

ผลของการเสริมน้ำมันที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันโอเลอิก (Oleic acid) อยู่สูง
ต่อผลผลิตโคเนื้อ คุณภาพซาก และคุณภาพเนื้อของโคเนื้อถูกผสมบร่ำหมั



นายชยพล มีพร้อม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2556

**EFFECTS OF OLEIC ACID ENRICHED OILS
SUPPLEMENTATION ON PERFORMANCE,
CARCASS AND BEEF QUALITY OF
CROSSBRED BRAHMAN STEERS**

Chayapol Meeprom



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Science in Animal Production Technology**

Suranaree University of Technology

Academic Year 2013

ผลของการเสริมไขมันที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันโอเลอิก (Oleic acid) อยู่สูง
ต่อผลผลิตโคเนื้อ คุณภาพซาก และคุณภาพเนื้อของโคเนื้อลูกผสมบราห์มัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(รศ. ดร.ปราโมทย์ แพงคำ)

ประธานกรรมการ

(รศ. ดร.วิศิษฐ์พร สุขสมบัติ)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร.พิพัฒน์ เหลืองลาวัณย์)

กรรมการ

(ผศ. ดร.อมรรัตน์ โมพี)

กรรมการ

(ผศ. น.สพ. ดร.ภคนิจ คุปพิทยานันท์)

กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิ้มปีจ้านงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม

(ผศ. ดร.สุเวทย์ นิงสานนท์)

คณบดีสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

ชยพล มีพร้อม : ผลของการเสริมน้ำมันที่มีองค์ประกอบของกรดไขมัน โอลิอิก (Oleic acid) อยู่สูงต่อผลผลิตโคเนื้อ คุณภาพซาก และคุณภาพเนื้อของโคเนื้อลูกผสมบราห์มัน (EFFECTS OF OLEIC ACID ENRICHED OILS SUPPLEMENTATION ON PERFORMANCE, CARCASS AND BEEF QUALITY OF CROSSBRED BRAHMAN STEERS) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.วิศิษฐ์พร สุขสมบัติ, 121 หน้า.

วิทยานิพนธ์นี้ศึกษาถึงการเสริมน้ำมันที่มีองค์ประกอบของกรดไขมัน โอลิอิก (Oleic acid) อยู่สูง ได้แก่ น้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวต่อผลผลิตโคเนื้อ คุณภาพซากและคุณภาพเนื้อของโคเนื้อลูกผสมบราห์มัน ตลอดจนปริมาณกรดไขมันในเนื้อโค รวมถึงการศึกษาเกี่ยวกับการหมักย่อยในกระเพาะหมักและการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันภายในกระเพาะหมัก โดยทำการทดลองในโคเนื้อลูกผสมบราห์มัน

การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของการเสริมน้ำมันที่มีองค์ประกอบของกรดไขมัน โอลิอิก (Oleic acid) อยู่สูงต่อผลผลิตโคเนื้อ คุณภาพซากและคุณภาพเนื้อของโคเนื้อลูกผสมบราห์มัน โดยใช้โคเนื้อลูกผสมบราห์มันจำนวน 12 ตัว โดยมีอายุเฉลี่ย 17 ± 2 เดือน และน้ำหนักตัวเฉลี่ย 319 ± 38 กิโลกรัม จัดแผนทดลองแบบ Completely randomized design (CRD) แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 4 ตัว การทดลองที่ 1 กลุ่มควบคุมได้รับอาหารตามปกติ (อาหารชั้นสำเร็จรูปทางการค้า 12%CP วันละ 6 กิโลกรัม) และเสริมด้วยกากมันสำปะหลังตากแห้ง 1 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน กลุ่มการทดลองที่ 2 ได้รับอาหารตามปกติและเสริมน้ำมันปาล์มที่ระดับ 200 กรัมต่อตัวต่อวัน และกลุ่มการทดลองที่ 3 ได้รับอาหารตามปกติและเสริมน้ำมันรำข้าวที่ระดับ 200 กรัมต่อตัวต่อวัน ผลการทดลองพบว่า การกินได้วัดดูแห่งของฟางข้าวและอาหารชั้น การเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน น้ำหนักซาก เปอร์เซ็นต์ซาก ความหนาของไขมันสันหลัง พื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (Shear force) และความเป็นกรด-เป็นด่างของเนื้อโคหลังจากการฆ่าแช่แหวะ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) การเสริมน้ำมันรำข้าวที่ระดับ 200 กรัมต่อตัวต่อวันมีผลให้ ปริมาณไขมัน ณ ตำแหน่งกล้ามเนื้อสันนอกสูงกว่ากลุ่มควบคุม การเสริมน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าว ทำให้ระดับไขมันแทรกในเนื้อโคสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เช่นเดียวกับปริมาณกรดไขมัน โอลิอิก ในกล้ามเนื้อสันนอก การเสริมน้ำมันรำข้าวทำให้ปริมาณกรดไขมัน โอลิอิกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

การทดลองที่ 2 ผลของการเสริมน้ำมันที่มีองค์ประกอบของกรดไขมัน โอลิอิก (Oleic acid) อยู่สูงต่อจำนวนประชากรโปรโตซัวสภาวะความเป็นกรด-ด่าง แอมโมเนีย-ไนโตรเจน กรดไขมันระเหยได้ และการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันในกระเพาะหมักของโคเนื้อลูกผสมบราห์มัน โดยใช้โคเนื้อลูกผสมบราห์มันจำนวน 4 ตัว มีอายุเฉลี่ย 15 ± 2 เดือน และน้ำหนักตัวเฉลี่ย 312 ± 4 กิโลกรัม

จัดแผนทดลองแบบ 3×3 Latin square design แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มกลุ่มการทดลองที่ 1 กลุ่มควบคุม ได้รับอาหารตามปกติ (อาหารชั้นสำเร็จรูปทางการค้า 12%CP 6 กิโลกรัม) และเสริมด้วยกากมันสำปะหลังตากแห้งวันละ 1 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน กลุ่มการทดลองที่ 2 ได้รับอาหารตามปกติและเสริมน้ำมันปาล์มที่ระดับ 200 กรัมต่อตัวต่อวัน และกลุ่มการทดลองที่ 3 ได้รับอาหารตามปกติและเสริมน้ำมันรำข้าวที่ระดับ 200 กรัมต่อตัวต่อวัน ผลการทดลองพบว่าการเปลี่ยนแปลงของระดับความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณแอมโมเนียในโตรเจนและความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) การเสริมน้ำมันรำข้าวที่ระดับ 200 กรัมต่อวันมีผลให้จำนวนประชากรโปรโตซัวลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) การเสริมน้ำมันรำข้าวสามารถเพิ่มระดับกรดไขมันโอลิคของของเหลวภายในกระเพาะหมักได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ผลการศึกษาสรุปได้ว่า การเสริมน้ำมันปาล์ม และน้ำมันรำข้าวที่ระดับ 200 กรัมต่อวัน สามารถเพิ่มระดับไขมันแทรกได้โดยที่ไม่ทำให้การเจริญเติบโต ในขณะที่การเสริมน้ำมันรำข้าวที่ระดับ 200 กรัมต่อวันทำให้การสูญเสียจากการปรุงอาหารลดลง การเสริมน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวที่ระดับ 200 กรัมต่อวัน ไม่ส่งผลต่อกระบวนการหมักย่อยภายในกระเพาะหมัก การเสริมน้ำมันรำข้าวทำให้ประชากรโปรโตซัวลดลงและเพิ่มระดับกรดไขมันโอลิคของของเหลวภายในกระเพาะหมัก ดังนั้นการใช้น้ำมันปาล์มหรือน้ำมันรำข้าวจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถเพิ่มคุณภาพเนื้อของโคทำให้เกษตรกรได้รับรายได้ที่ดีขึ้นระดับที่แนะนำคือ 200 กรัมต่อตัวต่อวัน

CHAYAPOL MEEPROM : EFFECTS OF OLEIC ACID ENRICHED OILS
SUPPLEMENTATION ON PERFORMANCE, CARCASS AND BEEF
QUALITY OF CROSSBRED BRAHMAN STEERS. THESIS ADVISOR :
ASSOC. PROF. WISITIPORN SUKSOMBAT, Ph.D., 121 PP.

OLEIC ACID/PALM OIL/RICE BRAN OIL/BEEF MARBLING SCORE/
FATTENING/CROSSBRED BRAHMAN STEERS

The objective of this study was to determine the effects of oleic acid enriched oils supplementation such as palm oil and rice bran oil on performance, carcass and beef quality and the ruminal fermentation of crossbred Brahman steers. This research was divided into 2 experiments.

The objective of the first experiment was to investigate the effects of oleic acid enriched oils supplementation on performance and carcass and beef quality of crossbred Brahman steers. Twelve crossbred Brahman steers, averaging 17 ± 2 months old and 319 ± 38 kg body weight, were stratified and randomly assigned into three groups of four steers each. The first group (control) received a basal diet with approximately 6 kg of 12% CP concentrate supplemented with 1 kg of dried cassava pulp. The second group was fed the basal diet supplemented with 200 g/d palm oil, while the third group was fed the basal diet supplemented with 200 g/d rice bran oil. The results showed that supplementation of oil rich in oleic acid did not affect roughage and concentrate intakes, growth performance, carcass weight, carcass percentage, shear force or pH after slaughter. ($P > 0.05$); however, 200 g/head/day supplemented rice bran oil resulted in higher fat and oleic acid contents in longissimus dorsi than in the control group ($P < 0.05$).

Supplementation of 200 g/d palm oil or rice bran oil significantly increased marbling scores when compared to the control group ($P<0.05$).

The aim of the second experiment was to evaluate the effects of oleic acid enriched oils supplementation on protozoa population, pH, ammonia nitrogen, volatile fatty acids and changes in the fatty acid profile in the rumen of crossbred Brahman cattle. Three crossbred Brahman steers, averaging 15 ± 2 months old and 312 ± 4 kg body weight, were assigned into a 3×3 Latin square design with 3 periods of 21 days in each period. The first group (control) received the basal diet with approximately 6 kg of 12% CP concentrate supplemented with 1 kg of dried cassava pulp. The second group was fed the basal diet supplemented with 200 g/d palm oil, while the third group was fed the basal diet supplemented with 200 g/d rice bran oil. The results showed that supplementation of 200 g/d rice bran oil significantly decreased the protozoa population and increased the oleic acid content in ruminal fluid ($P<0.05$). However, oil supplementation did not affect pH, ammonia-nitrogen or volatile fatty acids ($P>0.05$).

In conclusion, the results of the present study showed that supplementation of 200 g/d palm oil or rice bran oil significantly increased beef marbling scores without affecting growth performance and feed intakes. Supplemented 200 g/d rice bran oil significantly decreased cooking loss in Longissimus dorsi muscle where as supplemented 200 g/d rice bran oil did not affect ruminal fermentation but decreased the protozoa population and increased oleic acid in the ruminal fluid. Therefore supplementation of palm or rice bran oil is one method to increase beef quality for farmers to obtain higher incomes. The recommended level is 200 g/d.

School of Animal Production Technology Student's Signature _____

Academic Year 2013

Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการ และด้านการดำเนินงานวิจัยต่าง ๆ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วิศิษฐพร สุขสมบัติ อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ที่ให้โอกาส และทุนการศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา ให้คำแนะนำและแนวคิดที่เป็น ประโยชน์ทั้งในด้านวิชาการ ด้านการดำเนินการวิจัย ตลอดจนคำแนะนำในการเขียนวิทยานิพนธ์ การตรวจแก้วิทยานิพนธ์และสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินการวิจัยจนสำเร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ตลอดจนอาจารย์ทุก ๆ ท่านที่ได้กรุณาอบรมสั่งสอน ถ่ายทอดความรู้ และประสบการณ์ต่าง ๆ จนเกิดความรู้และปัญญา

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา ซึ่งให้การสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงานวิจัย ขอขอบคุณฟาร์มมหาวิทยาลัย อาคารศูนย์เครื่องมือและเทคโนโลยี 3 และ 10 รวมทั้งพี่ ๆ บุคลากร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ เครื่องมือ อุปกรณ์และอำนวยความสะดวกต่าง ๆ รวมถึงคำปรึกษาให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับการวิเคราะห์ข้อมูล

ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในงานวิจัยครั้งนี้

ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การเลี้ยงดูอบรม ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าตลอดมา จนทำให้ประสบความสำเร็จในการศึกษา

ชยพล มีพร้อม

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฏ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	2
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 สมมุติฐานของการวิจัย.....	2
1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.7 รายการอ้างอิง.....	3
2 ปรัชษฐ์นวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 การสะสมไขมันในซากและกล้ามเนื้อ.....	5
2.2 ประโยชน์ของการสะสมไขมัน.....	5
2.3 องค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อโค.....	6
2.4 การสะสมไขมันใน Marbling.....	7
2.5 Stearoyl-CoA Desaturase (SCD).....	17
2.5.1 Vitamin A.....	17
2.5.2 Vitamin D.....	19
2.6 การลำเลียงและดูดซึมกรดไขมันในสัตว์เคี้ยวเอื้อง.....	22

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6.1	ไคโลไมครอน (Chylomicrons).....	23
2.6.2	Very low density lipoprotein (VLDL).....	24
2.6.3	Low density lipoprotein (LDL).....	24
2.6.4	High density lipoprotein (HDL).....	24
2.7	ความต้องการพลังงานของโคเนื้อ.....	25
2.7.1	หน่วยของพลังงาน.....	25
2.7.2	การจำแนกประเภทพลังงาน.....	26
2.7.3	สมการประเมินความต้องการพลังงานของโคเนื้อ.....	27
2.7.4	การประเมินคุณค่าทางพลังงานของอาหารตาม NRC (2001).....	28
2.8	ฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ Adiponeogenesis	33
2.8.1	Insulin และ Insulin like Growth factor-1 (IGF-1).....	33
2.8.2	Growth hormone (GH).....	33
2.8.3	Thyroid hormone (T-3).....	33
2.8.4	Glucocorticoids.....	33
2.9	รายการอ้างอิง.....	34
3	การศึกษาผลของการเสริมน้ำมันที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันโอเลอิก (Oleic acid) อยู่สูงต่อผลผลิตโคเนื้อ คุณภาพซาก และคุณภาพเนื้อของโคเนื้อ	
	ลูกผสมบราห์มัน.....	40
3.1	ค่าน้ำ.....	40
3.2	วัตถุประสงค์.....	41
3.3	สมมติฐานของการวิจัย	41
3.4	อุปกรณ์และวิธีการ	41
3.4.1	การจัดการสัตว์ทดลองและการให้อาหาร	41
3.4.2	วิธีการทดลองและเก็บข้อมูล	42
3.5	การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	46
3.6	สถานที่ทำการทดลอง.....	46

