที่ ข.1 (ก) (ค) (จ) (ช) (ฌ) แสดงการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนที่ระยะเวลาการบ่ม 5 วัน ด้วยเทคนิค SDS-PAGE
(ข) (ง) (ฉ) (ซ) (ญ) การสลายตัวของโปรตีน troponin T น้ำหนักโมเลกุล 37 และ 30 kDa ด้วยเทคนิค Western blot

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวกรองแก้ว แก้วถาวร
วัน เดือน ปีเกิด	28 พฤษภาคม 2535
ที่อยู่	3 หมู่ 5 ซอยบ่อโพธิ์พัฒนา 3 ตำบลระวะ อำเภอระโนด จังหวัดสงขลา 90140
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2557 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาสัตวศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร
ผลงานวิชาการ	ผลงานตีพิมพ์ “Effect of Ractopamine Supplementation in Diets on Longgissimus Muscle Characteristics of Finishing Pigs” The 17th Asia-Australasian Association of Animal Production Society Animal Science Congress. 22nd-25th August 2016. Fukuoka, Japan. P. 670-672. ผลงานตีพิมพ์ “อิทธิพลของสารแรคโตพามีนต่อคุณลักษณะเนื้อของสุกรขุน” ในการประชุมวิชาการสัตวศาสตร์แห่งชาติ ครั้งที่ 6. วันที่ 22-23 มิถุนายน พ.ศ. 2560. สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม หน้า 821-830.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้