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.7	ระยะเวลาในการทดลอง	46
3.8	ผลการทดลอง.....	46
3.8.1	องค์ประกอบทางเคมีในอาหาร.....	46
3.8.2	องค์ประกอบของกรดไขมันในอาหาร.....	48
3.8.3	การประเมินพลังงานในอาหาร.....	49
3.8.4	ปริมาณการกินได้ของโคเนื้อ.....	50
3.8.5	น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลงของโค.....	52
3.8.6	องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อโค.....	53
3.8.7	คุณภาพซากและคุณภาพเนื้อของโคเนื้อ.....	53
3.8.8	ปริมาณกรดไขมันในเนื้อโค.....	56
3.9	วิจารณ์ผลการทดลอง.....	60
3.9.1	ปริมาณการกินได้ของโคเนื้อ.....	60
3.9.2	น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลงของโค.....	60
3.9.3	องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อโค.....	61
3.9.4	คุณภาพซากและคุณภาพเนื้อของโคเนื้อ.....	61
3.9.5	ปริมาณกรดไขมันในเนื้อ.....	63
3.10	สรุปผลการทดลอง.....	64
3.11	รายการอ้างอิง.....	65
4	ผลของการเสริมน้ำมันที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันโอเลอิก (Oleic acid) อยู่สูงต่อประชากรโปรโตซัว สถานะความเป็นกรด-ด่าง แอมโมเนีย-ไนโตรเจน กรดไขมันระเหยได้ และการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันในกระเพาะหมักของ โคเนื้อลูกผสมบราห์มัน.....	69
4.1	คำนำ.....	69
4.2	วัตถุประสงค์.....	70
4.3	สมมติฐานของการวิจัย.....	70
4.4	อุปกรณ์และวิธีการ.....	70

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4.1	การจัดการสัตว์ทดลองและการให้อาหาร	70
4.2.2	วิธีการทดลอง และเก็บข้อมูล.....	71
4.5	วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	73
4.6	สถานที่ทำการทดลอง.....	73
4.7	ระยะเวลาในการทดลอง	73
4.8	ผลการทดลอง.....	3
4.8.1	ปริมาณประชากรโปรโตซัวในกระเพาะหมัก.....	73
4.8.2	สภาวะความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของของเหลวในกระเพาะหมัก.....	74
4.8.3	ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนโตรเจน (NH ₃ N) ของของเหลว ในกระเพาะหมัก.....	74
4.8.4	ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acids; VFA) ของของเหลวในกระเพาะหมัก.....	75
4.8.5	องค์ประกอบของกรดไขมันของของเหลวในกระเพาะหมัก.....	77
4.9	วิจารณ์ผลการทดลอง.....	80
4.9.1	ปริมาณประชากรโปรโตซัวในกระเพาะหมัก.....	80
4.9.2	สภาวะความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของของเหลวในกระเพาะหมัก.....	80
4.9.3	ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนโตรเจน (NH ₃ N) ของของเหลว ในกระเพาะหมัก	81
4.9.4	ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acids; VFA) ของของเหลวในกระเพาะหมัก	81
4.9.5	องค์ประกอบของกรดไขมันของของเหลวในกระเพาะหมัก.....	81
4.10	สรุปผลการทดลอง	82
4.11	รายการอ้างอิง.....	82
5	สรุปและข้อเสนอแนะ.....	84
	ภาคผนวก.....	86
	ประวัติผู้เขียน.....	121

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	แสดง Fatty acid Profiles ในอาหารที่ อาหารในทางเดินอาหารและในไขมันแทรก.....13
2.2	แสดงผลของการเสริมวัตถุดิบอาหารที่เป็นแหล่งของ Oleic acid ต่อ คุณภาพซากในโค.....14
2.3	แสดงผลของการเสริมวัตถุดิบอาหารที่เป็นแหล่งของ Oleic acid ต่อองค์ประกอบ ของ fatty acid profile ในเนื้อสันนอก ในของโค16
3.1	องค์ประกอบทางเคมีของอาหารชั้น ฟางข้าว และ กากมันสำปะหลัง47
3.2	องค์ประกอบของกรดไขมันในอาหารชั้น ฟางข้าว กากมันสำปะหลัง น้ำมันปาล์ม และน้ำมันรำข้าว49
3.3	คุณค่าทางพลังงานในอาหารชั้น ฟางข้าวและกากมันสำปะหลัง50
3.4	ผลการเสริมน้ำมันที่มีองค์ประกอบของ Oleic acid อยู่สูงต่อปริมาณการกินได้ ของโคเนื้อ51
3.5	ผลการเสริมน้ำมันที่มีองค์ประกอบของ Oleic acid อยู่สูงต่อน้ำหนักตัวและ การเจริญเติบโต52
3.6	ผลการเสริมน้ำมันที่มีองค์ประกอบของ Oleic acid อยู่สูงต่อองค์ประกอบ ทางเคมีของเนื้อ53
3.7	ผลการเสริมน้ำมันที่มีองค์ประกอบของ Oleic acid อยู่สูงต่อคุณภาพซากและ คุณภาพเนื้อ55
3.8	ผลการเสริมน้ำมันที่มีองค์ประกอบของ Oleic acid อยู่สูงต่อกรดไขมันใน กล้ามเนื้อตำแหน่ง <i>Longgisimus dorsi</i> (% of total fatty acids).....56
3.9	ผลการเสริมน้ำมันที่มีองค์ประกอบของ Oleic acid อยู่สูงต่อกรดไขมันใน กล้ามเนื้อตำแหน่ง <i>Longgisimus dorsi</i> (mg/100g muscle).....57
3.10	ผลการเสริมน้ำมันที่มีองค์ประกอบของ Oleic acid อยู่สูงต่อกรดไขมันใน กล้ามเนื้อตำแหน่ง <i>Semimambranosus</i> (% of total fatty acids).....58
3.11	ผลการเสริมน้ำมันที่มีองค์ประกอบของ Oleic acid อยู่สูงต่อกรดไขมันใน กล้ามเนื้อตำแหน่ง <i>Semimambranosus</i> (mg/100g muscle).....59

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.1	การจับกลุ่มทดลองของ โคกลูกผสมบราห์มัน.....71
4.2	ผลการเสริมน้ำมันที่มีองค์ประกอบของ Oleic acid อยู่สูงต่อการเปลี่ยนแปลง ของประชากร โปรโตซัวระดับความเป็นกรด-ด่าง (pH) และแอมโมเนีย ไนโตรเจน (NH ₃ -N) ภายในกระเพาะหมักที่เวลาต่างๆหลังการให้อาหาร 75
4.3	ผลการเสริมน้ำมันที่มีองค์ประกอบของ Oleic acid อยู่สูงต่อความเข้มข้นของ กรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acid; VFA) ของของเหลวในกระเพาะหมัก ที่เวลาต่าง ๆ หลังการให้อาหาร77
4.4	ผลการเสริมน้ำมันที่มีองค์ประกอบของ Oleic acid อยู่สูงต่อการเปลี่ยนแปลง องค์ประกอบของกรดไขมันของของเหลวในกระเพาะหมักที่เวลาต่าง ๆ หลังการให้อาหาร79

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1	แสดงการขยายตัวของเซลล์ไขมันในกล้ามเนื้อในระยะต่าง ๆ6
2.2	Stearoyl-CoA desaturase gene expression ต่อ CLA isomer <i>c9</i> , <i>t11</i> และ <i>t10</i> , <i>c12</i>9
2.3	การแสดงออกของ Stearoyl-CoA desaturase ในช่วงอายุขานของโค Wagyu และ Angus10
2.4	แสดงระดับของ Stearoyl-CoA desaturase และสัดส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวตำแหน่งเดียวต่อกรดไขมันอิ่มตัวในช่วงอายุต่าง ๆ ของโค11
2.5	การเปลี่ยนกรดไขมันอิ่มตัวให้กลายเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว Jenkins (1993)12
2.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Vitamin A และระดับไขมันแทรก.....18
2.7	แสดงระดับของ Stearoyl-CoA desaturase และสัดส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวตำแหน่งเดียวต่อกรดไขมันอิ่มตัวในช่วงอายุต่าง ๆ ของโค19
2.8	การเปลี่ยนกรดไขมันอิ่มตัวให้กลายเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว20
2.9	ส่วนประกอบของไลโปโปรตีน23
3.1	แผนภาพแสดงระดับของไขมันแทรกที่ใช้ในการประเมิน44

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

α	=	Alpha
β	=	Belta
ADF	=	Acid detergent fiber
ADICP	=	Acid detergent insoluble crude protein
ADIN	=	Acid detergent insoluble N
ADL	=	Acid detergent lignin
BMS	=	Beef marbling scores
C12:0	=	Lauric acid
C14:0	=	Myristic acid
C16:0	=	Palmitic acid
C16:1	=	Palmitoleic acid
C18:0	=	Stearic acid
C18:1n9	=	Oleic acid
C18:2n6	=	Linoleic acid
C18:3n3	=	α - Linoleic acid
CE	=	Cholesterol ester
CLA	=	Conjugated linoleic acid
FAAR	=	Fatty acid Activate Receptor
HDL	=	High density lipoprotein
HSL	=	Enzyme hormone-sensitive lipase
LDL	=	Low density lipoprotein
LCAT	=	Lecithin cholesterol acyltransferases
MUFA	=	Monounsaturated fatty acids
NDF	=	Neutral detergent fiber
NDICP	=	Neutral detergent insoluble crude protein
NDIN	=	Neutral detergent insoluble N
NE	=	Net energy
NFC	=	Non-fiber carbohydrate

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ(ต่อ)

NPN	=	Non protein nitrogen
NRC	=	National research council
OCFA	=	Odd-chain fatty acids
PPAR	=	Peroxisome Proliferator Activate Receptor
PUFA	=	Polyunsaturated fatty acids
RAR	=	Retinal Acid Receptor
RXR	=	Retinal X Receptor
SFA	=	Saturated fatty acids
SCD	=	Stearoyl-CoA desaturase
TG	=	Triglyceride
VLDL	=	Very low density lipoprotein
tdCP	=	Truly digested crude protein

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

การเลี้ยงโคนเนื้อเป็นอาชีพทางการเกษตรที่สำคัญอาชีพหนึ่งมีมูลค่าไม่ต่ำกว่า 7 หมื่นล้านบาท และเกี่ยวข้องกับเกษตรกรไม่น้อยกว่า 1.3 ล้านครอบครัว (กรมปศุสัตว์, 2552) ในอดีตที่ผ่านมาการเลี้ยงโคนเนื้อของเกษตรกรไทยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้แรงงานทำการเกษตรเป็นหลักเมื่อใช้งานหมดอายุจึงปลดจำหน่ายเป็นโคนเนื้อปัจจุบันรูปแบบการเลี้ยงโคนเนื้อได้เปลี่ยนมาเป็นการเลี้ยงเพื่อจำหน่ายเป็นโคนเนื้อเพื่อผลิตเนื้อโคทั้งนี้เพราะความต้องการบริโภคเนื้อสัตว์เพิ่มขึ้นทั้งจากความต้องการของประชากรในประเทศเองและนักท่องเที่ยวจากต่างประเทศตลอดจนความต้องการของตลาดต่างประเทศลักษณะการเลี้ยงจะเป็นการเลี้ยงครั้งละหลาย ๆ ตัวและมีรูปแบบเป็นฟาร์มมากขึ้น ในขณะเดียวกันรัฐบาลได้มีนโยบายส่งเสริมการเลี้ยงโคนเนื้อและเป็นโครงการหนึ่งในแผนปรับโครงสร้างระบบการผลิตการเกษตร โดยหวังว่าจะให้การเลี้ยงโคนเนื้อเป็นอาชีพที่ทำรายได้ให้เกษตรกรอย่างสม่ำเสมอ สถานการณ์ปัจจุบันการผลิตโคนเนื้อคุณภาพสูง (Premium Grade) ยังไม่เพียงพอต่อการบริโภคภายในประเทศซึ่งประเทศไทยได้นำเข้าเนื้อคุณภาพสูงจากต่างประเทศปีละประมาณ 2000 ตัน ทำให้สูญเสียเงินตราจากต่างประเทศประมาณปีละ 380 ล้านบาท (กรมปศุสัตว์, 2552) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ประเทศไทยมีความสามารถในการผลิตโคนเนื้อคุณภาพสูงได้ดีกว่าประเทศอื่น ๆ หากสามารถพัฒนาคุณภาพเนื้อได้ก็สามารถส่งออกไปยังประเทศเหล่านี้ได้ปัจจุบันมีการนำสายพันธุ์โคเพื่อมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพทางด้านเนื้อเช่นการนำน้ำเชื้อโคพันธุ์วากิวมาใช้กับแม่โคพื้นฐานในประเทศไทย ซึ่งการรับเชื้อโคนเนื้อคุณภาพสูงจะใช้เกณฑ์ในการตัดสินราคาคือไขมันแทรก (Beef Marbling Score; BMS) แต่ระดับของไขมันแทรกยังไม่เป็นที่น่าพอใจนัก เกษตรกรได้รับกำไรจากการขุนโคน้อย และอาจถึงขาดทุน โดยการสะสมของไขมันแทรกนั้นเป็นผลมาจากการจัดการด้านอาหาร (Nutrition) และพันธุกรรม (Genetic) (Smet, Raes and Demeyer, 2004) โดยอิทธิพลของอาหารมีมากกว่าพันธุกรรม (Duckett, Wagner, Yates, Dolezal and May, 1993) ซึ่งการเพิ่มไขมันแทรกสามารถเพิ่มได้โดยการใช้อาหารที่มีแหล่งของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง Pavan and Duckett (2007) ได้ใช้แหล่งวัตถุดิบที่มี Oleic acid อยู่สูงสามารถเพิ่มระดับของไขมันแทรกได้ องค์ประกอบของกรดไขมันในไขมันแทรกมี Oleic acid เป็นหลัก โดย Oleic acid จะไปกระตุ้น G- Protein Couplet Receptor 43 ในเซลล์ไขมันเพื่อให้เกิดการเพิ่มจำนวนและขยายตัวเพิ่มขึ้น (Chung and Johnson, 2010) Oleic acid สามารถสังเคราะห์ได้ใน Tissue

โดยการทำงานของเอนไซม์ Δ^9 Desaturase ดังนั้นการเสริมน้ำมันที่มีองค์ประกอบของ Oleic acid อยู่สูงเพื่อเพิ่มการไหลผ่านของ Oleic acid ไปยังลำไส้เล็กและลดการเกิด Bio-hydrogenation ในกระเพาะหมัก ซึ่งเป็นกระบวนการหลักของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักเพื่อป้องกันการเกิดพิษจากกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยที่การเติม H-atom ทำให้กรดไขมันไม่อิ่มตัวกลายเป็นกรดไขมันอิ่มตัวเพื่อให้มีการไหลผ่านของ Oleic acid ไปยังลำไส้เล็กเพิ่มขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้จึงศึกษาการเพิ่มไขมันแทรกโดยการใช้ น้ำมันที่มีองค์ประกอบของ Oleic acid และศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของกรดไขมันในกระเพาะหมัก

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของการเสริมน้ำมันพืชที่มีกรดไขมัน โอลิอิกอยู่สูงต่อผลผลิตโคเนื้อ ลูกผสมบราห์มัน \times พื้นเมือง

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของการเสริมน้ำมันพืชที่มีกรดไขมัน โอลิอิกอยู่สูงต่อคุณภาพซากและคุณภาพเนื้อโคลูกผสมบราห์มัน \times พื้นเมือง

1.2.3 เพื่อศึกษาผลของการเสริมน้ำมันพืชที่มีกรดไขมัน โอลิอิกอยู่สูงต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อโคลูกผสมบราห์มัน \times พื้นเมือง

1.2.4 เพื่อศึกษาผลของการเสริมน้ำมันพืชที่มีกรดไขมัน โอลิอิกอยู่สูงต่อระบบนิเวศวิทยากระเพาะหมักของโคเนื้อลูกผสมบราห์มัน \times พื้นเมือง

1.2.5 เพื่อศึกษาผลของการเสริมน้ำมันพืชที่มีกรดไขมัน โอลิอิกอยู่สูงต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของกรดไขมันในกระเพาะหมักของโคลูกผสมบราห์มัน \times พื้นเมือง

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1.3.1 การเสริมน้ำมันพืชที่มีกรดไขมัน โอลิอิกอยู่สูงไม่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตโคเนื้อ ลูกผสมบราห์มัน \times พื้นเมือง

1.3.2 การเสริมน้ำมันพืชที่มีกรดไขมัน โอลิอิกอยู่สูงสามารถเพิ่มไขมันแทรกในโคเนื้อ ลูกผสมบราห์มัน \times พื้นเมือง

1.3.3 การเสริมน้ำมันพืชที่มีกรดไขมัน โอลิอิกอยู่สูงสามารถเพิ่มระดับของกรดไขมัน โอลิอิกในเนื้อโคลูกผสมบราห์มัน \times พื้นเมือง

1.3.4 การเสริมน้ำมันพืชที่มีกรดไขมัน โอลิอิกอยู่สูงไม่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยากระเพาะหมักของโคเนื้อลูกผสมบราห์มัน \times พื้นเมือง

1.3.5 การเสริมน้ำมันพืชที่มีกรดไขมัน โอลิอิกอยู่สูงสามารถเพิ่มระดับของกรดไขมัน โอลิอิกในกระเพาะหมักของโคเนื้อลูกผสมบราห์มัน \times พื้นเมือง

1.4. คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

Bio-Hydrogenation Oleic acid Marbling score Carcass quality กรดไขมัน

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาผลของการเสริมไขมันพืชที่มีกรดไขมัน โอลิอิกอยู่สูงได้แก่น้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวต่อผลผลิตโคเนื้อ คุณภาพซากคุณภาพเนื้อโค องค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อ ระบบนิเวศวิทยาภายในกระเพาะหมักและการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของกรดไขมันภายในกระเพาะหมัก โดยใช้โคลูกผสมบราห์มัน × พื้นเมือง

1.6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 เกษตรกรสามารถเพิ่มคุณภาพซากและคุณภาพเนื้อโคลูกผสมบราห์มัน × พื้นเมือง เพื่อที่เกษตรกรจะมีรายได้เพิ่มขึ้น

1.6.2 สามารถนำงานวิจัยไปต่อยอดเพื่อศึกษาถึงระดับที่เหมาะสมและต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ได้ในอนาคต

1.6.3 ทราบถึงปริมาณของกรดไขมันในเนื้อโคลูกผสมบราห์มัน × พื้นเมืองที่ได้รับการเสริมไขมันพืชที่มีกรดไขมัน โอลิอิกอยู่สูง เพื่อเป็นประโยชน์ทางด้านโภชนาการในอาหารเพื่อเป็นจุดที่สามารถดึงดูดความสนใจของผู้บริโภค

1.6.4 ทราบถึงระบบนิเวศวิทยาภายในกระเพาะหมักของโคเนื้อลูกผสมบราห์มัน × พื้นเมืองที่ได้รับการเสริมไขมันพืชที่มีกรดไขมัน โอลิอิกอยู่สูงเพื่อต่อยอดในการทำผลิตภัณฑ์ไขมันไหลผ่านเพื่อป้องกันการ Hydrogenated ไขมันของจุลินทรีย์

1.7 เอกสารอ้างอิง

- กรมปศุสัตว์. (2552). *สรุปแผนยุทธศาสตร์การพัฒนาโคเนื้อ ปี 2555–2559*. [ออนไลน์] ได้จาก http://www.dld.go.th/s_beef/images/documents/s_beef55_59_p.doc
- Chung, K. Y., and B.J., Johnson. (2010). Oleic acid enhances GPR43 and AMPK in a muscle cell transdifferentiation model. **American Society of Nutrition**. Anaheim, California [Abstract]
- Duckett, S. K., D. G., Wagner, L. D., Yates, H. G., Dolezal, and S. G., May. (1993). Effects of time on feed on beef nutrient composition. **J. Anim. Sci.** 71: 2079-2088.
- Pavan E., and S. K., Duckett. (2007). Corn oil supplementation to steers grazing endophyte-free tall fescue. II. Effects on longissimus muscle and subcutaneous adipose fatty acid composition and stearoyl-CoA desaturase activity and expression. **J. Anim. Sci.** 85:1731-1740.
- Smet S. De., K., Raes, and D., Demeyer. (2004). Meat fatty acid composition as affected by fatness and genetic factors: a review. **J. Anim. Res.** 53: 81 – 98.

บทที่ 2

ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ไขมันแทรกคือลักษณะไขมันที่แทรกอยู่ในมัดกล้ามเนื้อที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าอย่างชัดเจนมองเห็นเป็นเส้นเล็ก ๆ กระจายตัวอยู่ภายในกล้ามเนื้อการสะสมของไขมันแทรกในส่วนต่าง ๆ ของร่างกายไม่เท่ากันจะเพิ่มขึ้นจากส่วนหัวไปยังส่วนท้ายของซากเป็นไขมันที่ร่างกายสะสมเป็นลำดับสุดท้ายแต่จะถูกนำไปใช้ก่อนเมื่อร่างกายขาดแคลนพลังงานการที่โคเคียดหรืออดอาหารก่อนฆ่าเคยมี ความเชื่อว่าการมีไขมันแทรกในกล้ามเนื้อแสดงถึงความนุ่ม (Tender) ของเนื้อแต่มีการศึกษาพบว่าไขมันแทรกมีผลต่อความนุ่มของเนื้อเพียงร้อยละ 5 ถึง 10 เท่านั้นการมีไขมันแทรกมีส่วนทำให้เนื้อนุ่มและชุ่มฉ่ำโดยเฉพาะในเนื้อส่วนที่มีราคาสูงแต่ไม่ได้หมายความว่าเนื้อที่ไม่มีไขมันแทรกจะไม่นุ่มถ้าฆ่าโคที่อายุน้อยความนุ่มเนื่องจากไขมันแทรกไม่มีผลแต่อย่างใดการที่ไขมันแทรกทำให้เนื้อนุ่มเนื่องจากไขมันมีโครงสร้างที่อ่อนนุ่มเมื่อไปแทรกอยู่ระหว่างเส้นใยกล้ามเนื้อเนื้อย่อยทำให้โครงสร้างของเนื้อมีความแข็งแรงลดลงแผ่นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่หุ้มรอบมัดเส้นใยกล้ามเนื้อ (Perimysium) ที่มีไขมันมากจะทำให้เส้นใยกล้ามเนื้อแยกจากกันได้ง่ายเมื่อเคี้ยวและไขมันทำให้ปากรู้สึก (Mouth feel) ถึงความนุ่มของเนื้อที่ทำให้ชุ่มฉ่ำเนื่องจากไขมันช่วยเพิ่มการไหลเวียนของน้ำลายในปากและช่วยในการบดเคี้ยวลดการสูญเสียของน้ำขณะที่ปรุงอาหารและความชุ่มฉ่ำมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความนุ่มนอกจากนั้นไขมันยังมีส่วนเกี่ยวข้องกับขบวนการทางเคมีที่ทำให้เกิดกลิ่นที่น่ากิน

การประเมินไขมันแทรกจะใช้วิธีการประเมินที่เนื้อสันตำแหน่งระหว่างซี่โครงที่ 12 และ 13 โดยระดับเกณฑ์ของไขมันแทรกจะถูกใช้แตกต่างกันไปตามสมาคม หรือ ประเทศต่าง ๆ เช่น ญี่ปุ่นจะใช้ระดับการประเมินไขมันแทรกในเนื้อโคที่ 12 ระดับ โดยระดับที่ 1 เป็นระดับที่มีไขมันแทรกน้อยสุด ระดับที่ 12 เป็นระดับที่มีไขมันแทรกมากที่สุด ประเทศสหรัฐอเมริกาใช้ที่ 6 ระดับ ส่วนประเทศไทยจะใช้มาตรฐานระดับไขมันแทรกที่ 5 ระดับเป็นต้น

โคแต่ละท้องถิ่นของโลกมีคุณภาพซากแตกต่างกันเช่น พันธุ์วากิวเป็นพันธุ์ที่ให้ไขมันแทรกสูงที่สุดในระหว่างโคพันธุ์ต่าง ๆ โคสายพันธุ์อังกฤษได้แก่เฮียร์ฟอร์ดแองกัสและชอร์ตฮอร์น โคชาร์โรเล่ส์มีเนื้อแดงมากที่สุด โคสายพันธุ์อังกฤษมีน้อยที่สุด โคบราห์มันอยู่ระหว่างทั้งสองกลุ่มในทางกลับกัน โคอังกฤษมีไขมันแทรกในเนื้อสันมากที่สุด โคชาร์โรเล่ส์มีน้อยที่สุด โคบราห์มันอยู่ระหว่างกลางเช่นเดียวกัน โคนมโฮลสไตน์มีไขมันน้อยกว่าโคสายพันธุ์อังกฤษที่นำหน้าซากเท่ากัน โควากิวของญี่ปุ่นมีไขมันแทรกมากที่สุด

2.1 การสะสมไขมันในซากและกล้ามเนื้อ

ปริมาณไขมันที่สะสมในซาก (Carcass) และในกล้ามเนื้อชั้นใน (Intramuscular) เป็นผลมาจากปัจจัยภายนอก (Phenotypic) และพันธุกรรม (Genetic) (Smet, Raes and Demeyer, 2004) การสะสมไขมันนั้นเป็นผลมาจากกระบวนการ de novo Fatty acid synthesis และการดูดซึมจากกรดไขมัน (Exogenous fatty acid) นอกจากนี้ปริมาณกรดไขมันที่สะสมในเนื้อยังขึ้นอยู่กับสายพันธุ์และเพศอีกด้วย (Nurnberg, Wegner and Ender, 1998) การสะสมไขมันในเนื้อแดงในโคพบว่าโคเพศผู้ (Bulls) มากกว่าโคเพศผู้ตอน (Steers) สะสมมากกว่าโคสาว (Heifers) และความแตกต่างระหว่างการโตเต็มที่ (Maturity) อายุ (Age) และน้ำหนักมีชีวิต (Live weight) ก็มีผลต่อปริมาณของไขมันด้วย ซึ่งโคในช่วงเจริญเติบโตและช่วงสะสมไขมันจะเพิ่มปริมาณการสะสมในอันดับแรกมีการสะสมที่ใต้ผิวหนัง (Subcutaneous) ถัดมาที่กล้ามเนื้อชั้นใน (Intramuscular)

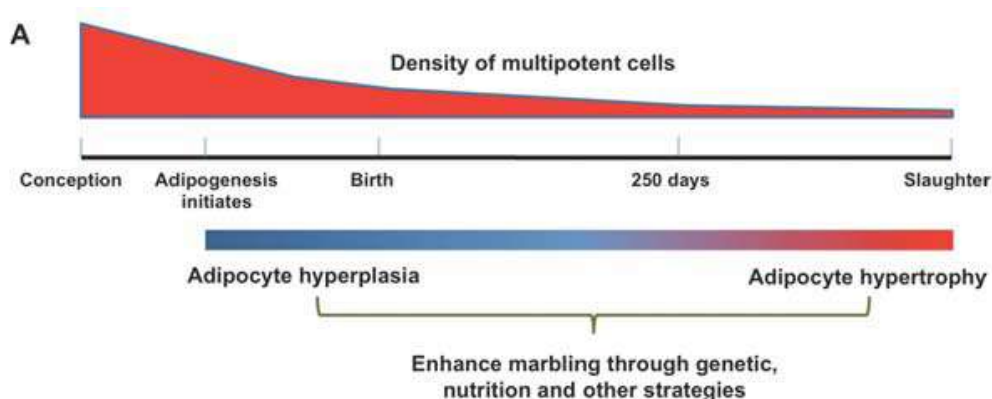
2.2 ประโยชน์ของการสะสมไขมัน

การสะสมของไขมันในกล้ามเนื้อเกิดจากการพัฒนาของ Myofibers ซึ่งเป็นส่วนของ Perimysial connective tissues โดยการสะสมนั้นเกิดจากกระบวนการสังเคราะห์ Triacylglycerol ซึ่งจะสังเคราะห์ Triacylglycerolpalmiticacid จะรวมตัวกับกรดไขมันอื่น ๆ สะสมอยู่ในรูป Triacylglycerol แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการสะสมไขมันในใต้ผิวหนังเกิดขึ้นมากกว่าการสะสมในไขมันแทรก (Smith and Crouse, 1984) การสะสมไขมันในกล้ามเนื้อนั้นกลูโคสเป็นส่วนสำคัญในการสังเคราะห์กรดไขมันมากกว่าไขมันใต้ผิวหนังโดยการให้คาร์บอนอะตอมในการสังเคราะห์กรดไขมันดังนั้นไขมันสองตำแหน่งนี้มีความแตกต่างกันทั้งในด้านการสังเคราะห์

Adipose tissue มีความเกี่ยวข้องกับระบบต่อมไร้ท่อคือจะทำการหลั่ง Leptin ซึ่งฮอร์โมน Leptin มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโต กระบวนการเมแทบอลิซึมและพฤติกรรม เช่นในสัตว์ที่มีไขมันที่สูงจะมีการกินได้ต่ำเนื่องจาก Leptin ส่งผลต่อความอยากอาหารของสัตว์ องค์ประกอบของ adipose tissue มีความหลากหลายแต่องค์ประกอบหลัก ๆ คือ Triacylglycerol ที่สะสมเก็บเอาไว้ใช้ในยามที่พลังงานขาดแคลน

การเกิดไขมันแทรกในกล้ามเนื้อเกิดจากกระบวนการ Adipocyte Lipogenesis โดยกระบวนการของ Adipocyte Lipogenesis เกิดขึ้นโดย Triglycerides ใน Adipose tissue ถูก Hydrolyzed เกิด 3 Free fatty acid + Glycerol กระบวนการนี้เกิดจาก Enzyme hormone-sensitive lipase (HSL) ซึ่งควบคุมโดยฮอร์โมน Insulin และ Catecholamines โดย Catecholamines จะทำการกระตุ้น Beta-adrenergic receptors ของ Adipocytes ส่วน Insulin จะทำการไปยับยั้งกระบวนการ Lipolysis หรือกระบวนการสลายไขมัน (García-Escobar, Soriquer, Sara García-Serrano, Gómez-Zumaquero, Morcillo, Haro and Martínez, 2008) จึงทำให้มีการสร้างเม็ดไขมันจากการเพิ่มจำนวน

เซลล์ (Hyperplasia) ของ Fibroblasts ให้เป็น Preadipocytes จากนั้น Preadipocytes จะขยายตัว (Hypertrophy) เป็นในรูปของเม็ดไขมันที่เราสามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าหรือที่เรียกกันว่า Mature adipocytes ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 แสดงการขยายตัวของเซลล์ไขมันในกล้ามเนื้อในระยะต่าง ๆ (Du an Dodson, 2010)

จากภาพที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงระยะของการเปลี่ยนแปลงเซลล์ไขมันในกล้ามเนื้อ โดย Adipocytes จะลดลงเมื่อสัตว์มีอายุเพิ่มมากขึ้น ในทางกลับกัน Adipocytes จะขยายตัวเมื่ออายุมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงเวลาขุนพบว่าโคในประเทศไทยจะเริ่มทำการขุนที่ 12 เดือนเป็นอย่างต่ำ ซึ่งเป็นช่วงที่ Adipocytes มีการเพิ่มจำนวนที่ช้าลงแต่มีการขยาย Adipocytes ที่สูง ดังนั้นเมื่อดูที่ตลาดเนื้อชั้นสูงก็จะเห็นว่า Adipocytes นั้นมีขนาดใหญ่หรือที่เรียกว่า Mature adipocyte สามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน

มีปัจจัยหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างไขมันในกล้ามเนื้อเช่น อายุพันธุ์ เพศ และ อาหาร อย่างไรก็ตามปัจจัยเกี่ยวกับอาหารเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อการสะสมของไขมันในกล้ามเนื้อ (Vernon, 1986; Hood, 1982; Chilliard and Robelin, 1985) โดยการขยายตัวของไขมันนั้นมีการควบคุมโดย Stearoyl-CoA desaturase (SCD) (Martin, Lunt, Britain and Smith, 1999)

2.3 องค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อโค

องค์ประกอบของไขมันในเนื้อโค ในที่นี้หมายถึง ไขมันแทรก สามารถปรับเปลี่ยนได้โดย Time on feed Finishing diet และ Breed type ปัจจัย 3 ประการนี้มีอิทธิพลอย่างมากต่อองค์ประกอบของ fatty acid ในเนื้อโค ทั้งปริมาณของไขมันแทรกและความเข้มข้นของ Monounsaturated fatty acids (MUFA) เพิ่มขึ้นตาม Time on feed

กรดไขมันที่ทำให้ไขมันนุ่มในโคเนื้อ คือ Oleic acid (C18:1n-9) ความเข้มข้นของ oleic acid จะมีความสัมพันธ์กับความน่ากินโดยรวมของเนื้อโค (Waldman, Suess, and Brungardt, 1968;

Westerling and Hedrick, 1979) ดังนั้นปัจจัยจากอาหารหรือผลผลิตใด ๆ ซึ่งทำให้ Stearic acid เปลี่ยนไปเป็น Oleic acid จะช่วยเพิ่มความนุ่มของไขมัน ในเนื้อเยื่อสัตว์จะมี Fatty desaturases 3 ชนิด คือ $\Delta 5$ $\Delta 6$ และ $\Delta 9$ Desaturase จากเอนไซม์เหล่านี้มีเพียง $\Delta 9$ Desaturase ที่กระทำต่อ Saturated fatty acids (SFA) เพื่อเปลี่ยนไปเป็น Monounsaturated fatty acids (MUFA) ในขณะที่ fatty acid ที่มีมากที่สุดเนื้อโค คือ Oleic acid ที่ถูกผลิตโดย $\Delta 9$ Desaturation ของ Stearic acid เอนไซม์ $\Delta 9$ Desaturase ซึ่งถูก Encoded โดย Stearoyl-CoA desaturase (SCD) gene ซึ่งเปลี่ยน Trans-vaccenic acid (TVA) ไปเป็น Conjugated linoleic acid (CLA) isomer cis-9, trans-11 CLA ประมาณ 5% ของ total fatty acids เนื้อโคประกอบด้วย Polyunsaturated fatty acids (PUFA) ซึ่งที่มีมากที่สุด คือ Linoleic acid ทำนองเดียวกันกับกรณีของ MUFA และ Cis-9, trans-11 CLA กรดไขมัน PUFA ประกอบด้วย Double bond ที่ $\Delta 9$ Position

ปกติแล้ว จะพบ MUFA : SFA ratio สูงสุดในเนื้อที่มีอายุมากที่สุด แต่ในปัจจุบันเป็นที่ทราบแล้วว่า ใน Neutral lipid ของกล้ามเนื้อ และ Total adipose tissue lipid เนื้อโค จะมีการยกระดับของ MUFA และพร้อมกันนั้นจะมีการลดลงของ SFA เมื่อระยะเวลาของการขุนด้วย grain นานขึ้น (Huerta-Leidenz et al., 1996; Malau-Aduli, Siebert, Bottema and Pitchford, 1997; Rule, MacNeiland Short, 1997; Chung, Lunt, Choi, Chae, Rhoades, Adams, Booren and Smith, 2006b) ดูเหมือนว่า ส่วนหนึ่งของการเพิ่มขึ้นของ MUFA ตลอดระยะเวลาของการขุน ใน Subcutaneous adipose tissue นั้นเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของ SCD gene expression และพร้อมกับการเกิด Catalytic activity ใน Corn-fed steers (Chung et al., 2007; Jiang et al., 2008; Duckett et al., 2009) การให้โคได้รับ Pasture จะลด SCD gene expression อย่างมาก (Chung, Lunt, Kawachi, Yano, and Smith, 2007; Duckett, Pratt and Pavan, 2009) เป็นผลให้มีการเพิ่มขึ้นของ SFA เนื้อโค การให้โคได้รับ Pasture หรือ Hay เป็นเหตุให้ Marbling scores ลดลงเช่นกัน ถึงแม้โคจะมีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นก็ตาม (Lunt, Choi, Chung and Smith, 2005)

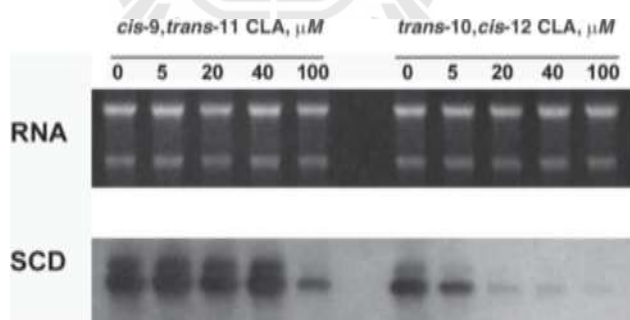
2.4 การสะสมไขมันใน Marbling

Marbling fat ประกอบด้วย Individual fatty acids มากกว่า 20 ชนิด อย่างไรก็ตาม Fatty acid หลัก มีเพียง 6 ชนิด ที่มีรวมกันมากถึง 92% ของ Fatty acid ทั้งหมด Fatty acid หลัก ๆ ใน Beef marbling fat นี้ ได้แก่ Oleic Palmitic Stearic Linoleic Palmitoleic และ Myristic acids องค์ประกอบ Fatty acid ใน Beef marbling fat ประกอบด้วย 44% Saturated fatty acids (SFA) 5% Odd-chain fatty acids (OCFA) 45% Monounsaturated fatty acids (MUFA) และ 5% Polyunsaturated fatty acids (PUFA) (Duckett, Wagner, Yates, Dolezal, and May, 1993) อาหารมนุษย์ที่มีองค์ประกอบของไขมัน MUFA อยู่สูง จะมีประสิทธิภาพในการลดระดับ Cholesterol ในกระแสเลือดได้ดีเท่า ๆ กับอาหารที่มี

องค์ประกอบของ PUFA (Gustafsson, Vessby, Ohrvall And Nydah, 1994) Myristic และ Palmitic acids เป็น SFA ที่เป็น Hypercholesterolemia หรือเพิ่มระดับของ Cholesterol (Hegsted, McGandy, Myers And Stare, 1965) Stearic acid เป็น SFA อย่างไรก็ตาม อาหารที่มีระดับของ Stearic acid อยู่สูง สามารถลด cholesterol ในกระแสเลือด เมื่อเปรียบเทียบกับ SFA ชนิดอื่น ๆ (Denke and Grundy, 1991) Stearic acid สามารถเปลี่ยนไปเป็น Oleic acid การที่จะเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของไขมันใน Marbling นั้น UFA ในอาหารต้องหลบเลี่ยงกระบวนการ Biohydrogenation ในกระเพาะหมัก เพื่อการดูดซึมและสะสมในเนื้อเยื่อไขมันต่อไป กระบวนการ Biohydrogenation ในกระเพาะหมักของ UFA ในอาหาร (eighteen carbon fatty acids) ในโคเพศผู้ตอนที่ได้รับอาหารชั้นสำหรับโคขุนในระดับสูง ประมาณ 64 ถึง 69% ของการกินได้ (Ekeren, Smith, Lunt and Smith, 1992) องค์ประกอบของ UFA ในอาหารโคขุนทั่ว ๆ ไป ใน Digesta จากลำไส้เล็กส่วนต้น และใน Marbling เท่ากับ 79% 20% และ 49% ตามลำดับ

ในขณะที่มีการสะสม Intramuscular lipid พร้อมกันนี้ จะมีการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของ Oleic acid จากระดับต่ำประมาณ 30% เป็น 50% ของ Total adipose tissue fatty acids (Chung et al., 2006b) ข้อมูลจากการศึกษานี้ชี้ให้เห็นถึงว่ามีสหสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญระหว่างปริมาณของ Intramuscular lipid กับความเข้มข้นของ MUFA ในเนื้อโค การเพิ่มขึ้นของ Intramuscular lipid ของเนื้อโคเป็นผลมาจากการขยายตัวของ Marbling adipocyte ในโคเพศผู้ตอนพันธุ์ Angus แทะเล็มทุ่งหญ้าธรรมชาติ จนกระทั่งมีอายุ 12 เดือน Marbling adipocyte จะมีไขมันอยู่น้อย แทบมองไม่เห็น และ MUFA : SFA ratio ในเนื้อโคอยู่ที่เพียงระดับ 0.83 หลังจากโคเพศผู้ตอนนี้ได้รับ corn-based finishing diet เป็นระยะเวลา 4 เดือนต่อมา ปริมาตรของ Marbling adipocyte เพิ่มขึ้นอย่างมาก และ MUFA : SFA ratio เพิ่มขึ้นเป็น 1.04 พอจะสรุปได้ว่า ในขณะที่ Marbling adipocyte เพิ่มขนาดขึ้น intracellular MUFA จะเพิ่มขึ้นพร้อม ๆ กัน เนื่องจาก Oleic acid สะสมเพิ่มขึ้นอย่างมากด้วยในสัตว์หลายชนิด ความเข้มข้นของ Oleic acid ใน adipose tissue เป็นผลมาจากความเข้มข้นของ Oleic acid ในอาหาร (St. John et al., 1987) แต่ในสัตว์เลี้ยงเอื้อง เช่น โคนเนื้อ Oleic acid ส่วนใหญ่จะถูก Hydrogenate เป็น Stearic acid โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก (Ekeren et al., 1992) งานวิจัยในทศวรรษที่ 1990s แสดงให้เห็นว่า Adipose tissue ของโคเนื้อจะมีกิจกรรมของ SCD (St. John, Lunt and Smith, 1991; Chang et al., 1992) และ Gene expression (Cameron, Rogers, Oman, May, Lunt and Smith, 1994) สูงกว่าในกล้ามเนื้อ ตับ หรือเยื่อเมือกในลำไส้ ทำนองเดียวกัน (Archibeque, Gilbert, Mersmann and Smith, 2005) แสดงให้เห็นว่า Subcutaneous adipose tissue จะมีกิจกรรมของ SCD ประมาณเป็น 2 เท่า ของ Marbling adipose tissue ซึ่งสอดคล้องกับความเข้มข้นของ MUFA ใน Subcutaneous จะสูงกว่าใน (Sturdivant, Lunt, Smith and Smith, 1992; May, Sturdivant, Lunt, Miller and Smith, 1993) SCD gene expression เพิ่มขึ้นหลังจากหย่านมใน Subcutaneous

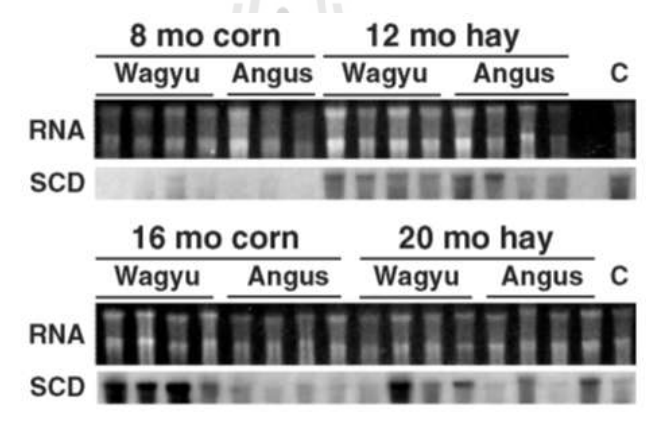
adipose tissue ของโคเพศผู้ตอนที่ได้รับ Corn-based finishing diet (Martin et al., 1999) และกิจกรรม SCD ยังคงอยู่ในระดับสูง ถึงแม้ว่า SCD gene expression จะเริ่มลดลงก็ตาม (Chung et al., 2007) ทำนองเดียวกัน (Lee, Yoon, Choi, Hwang, Cheong, Cheong, and Lee, 2005) สังเกตพบ SCD mRNA เพิ่มขึ้นสูงสุดที่อายุ 12 เดือน ในกล้ามเนื้อของโคเพศผู้ตอนพันธุ์ Hanwoo อัตราของการเกิด de novo fatty acid biosynthesis ใน Adipose tissue เพิ่มขึ้นทีละน้อยหลังจากหย่านม แต่หลังจากการเพิ่มขึ้นของ Desaturase gene expression (Martin et al., 1999) จากข้อมูลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่ากิจกรรมของ SCD นั้นมีความจำเป็นต่อการพัฒนาความสามารถในการสะสมไขมันใน Subcutaneous adipose tissue ของโคเพศผู้ตอนที่กำลังเจริญเติบโต ผลการทดลองดังกล่าวข้างต้นสอดคล้องกับข้อมูลที่ทดลอง Cell culture ที่ว่า SCD gene expression เพิ่มขึ้นมากในระหว่าง Adipocyte differentiation อย่างไรก็ตาม (Choi, Park, Storkson, Pariza and Ntambi, 2002) แสดงให้เห็นว่า trans-10, cis-12 isomer ของ CLA จะลด SCD gene expression อย่างมากในเซลล์มะเร็งที่ตับและเต้านมมนุษย์ในงานวิจัยในโคเนื้อเกี่ยวกับ Preadipocytes cell line Trans-10, cis-12 CLA เกือบจะทำลาย SCD gene expression ในขณะที่ cis-9, trans-11 CLA ไม่ส่งผล เว้นแต่จะมีอยู่ในระดับที่สูงมาก (Chung, Choi, Kawachi, Yano, and Smith, 2006a) isomer trans-10, cis-12 สามารถลดการสะสมไขมันได้เช่นเดียวกัน (Chung et al., 2006a) พร้อมกับกับการลดลงของ SCD gene expression Trans-10, cis-12 CLA ลด MUFA : SFA ลงเช่นเดียวกัน



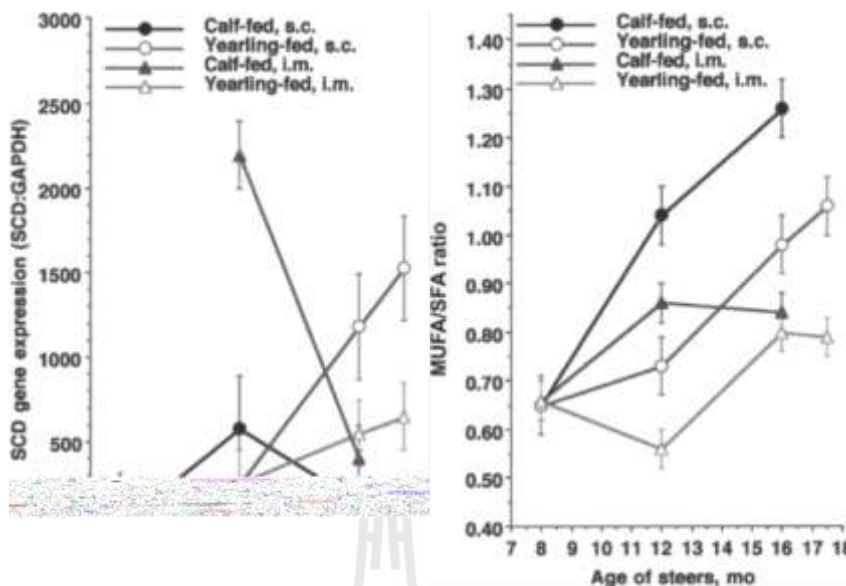
ภาพที่ 2.2 Stearoyl-CoA desaturase gene expression ต่อ CLA isomer *c9*, *t11* และ *t10*, *c12* (Chung et al., 2006a)

จากภาพที่ 2.2 *t10*, *c12*-CLA isomer เป็น Isomer ที่ยับยั้งการแสดงออกของ Stearoyl-CoA desaturase ดังนั้นควรหลีกเลี่ยงการให้อาหารที่มีองค์ประกอบของ *t10*, *c12*-CLA หรือการให้อาหารที่สามารถสังเคราะห์ *t10*, *c12*-CLA ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้โดยพบ *t10*, *c12*-CLA ได้ในอีกทั้งโคที่ถูกเลี้ยงโดยการปล่อยทุ่งแต่เมื่อเปรียบเทียบกับโคที่ทำการขุนพบว่าโคที่ขุนด้วยอาหารชั้นมีระดับไขมันในกล้ามเนื้อที่ดีกว่าอาจเป็นเพราะว่าการปล่อยทุ่งนั้น โคมีการใช้พลังงานในการเดินแทะเล็มมากจึงมี

การสะสมไขมันในระดับต่ำส่วน โคที่ทำการขุนด้วยอาหารชั้นนั้น โดยใช้พลังงานน้อยมากแต่อาหารมีพลังงานสูงจึงทำให้มีการสะสมไขมันที่สูงกว่ารวมทั้งการปล่อยแปลงนั้นมีโอกาสสูงต่อการเกิด CLA ซึ่ง *t10, c12* CLA Isomer เป็นตัวยับยั้งการทำงานของ Stearoyl-CoA desaturase ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น การแสดงออกของ Stearoyl-CoA desaturase ในไขมันแทรกในกล้ามเนื้อจะลดลงตามอายุที่มากขึ้น รายงานของ Chung, Lunt, Kawachi, Yano and Smith (2007) ได้ทำการตรวจสอบระดับของ Stearoyl-CoA desaturase และ Enzyme activity ของโคสองพันธุ์ได้แก่ Wagyu และ Angus ที่ทำการเลี้ยงเหมือนกันโดยแบ่งเป็น 2 ระบบ คือการขุนระยะสั้น และการขุนด้วยระยะยาว พบว่าระดับของ Stearoyl-CoA desaturase ความแตกต่างกันในแต่ละช่วงการขุนเช่นเดียวกับอาหารที่แสดงให้เห็นว่าการขุนก็มีผลต่อระดับ Stearoyl-CoA desaturase แตกต่างกัน ($P < 0.05$) แต่ระดับสัดส่วนของ MUFA : SFA ในโคที่ขุนระยะยาวมีสัดส่วนที่สูงขึ้นแตกต่างกับโคที่ขุนระยะสั้น ($P < 0.05$)

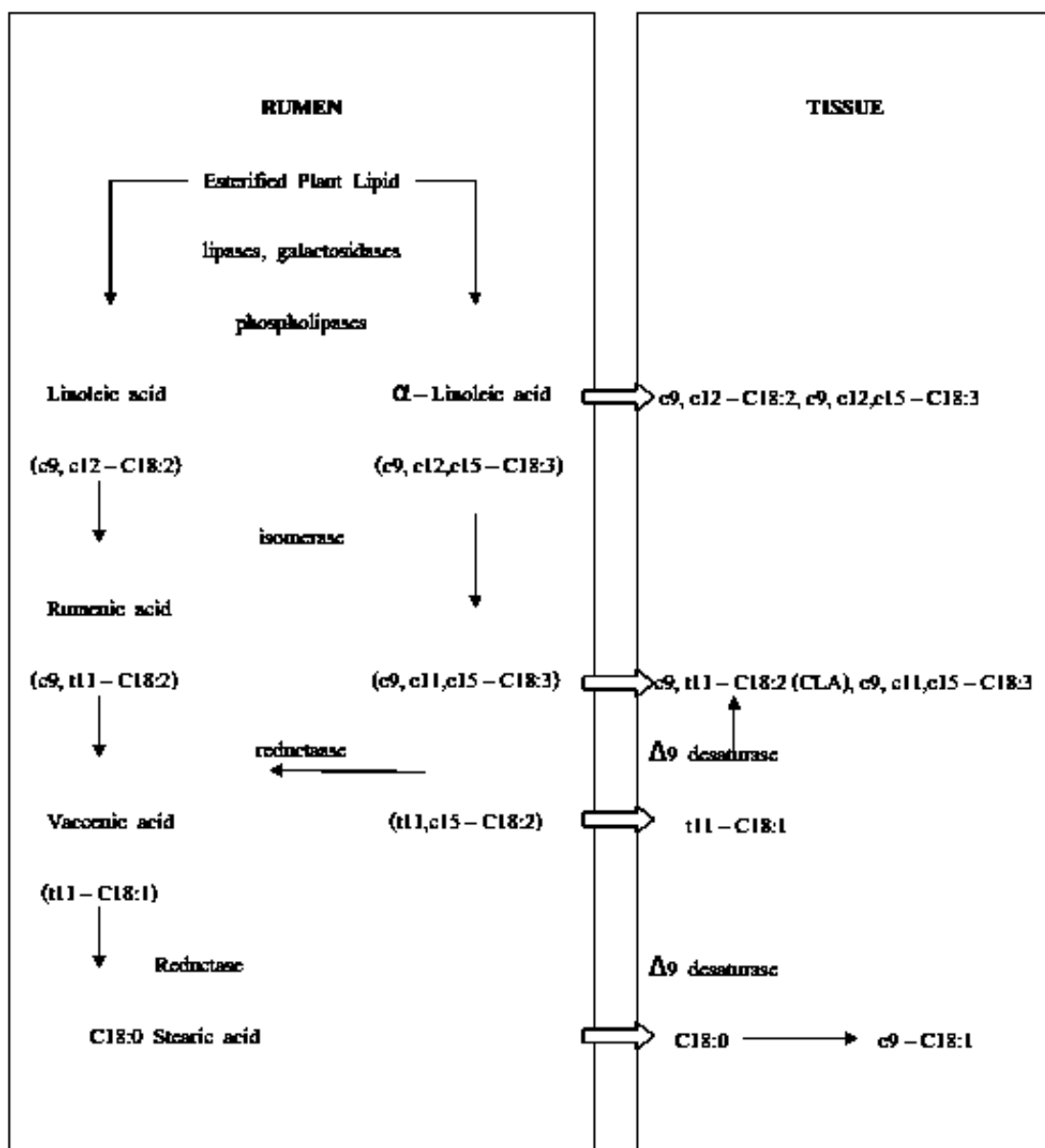


ภาพที่ 2.3 การแสดงออกของ Stearoyl-CoA desaturase ในช่วงอายุขุนของโค Wagyu และ Angus (Chung et al., 2007)



ภาพที่ 2.4 แสดงระดับของ Stearoyl-CoA desaturase และสัดส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวตำแหน่งเดียวต่อกรดไขมันอิ่มตัวในช่วงอายุต่าง ๆ ของโค (Smith et al., 2008)

จากภาพที่ 2.4 อธิบายได้ว่าเมื่อขุนโคที่การเริ่มขุนต่างกันพบว่าการขุนตั้งแต่เป็นลูกโคมีการแสดงออกของ SCD ในไขมันแทรกในกล้ามเนื้อสูงที่สุดและจะลดลงเมื่ออายุมากขึ้นสอดคล้องกับระดับกรดไขมันไม่อิ่มตัวตำแหน่งเดียวเมื่อถึงจุด ๆ หนึ่งก็จะลดลงตามอายุ ขัดแย้งกับไขมันได้ผิวหนังที่เมื่ออายุเพิ่มขึ้นการแสดงออกของ SCD ก็เพิ่มขึ้นด้วย เช่นเดียวกับระดับกรดไขมันไม่อิ่มตัวตำแหน่งเดียวก็เพิ่มขึ้นตามอายุที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยเหตุผลที่ระดับกรดไขมันไม่อิ่มตัวตำแหน่งเดียวที่เพิ่มขึ้นเกิดจากการทำงานของ Stearoyl-CoA desaturase จะทำการเปลี่ยนกรดไขมันอิ่มตัวให้กลายเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 การเปลี่ยนกรดไขมันอิ่มตัวให้กลายเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว Jenkins (1993)

จากภาพกระบวนการ Bio-hydrogenation ในกระเพาะหมักซึ่งจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักจะป้องกันการเกิดพิษแก่ตนเองจากกรดไขมันไม่อิ่มตัวโดยการเปลี่ยนกรดไขมันอิ่มตัวซึ่งผลผลิตสุดท้ายของกระบวนการคือ Stearic acid ซึ่งเกิดขึ้นได้ 60-80% ของการให้อาหารที่เป็นไขมันและเมื่อถูกดูดซึมเข้าไปที่เนื้อเยื่อจะถูกเปลี่ยนเป็น Oleic acid โดย $\Delta 9$ desaturase เช่นเดียวกันกับการสังเคราะห์ CLA จาก trans vaccenic

เมื่อศึกษาถึงองค์ประกอบของกรดไขมันในไขมันแทรกพบว่ามีระดับของ Oleic acid จำนวนสูงระดับ 41-42% of total fatty ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดง Fatty acid Profiles ในอาหารที่อาหารไรทางเดินอาหารและในไขมันแทรก

Fatty acid	Feedlot Diet (%)	Digesta (%)	Marbling (%)
Stearic acid	2.21	51.14	17.46
Oleic acid	20.46	6.19	41.30
Linoleic acid	52.41	10.25	3.90
Alpha-Linolenic acid	6.73	0.64	0.70

ที่มา : (Duckket, Wagner, Yates, Dolezal and May, 1993)

จากตารางที่ 2.1 พบว่าระดับของ Stearic acid และ Oleic acid เป็นไปตาม แผนภาพ กระบวนการ Bio hydrogenation ในกระเพาะหมัก ซึ่งในทางเดินอาหาร Stearic acid เป็นผลผลิตสุดท้ายจากการทำงานของจุลินทรีย์ และถูกซึมไปที่เนื้อเยื่อนั้นจากสังเคราะห์โดย Δ^9 Desaturase กลายเป็น Oleic acid โดย Oleic acid มีผลต่อความน่ากิน (Waldman et al., 1968; Westerling and Hendrick, 1979) มีงานวิจัยพบว่าการกระตุ้นการทำงานของ Stearoyl-CoA desaturase สามารถกระตุ้นได้โดย Oleic acid ได้จากการศึกษาในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ (García-Escobar et al., 2008) จึงตั้งสมมุติฐานได้ว่าการเสริมวัตถุดิบอาหารที่เป็นแหล่งของ Oleic acid สามารถเพิ่มระดับไขมันแทรกในกล้ามเนื้อได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงผลของการเสริมวัตถุดิบอาหารที่เป็นแหล่งของ Oleic acid ต่อคุณภาพซากในโค

Reference	Treatment	Oleic acid (% of Total FA)	Level (%Of total feed)	Period (Days)	Marbling score *
Archibeque et al.(2005)	Whole cotton seed 0%	24.2	0%	107	4.91 ^a
	Whole cotton seed 5%	22.9	5%	107	4.10 ^b
	Whole cotton seed 15%	21.2	15%	107	4.05 ^b
Lee et al. (2003)	Control			90	4.75
	Oleamide	200g/d	73.1	90	5.18
	Ca-oleate	200g/d	74.5	90	5.58
Felton et al.(2004)	Control		0	76	4.66 ^b
	Bin-run	28.1	16	76	4.92 ^a
	High oleic acid	54.6	16	76	4.91 ^a
	Choice white grease	30.1	3.93	76	4.90 ^a
Gillis et al.(2004)	Control		0	60	5.40 ^b
	Corn oil ⁴	27	4	60	5.80 ^a
	Rumen protected CLA		2	60	5.30 ^b
Andrae et al.(2001)	Tropical corn		82.2	84	5.20 ^b
	High oil corn	35.01	81.9	84	5.67 ^a
	Isacaloric	33.32	74.0	84	5.25 ^b

หมายเหตุ : ^{a, b, c} ที่กำกับอยู่ในคอลัมน์เดียวกันแต่ละการทดลองแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

จากตารางที่ 2.2 ผลการทดลองของ Felton et al. (2004) พบว่าการเสริมอาหารที่เป็นแหล่งของ Oleic acid สามารถเพิ่มระดับไขมันแทรกในเนื้อโคได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Gillis et al. (2004) ที่ใช้ Corn oil ซึ่งมี Oleic acid สูง 27% Archibeque et al. (2005) ที่ไม่ทำการเสริม Whole cotton seed มีระดับไขมันแทรกสูงที่สุดเนื่องจาก Whole cotton seed เป็นแหล่งของ Omega 3 fatty acid ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ *n10, c12-CLA Isomer* ซึ่งเป็นตัวยับยั้งการทำงานของ Stearoyl-CoA desaturase ทำให้เกิดการสะสมไขมันที่น้อยนอกจากนี้ การเพิ่มจำนวนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวให้มีการไหลผ่านเพื่อไปดูดซึมที่ลำไส้เล็กที่มาก เนื่องจากมีเพียงเอนไซม์ตัวเดียวในลำไส้เล็กที่เปลี่ยนไขมันอิ่มตัวให้เป็นไขมันไม่อิ่มตัวคือ $\Delta 9$ desaturase ซึ่งถูก encoded โดย Stearoyl-CoA desaturase (SCD) gene นั้นสามารถเพิ่มระดับของไขมันแทรกได้ สอดคล้องกับผลการทดลองของ Andrae et al. (2001) ซึ่งใช้ High oil corn ที่มีระดับ Oleic fatty acid สูงสามารถเพิ่มระดับของไขมันแทรกได้ การเสริม Rumen protected oleic fatty acid พบว่าระดับไขมันแทรกในโคไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและมีแนวโน้มว่าการเสริม Rumen protected oleic fatty acid อาจทำให้ระดับไขมันแทรกลดลงในการเสริมที่ระยะเวลา 45 วัน (Lee et al., 2003) จึงสรุปได้ว่าการเสริมวัตถุดิบที่เป็นแหล่งของ Oleic acid สามารถที่จะเพิ่มระดับของไขมันแทรกในเนื้อโคได้แต่การใช้วัตถุดิบต้องเป็นแหล่งที่มีความเข้มข้นของกรดไขมันชนิดนี้ที่สูงเพื่อป้องกันการใช้ประโยชน์ของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักจนหมดและเพิ่มการไหลผ่านกรดไขมันไม่อิ่มตัวให้ไหลผ่านไปยังลำไส้เล็กมากที่สุด อย่างไรก็ตามการเสริม Bypass fat นั้นการไม่เพิ่มขึ้นของปริมาณไขมันแทรกในโคอาจจะระยะเวลาสั้น โดยมีแนวโน้มว่าจะเพิ่มขึ้น ($P < 0.10$) ส่วนการใช้ CLA Salt ในการทดลองของ Gillis et al. (2004) พบว่าไม่มีผลทำให้ระดับไขมันแทรกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) อันเนื่องจาก CLA เป็นสารที่ยับยั้งการสะสมไขมันในเนื้อจึงทำให้มีระดับของไขมันแทรกไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 2.3 แสดงผลของการเสริมวัตถุดิบอาหารที่เป็นแหล่งของ Oleic acid ต่อองค์ประกอบของ fatty acid profile ในเนื้อสันนอกของโค

Reference	Treatment	Fatty acid profile (% of total fatty acid)									
		C14:0	C15:0	C16:0	C17:0	C18:0	C18:1	C18:2	SFA	MUFA	PUFA
Felton et al.(2004)	Control	2.32		27.9	1.28	14.6	46.0	1.75	46.0	51.6	2.45
	Bin-run	2.48		26.6	1.17	15.1	45.4	3.41	45.3	50.7	4.17
	High oleic acid	2.35		26.6	1.05	13.5	48.7	1.63	43.5	54.3	2.28
	Choice white	2.40		27.5	1.24	15.3	46.8	1.37	46.3	51.9	1.67
Lee et al. (2003)	Control (45d)	-	-	-	-	-	50.81	2.24 ^b	41.93	55.25	2.81 ^b
	Oleamide(45d)	-	-	-	-	-	51.58	2.65 ^{ab}	40.51	56.20	3.28 ^{ab}
	Ca-oleate(45d)	-	-	-	-	-	48.00	3.38 ^a	57.87	53.69	4.18 ^a
	Control(90d)	-	-	-	-	-	51.16	2.20 ^b	59.34 ^b	56.25 ^b	3.09 ^b
	Oleamide(90d)	-	-	-	-	-	52.83	3.77 ^a	65.05 ^a	60.77 ^a	4.28 ^a
	Ca-oleate(90d)	-	-	-	-	-	50.90	3.96 ^a	63.06 ^a	58.46 ^b	4.59 ^a
Andrae et al.(2001)	Tropical corn	2.85	0.39 ^{ab}	26.94 ^a	0.97 ^b	16.90	39.99	3.78 ^b	46.41 ^a	43.35	4.69 ^b
	High oil corn	2.75	0.44 ^a	25.78 ^b	1.12 ^a	15.93	39.92	4.63 ^a	44.30 ^b	43.57	5.86 ^a
	Isacaloric	2.46	0.35 ^b	25.36 ^b	0.93 ^b	17.30	40.05	4.33 ^a	45.09 ^{ab}	43.41	5.53 ^a

หมายเหตุ : ^{a, b, c} ที่กำกับอยู่ในคอลัมน์เดียวกันแต่ละการทดลองแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

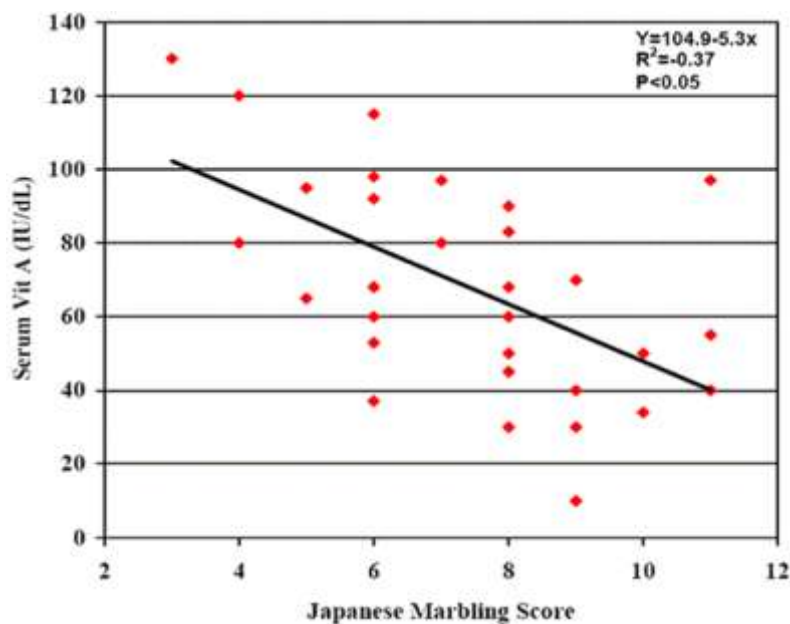
จากตารางที่ 2.3 พบว่าการทดลองของ Lee et al. (2003) และ Andrae et al. (2001) พบว่ามีระดับของ PUFA เพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและมีระดับของ Linoleic acid เพิ่มขึ้นแต่มีเพียงงานทดลองของ Andrae et al. (2001) ที่พบว่าระดับไขมันแทรกมีระดับที่เพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และทุกงานทดลองพบว่า Stearic acid ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) การเสริมน้ำมันปลาทำให้ระดับของ Oleic acid ลดลง ($P<0.05$) และงานทดลองของ Felton et al. (2004) ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่ระดับของไขมันแทรกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2.5 Stearoyl-CoA Desaturase (SCD)

จากที่ได้กล่าวมาในข้างต้นว่า Stearoyl-CoA desaturase (SCD) เป็น Enzyme ควบคุมการขยายตัวของไขมันและ $\Delta 9$ Desaturase ได้ถูก Encoded โดย SStearoyl-CoA desaturase (SCD) gene อย่างไรก็ตามก็มีสารอาหารบางชนิดที่สามารถลดการแสดงออกของ SCD ได้เช่น Vitamin A และ Vitamin D

2.5.1 Vitamin A

มีรายงานว่าเอนไซม์ 3 ชนิดที่เกี่ยวข้องในการสังเคราะห์กรดไขมันได้แก่ $\Delta 6$ $\Delta 9$ และ $\Delta 12$ desaturases แต่มีเพียง $\Delta 9$ desaturase ที่ทำหน้าที่เติมพันธะคู่ให้กับกรดไขมันอิ่มตัว (C18:0) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 9 และ 10 นับจากปลายด้านหมู่คาร์บอกซิล (Daniel, Wynm, Salter and Buttery, 2004) โดย Stearoyl-CoA desaturase มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการสะสมไขมันในเซลล์ไขมันการทำงานของ Vitamin A ต่อการควบคุมการสร้างเซลล์ไขมัน แสดงให้เห็นว่าเมื่อวิตามินถูก Retinal binding protein เป็นตัวลำเลียงวิตามินเอที่อยู่ในรูป Retinal เข้ามาจะถูก Retinal Acid Receptor (RAR) เป็นตัวรับ ซึ่ง RAR มีหน้าที่เป็นตัวรับ Retinal เข้าสู่เนื้อเยื่อเป้าหมาย เมื่อ RAR ทำงานร่วมกันกับ Retinal X Receptor (RXR) โดยปกติการทำงานในเชิงบวกของ Peroxisome Proliferator Activate Receptor (PPAR) และ Fatty acid Activate Receptor (FAAR) ที่เป็นเอนไซม์ควบคุมการเปลี่ยนแปลงเซลล์ไขมัน และตัวกระตุ้นการสร้างกรดไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งทั้ง PPAR และ FAAR คือกระบวนการทำงานที่สำคัญต่อระดับไขมันแทรก มีรายงาน (Kawada, Kamei and Sugimoto, 1996) ว่าเมื่อ RXR ทำงานร่วมกันกับ RAR จะไปยับยั้งกระบวนการทำงานของ PPAR และ FAAR ดังนั้น จากภาพจึงแสดงให้เห็นว่า Vitamin A ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เป็นตัวควบคุมการเปลี่ยนแปลงเซลล์ไขมัน และการตัวกระตุ้นการสร้างกรดไขมัน



ภาพที่ 2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Vitamin A และระดับไขมันแทรก (Oka, Maruo, Miki, Yamasaki, and Saito, 1998)

จากภาพที่ 2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Vitamin A และระดับไขมันแทรก พบว่าการศึกษาระดับซีรัม Vitamin A ในตัวมีความสัมพันธ์ในเชิงลบต่อระดับไขมันแทรก ($R^2 = -0.37$) จึงสันนิษฐานได้ว่าโคที่ได้รับอาหารที่มีการเสริม Vitamin A ส่งผลให้ระดับความเข้มข้นของซีรัม Vitamin A อยู่ในระดับที่สูงส่งผลให้ระดับไขมันแทรกอยู่ในระดับที่ต่ำ แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงผลของ Vitamin A ต่อคุณภาพซากในโคขุน

Reference	Treatment	Level (IU/Kg)	ADG Kg/d	Backfat (cm)	LM area (cm ²)	Marbling score [*]
Gorocica et al.(2007)	Lo VitA	0	1.70	1.35	80.5	556 ^a
	Hi VitA	2,200	1.72	1.37	80.6	525 ^b
Oka et al.(1998)	Lo VitA	0	0.59	1.83 ^a	-	9.8 ^{a***}
	Hi VitA	**	0.60	2.28 ^b	-	7.4 ^b
Gorocica et al.(2008)	Lo VitA	0	1.92	1.48	79.3	574
	Hi VitA	2,200	2.04	1.40	81.1	568

*marbling score Slight = 400 to 499, small = 500 to 599, and modest = 600 to 699

** The steers in the Hi-VitA were given seven doses of 20 ml

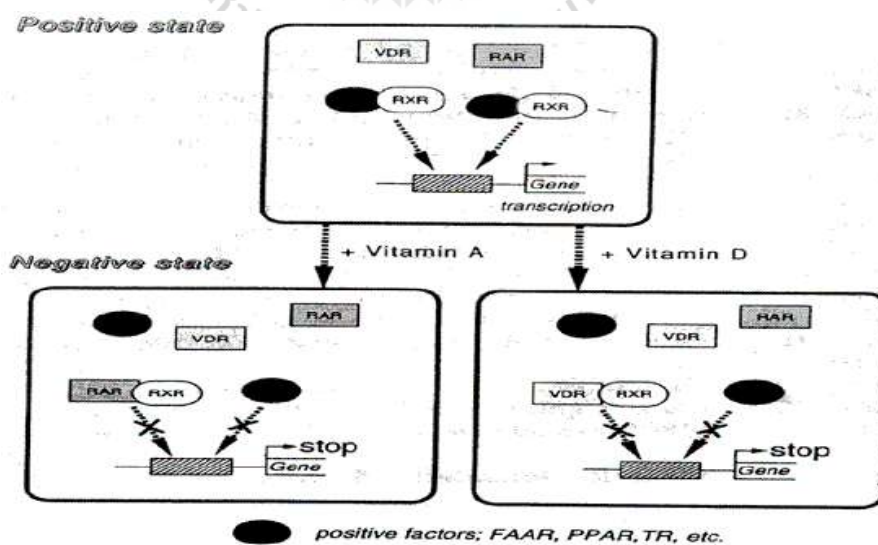
***represent 12 grades in Japanese wagyu

จากตารางที่ 2.4 แสดงผลของ Vitamin A ต่อคุณภาพซากในโคขุน ในการทดลองของ Gorocica et al. (2007) และ Oka et al. (1998) แสดงผลการทดลองที่สอดคล้องกันในการเสริมวิตามินเอทำให้ระดับไขมันแทรกลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจาก Vitamin A เข้าไปยับยั้งกระบวนการทำงานของเอ็นไซม์ที่ควบคุมการเปลี่ยนแปลงเซลล์ไขมัน (PPAR) และกระบวนการกระตุ้นการสร้างกรดไขมัน FAAR แต่ในการทดลองของ Gorocica et al. (2008) แสดงผลของการเสริม Vitamin A ต่อระดับไขมันแทรกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ซึ่งอาจเกิดจากโคที่นำมาทำการทดลองมีอายุมาก โดยโคเหล่านี้จะมีกระบวนการสร้างเซลล์ไขมันในกล้ามเนื้อที่ลดลงแตกต่างจากโคที่อายุน้อย

เกษตรกรในประเทศญี่ปุ่นนิยมให้อาหารที่มีระดับของ Vitamin A ในระดับที่ต่ำ โดยมีเหตุผลว่าจะทำให้คุณภาพซากสูงขึ้น ซึ่งเมื่อนำไปอธิบายทางวิทยาศาสตร์ Torii, Matsui, and Yano (1996) และ Adachi et al. (1999) ระดับความเข้มข้นของ Serum retinol มีความสัมพันธ์ในเชิงลบต่อระดับไขมันแทรกในโคขุนระยะสุดท้าย ($r = -0.71$) ($P<0.001$) เช่นเดียวกับ Gorocica-Buenfil et al. (2007) รายงานว่าระดับของวิตามิน A มีผลต่อระดับของไขมันแทรกโดย Vitamin A จะไปลดการแสดงออกของ $\Delta 9$ desaturaturase

2.5.2 Vitamin D

มีการศึกษาถึงระดับของ 1, 25 dihydroxyvitamin-D₃ (Montgomery et al., 2004; Torii, Matsumoto, Matsui, and Yano, 1995) รายงานว่า 1, 25 dihydroxyvitamin-D₃ ยับยั้งการแสดงออกของ adipocyte โดยการทำงานของ 1, 25 dihydroxyvitamin-D₃ ใน 3T3Lcell ทำให้เกิดการระงับการแสดงออกของยีนส์ PPAR (Hida, Kawada, Kayahashi, Ishihara and Fushiki, 1998)

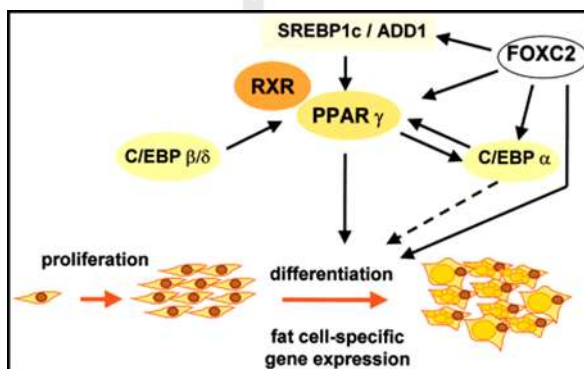


VDR : Vitamin D Receptor, RXR : Retinoid X Receptor, FAAR : Fatty Acid Activate Receptor

ภาพที่ 2.7 แสดงบทบาทของ Vitamin D ในเซลล์ไขมัน

(Kawada, Aoki, Kamei, Maeshige, Nishiu, and Sugimoto, 1996)

จากภาพที่ 2.7 เมื่อ Vitamin D Receptor (VDR) และ Retinoid X Receptor (RXR) จับคู่กันแล้วจะเข้าไปยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์ Peroxisome Proliferator Activated Receptor (PPAR) ที่มีผลต่อการสร้างเซลล์ไขมัน และ Fatty Acid Activate Receptor (FAAR) ยับยั้งการสร้าง Fatty Acids ในเซลล์ไขมันซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Torii, Matsumoto, Matsui and Yano (1995) รายงานว่า 1, 25 dihydroxyvitamin-D₃ ยังยับยั้งการแสดงออกของ adipocyte โดยการทำงานของ 1, 25 dihydroxyvitamin-D₃ ใน 3T3-L1cell โดย 3T3-L1cell จะไปยับยั้งการแสดงออกของเอ็นไซม์ Peroxisome Proliferator Activated Receptor (PPAR) ซึ่งทำหน้าที่ในการควบคุมการแบ่งเซลล์ไขมัน ดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 แสดงการแสดงออกของ PPAR (Hida, Kawada, Kayahashi, Ishihara, and Fushiki, 1998) กลไกการทำงานของ Vitamin D

Vitamin D มีอยู่หลายรูป เช่น Vitamin D₂ (Ergocalciferol, vitamin D₂) และ Vitamin D₃ (Cholecalciferol, vitamin D₃) โดยรูปที่มีบทบาทต่อเมแทบอลิซึมของแคลเซียม และฟอสฟอรัส คือ Vitamin D₃ การสังเคราะห์ Vitamin D₃ สัตว์ได้รับ Vitamin D₃ จากอาหารและมีการสังเคราะห์ได้ผิวหนังโดยการกระตุ้นของแสง โดยแสงอุตราไวโอเลต (ultraviolet) ที่อยู่ในแสงแดด จะเปลี่ยน 7-dehydrocholesterol เป็น Previtamin D₃ ส่วน Vitamin D₂ และ Vitamin D₃ ที่ได้จากการดูดซึมในลำไส้เล็กผ่านระบบน้ำเหลือง (Lymphatic circulation) เมื่อ Vitamin D มาถึงที่ตับมีการเปลี่ยนแปลงให้เป็น 25-hydroxyvitamin D (25-OHD) แล้วปลดปล่อยเข้ากระแสเลือด โดยมีการรวมตัวกับโปรตีน (Vitamin D-binding protein) เพื่อนำไปยังไต โดยเฉพาะในกรณีที่มีการหลั่งพาราไธรอยด์ฮอร์โมน แคลเซียมในเลือดต่ำ หรือ ฟอสฟอรัสในเลือดต่ำ ที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงไปเป็น Steroid hormone คือ 1,25-(OH)₂D₃ แล้วถูกพาไปยังอวัยวะเป้าหมาย เช่น ลำไส้, กระดูก, ไต, ต่อมไทรอยด์ เป็นต้น หลังจากนั้น จะมีการเมแทบอลิซึมภายในเซลล์เป้าหมาย ซึ่งจะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของ Calcium binding protein (Ca-BP) 1,25-(OH)₂D₃-receptor Alkaline phosphatase Osteocalcin และ Ca²⁺ ATPase เป็นต้น โดยเฉพาะบริเวณลำไส้ 1,25-(OH)₂D₃ จะช่วยให้การดูดซึมของแคลเซียมผ่าน

ไปในเซลล์ผนังลำไส้ โดยเพิ่มการผลิต Ca-BP และเกิดการขนย้ายแคลเซียมเข้าสู่กระแสเลือดแบบ Active transport หรือ เกิด $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ exchange

Vitamin D มีความต้องการต่อการเจริญเติบโต และในการขน โดยระดับที่ต้องการคือ 275IU/ DM feed (NRC, 1996) Vitamin D เป็น โพรฮอร์โมน (Pro-hormon) ทำหน้าที่เป็นฮอร์โมนที่ควบคุมการผลิตแคลเซียม (Calcium) ซึ่งมีชื่อว่า 1,25-dihydroxyvitamin D วิตามินดีสามารถผลิตได้ที่ผิวหนังของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ซึ่งเป็นผลของการเปลี่ยนแปลงของขบวนการ Photochemical เพื่อเปลี่ยน 7-dehydrocholesterol เป็น Vitamin D₃ ส่วนในพืชนั้นพืชจะใช้ขบวนการ Photochemical เพื่อเปลี่ยน Ergosterol ไปเป็น Vitamin D₂ การที่ร่างกายจะได้รับ Vitamin D สามารถรับได้ทั้งจากการสังเคราะห์ทางผิวหนังและจากอาหาร Vitamin D จะถูกขนส่งอย่างรวดเร็วและถูกแยกออกโดยตับซึ่งการที่ร่างกายขนส่ง Vitamin D อย่างรวดเร็วนั้นเป็นการป้องกันความเข้มข้นของ Vitamin D ในเลือดไม่ให้สูงจนเกินไป ความเข้มข้นทั่วไปของวิตามิน D ในเลือดจะเท่ากับ 1-2 นาโนกรัม (ng) Vitamin D ต่อ 1 มิลลิเมตรของพลาสมา (Plasma) (Horst and Littledike, 1982) ภายใต้นับ Vitamin D สามารถเปลี่ยนเป็น 25-hydroxyvitamin D โดย Vitamin D 25-hydroxylase และถูกปลดปล่อยเข้าสู่กระแสเลือด ซึ่งผลผลิตของ 25-hydroxyvitamin D ภายใต้นับจะขึ้นอยู่กับปริมาณของวิตามินดีในอาหาร ดังนั้นความเข้มข้นของ 25-hydroxyvitamin D ในพลาสมาจะเป็นตัวชี้วัดที่ดีเกี่ยวกับสถานะของวิตามินดีในสัตว์โดยในการทดลองของ Montgomery, Blanton, Horst, Galyean, Morrow, Wester and Miller (2004) พบว่าระดับของ Vitamin D นั้นมีผลต่อระดับของไขมันแทรกแสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 แสดงระดับของ 1,25-dihydroxyvitamin D₃ ในอวัยวะต่าง ๆ ของโคอินเดียและโคยุโรป

1,25-(OH) ₂ D ₃	Breed type			SEM
	pg/g	<i>Bos indicus</i>	<i>Bos taurus</i> - Continental	
Liver	226.0 ^a	144.6 ^b	157.7 ^{ab}	27.0
Kidney	69.7	73.4	59.8	7.3
Strip loin (LM)	166.3 ^a	96.6 ^b	193.4 ^a	23.9
Plasma (pg/mL)	146.3 ^a	129.4 ^a	48.1 ^b	17.8

หมายเหตุ : ^{a,b} ที่แสดงในคอลัมน์แสดงระดับความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

จากตารางที่ 2.5 เป็นการเปรียบเทียบระดับของ 1,25-Dihydroxyvitamin D₃ ในอวัยวะต่าง ๆ ของโคอินเดีย และโคยุโรปพบว่าระดับของ 1, 25-dihydroxyvitamin D₃ ในโคอินเดียมีระดับสูงกว่าโคยุโรปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติซึ่งโคยุโรปจะให้ไขมันแทรกได้ดีกว่าโคอินเดียดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 แสดงคุณภาพซากของโคอินเดีย และโคยุโรป (Montgomery et al., 2004)

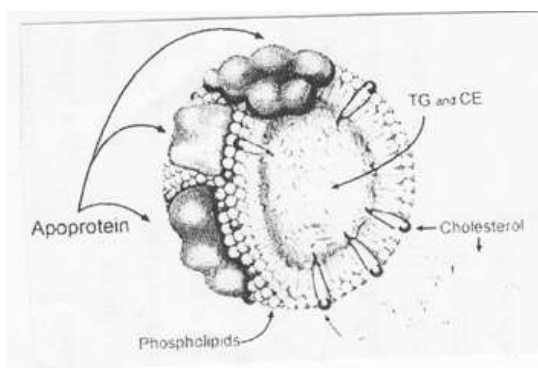
Parameters	Breed type			SEM
	<i>Bos indicus</i>	<i>Bos taurus</i> - Continental	<i>Bos taurus</i> -English	
Dressing percent	61.9	62.5	62.1	1.1
Marbling score*	448 ^a	454 ^a	544 ^b	24
Hot carcass weight, kg	363.8	354.1	346.0	13.1
Fat thickness, cm	1.01 ^b	0.89 ^a	1.31 ^b	0.04
LM area, cm ²	82.8 ^a	90.7 ^b	85.4 ^a	2.6

หมายเหตุ : ^{a,b} ที่แสดงในคอลัมน์แสดงระดับความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

จากตารางที่ 2.6 เป็นการเปรียบเทียบคุณภาพซากของโคอินเดีย และโคยุโรปพบว่าโคยุโรปที่มีถิ่นกำเนิดที่ประเทศอังกฤษมีระดับไขมันแทรกที่สูงกว่าโคอินเดียเมื่อเชื่อมโยงไปถึงระดับของ Vitamin D จะเป็นไปตามสมมุติฐานที่ว่า Vitamin D มีผลต่อระดับไขมันแทรก

2.6 การลำเลียง และดูดซึมกรดไขมันในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

การดูดซึมกรดไขมันหากเป็นกรดไขมันสายสั้นและสายปานกลาง (C4 – C12) สามารถดูดซึมเข้าสู่เซลล์เยื่อบุ (Mucosal cell) ของลำไส้ได้โดยตรง จากนั้นผ่านเข้ากระแสเลือดทางหลอดเลือดดำ (portal) โดยอาศัยโปรตีนอัลบูมิน (Albumin) เป็นตัวพา (Carrier) (ปนัดดา, 2546) ส่วนกรดไขมันสายยาว (C มากกว่า 12) พบว่า 2 – monoacylglycerol และคอเลสเตอรอลอิสระ (Free cholesterol) จะรวมตัวกับเกลือของกรดน้ำดี (Bile salts) ในรูปของไมเซลล์ผสม (Mix micelles) ทำให้สามารถละลายได้ จากนั้นไมเซลล์ผสมจะถูกดูดซึมผ่าน Brush border ของผนังลำไส้เล็กต่อไป หลังจากที่ไขมันเข้ามาอยู่ในเซลล์เยื่อบุลำไส้ (mucosal cell) ของลำไส้เล็กจะเกิดการเปลี่ยนแปลงกับไขมันดังกล่าวให้อยู่ในรูปที่เหมาะสมก่อนที่จะมีการส่งออกไปในรูปของไคโลไมครอน (Chylomicrons) โดยในเลือดประกอบด้วยโปรตีนอัลบูมิน และไลโปโปรตีน (lipoprotein) ซึ่งอัลบูมินช่วยลำเลียงกรดไขมันอิสระ ส่วนไลโปโปรตีนมีหลายชนิดช่วยลำเลียงไตรกลีเซอไรด์ และไขมันชนิดอื่น ๆ ระหว่างดับกับเนื้อเยื่อต่าง ๆ โดย ไลโปโปรตีน ที่ทำหน้าที่ขนส่งไขมันชนิดต่าง ๆ จะมีลักษณะพิเศษกล่าวคือ แกนกลางของไลโปโปรตีนจะเป็นไขมันชนิดที่ไม่มีขั้ว เช่น Triglyceride (TG) และ cholesterol ester (CE) ดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 ส่วนประกอบของไลโปโปรตีน

ที่มา : Protech Inc (2007)

โดย TG และ CE ถูกล้อมรอบด้วยไขมันชนิดที่สามารถละลายน้ำได้บางส่วน (Amphipatic lipid) เช่น Phospholipid และ Cholesterol และมีโปรตีนบางชนิดที่เรียกว่าอะโปโปรตีน (Apoprotein) แทรกอยู่ในชั้นของไขมันเหล่านี้โดยทำหน้าที่เป็นตัวรับ – ส่งสัญญาณ ซึ่ง Lipoprotein แบ่งเป็นกลุ่มต่าง ๆ ตามระดับชั้นเมื่อนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงกำลังสูง ได้เป็น 4 กลุ่มดังนี้

2.6.1 ไคโลไมครอน (Chylomicrons)

ในลูกโคและในสัตว์เคี้ยวเอื้องชนิดอื่น ๆ ไคโลไมครอนจะถูกสังเคราะห์หลังจากได้รับไขมันและ PUFA (Ferrerri and Elbein, 1982) ทำหน้าที่หลักในการขนส่ง Triglyceride – rich lipoproteins ไปยังเนื้อเยื่อเป้าหมายเพื่อเก็บเป็นแหล่งพลังงานและเพื่อการสร้างไขมัน (Harrison, Leat and Foster, 1974) รายงานว่าในแกะที่ได้รับอาหารปกติที่มีระดับไขมันต่ำกว่า 10 กรัมต่อวันของ TG พบว่า 72.6 เปอร์เซ็นต์ไขมันเป็นสัดส่วนใน Very low density lipoprotein (VLDL) และ 27.4 เปอร์เซ็นต์ไขมัน เป็นสัดส่วนใน Chylomicrons หลังจาก 24 ชั่วโมงทำการฉีด (Infusion) ด้วยน้ำมันข้าวโพด (Maize oil) (52.6 เปอร์เซ็นต์ Linoleic acid; 48 g/d of TG) ผ่านท่อสอดที่ดูโอดินัม (Duodenal cannula) พบว่า 38.5 เปอร์เซ็นต์ไขมันเป็นสัดส่วนใน VLDL และ 61.5 เปอร์เซ็นต์ไขมันเป็นสัดส่วนในไคโลไมครอน จากผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่า หากสัตว์ได้รับไขมันสูง ไขมันจะรวมตัวให้อยู่ในรูปไคโลไมครอน เพื่อส่งไปยังอวัยวะเป้าหมาย แต่หากสัตว์ได้รับไขมันต่ำ ไขมันที่พบจะอยู่ใน VLDL สูงกว่าไคโลไมครอน ซึ่ง VLDL สังเคราะห์ที่ตับ ซึ่งจะทำหน้าที่ขนส่งไขมันไปยังอวัยวะเป้าหมายเช่นกัน กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของ VLDL และ CE จะมีความแปรปรวนมากในช่วงการเจริญเติบโตของลูกโค (Jenkins, Griffith and Kramer, 1988) อีกทั้งยังมีปริมาณกรดไขมันที่จำเป็น (C18:2n – 6) ต่ำในลูกโคและลูกแกะแรกเกิด เพราะการขนส่งกรดไขมันที่จำเป็นจากรกไปในกระแสเลือดแม่ต่ำมาก เนื่องจากรกของสัตว์เคี้ยวเอื้องจะไม่ยอมให้ไขมันชนิดต่าง ๆ ผ่านออกไปได้ ดังนั้นจึงสังเคราะห์ CE ผ่านทางลำไส้ (intestinal) และตับ (hepatic) โดยเอนไซม์ Acylcholesterol acyltransferase (ACAT) (Noble, Crouchman and Moore, 1975) ซึ่งในลูกโคระยะ

เจริญเติบโตจะมีการดูดซึมกรดไขมันที่จำเป็น (C18:2n – 6) เข้าไปในพลาสมา (Plasma) ที่ตำแหน่ง β และจะมีการขนส่ง CE ในพลาสมา โดยเอนไซม์ Lecithin cholesterol acyltransferases (LCAT)

2.6.2 Very low density lipoprotein (VLDL)

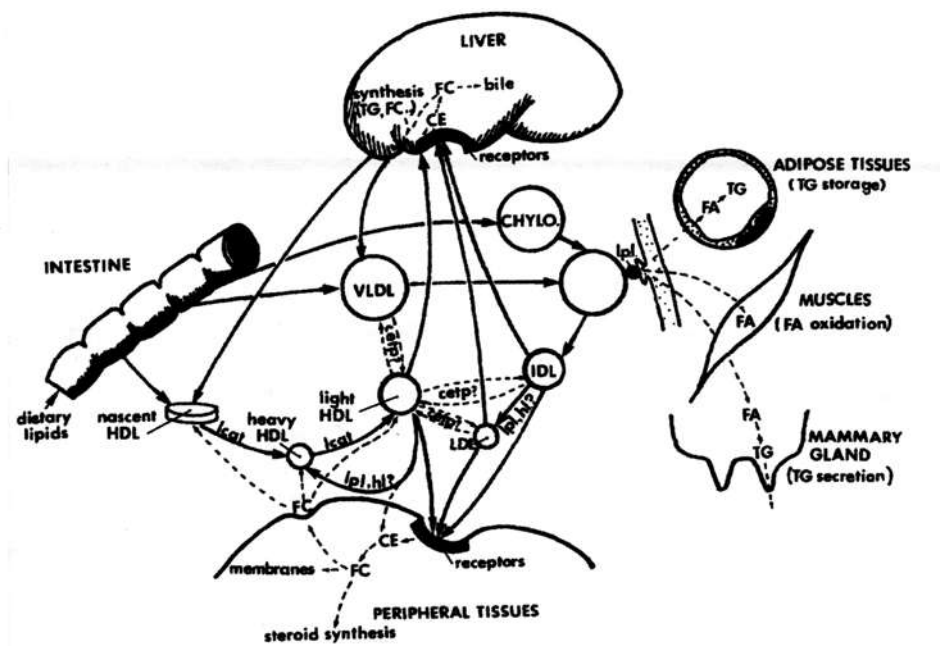
ทำหน้าที่ขนส่งไตรกลีเซอไรด์และกรดไขมันสายยาวจากตับไปยังเนื้อเยื่อต่าง ๆ (Drackley, 2000) ในลูกโคกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบใน VLDL, TG และโคไลไมครอน โดยพบว่าปริมาณ TG จะมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงหลังจากได้รับอาหารไขมันเกิด Hydrolysis ของ TG โดย LPL ส่งผลให้มีปริมาณ Saturated TG เหลือมากซึ่งชี้ให้เห็นว่ามีการใช้ประโยชน์จากกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยเนื้อเยื่ออื่น ๆ (Extrahepatic tissues) (Bauchart, 1993)

2.6.3 Low density lipoprotein (LDL)

ประกอบด้วย Cholesterol เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งจะขนส่ง Cholesterol เหล่านี้ไปยังเนื้อเยื่อต่าง ๆ ในโค นั้น LDL เป็นผลผลิตสุดท้ายที่ได้จากการสลาย VLDL ผ่านทาง IDL ใน Intravascular ซึ่งสัตว์เคี้ยวเอื้องมีความเข้มข้นของ LDL ในระดับต่ำ สัมพันธ์กับการขนส่ง CE และเกี่ยวข้องกับการทำงานของ Hepatic lipase ที่ค้าอีกด้วย LDL ในโคประกอบด้วย CE (48 เปอร์เซ็นต์), Phospholipid (PL) (27 เปอร์เซ็นต์), free cholesterol (10 เปอร์เซ็นต์) และ TG (15 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งไขมันดังกล่าวจะกระจายอยู่ระหว่างพลาสมาและน้ำเหลืองโดย LDL ในพลาสมาพบ PL ในรูป Phosphatidylcholine (PC) 60 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในรูป Phosphatidylethanolamine 21 เปอร์เซ็นต์และอยู่ในรูป Sphingomyelin 18 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นในลูกโคแรกเกิดจะพบ phosphatidylethanolamine 58 เปอร์เซ็นต์ กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบใน LDL จะมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงหลังคลอดมากกว่าช่วงโตเต็มวัย นอกจากนี้ความเข้มข้นของ C18:2n – 6 ใน PC 1 – 13 เปอร์เซ็นต์ และอยู่ใน CE 10 – 35 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะมีปริมาณเพิ่มในลูกโคอายุ 3 วัน - 12 สัปดาห์ แต่อย่างไรก็ตามปริมาณ CE C18:2n – 6 ใน LDL มีค่าอยู่ระหว่าง 35 – 39 เปอร์เซ็นต์ ต่ำกว่าใน HDL ที่มีค่าระหว่าง 46 – 64 เปอร์เซ็นต์ (Jenkins et al., 1993) ดังนั้นสรุปได้ว่า CE ใน LDL จะมีการสังเคราะห์ C18:2n – 6 ที่ผ่านทางลำไส้ (Intestinal) และตับ (Hepatic) ใต้น้อย (Noble et al., 1975)

2.6.4 High density lipoprotein (HDL)

ประกอบด้วย Phospholipid มากที่สุด และมี Cholesterol รองลงมา จะทำหน้าที่ในการขนส่งไขมันเหล่านี้จากเนื้อเยื่อต่าง ๆ ไปกำจัดที่ตับ ปริมาณ HDL มีมากที่สุดใน Plasma lipoproteins (มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ของไลโปโปรตีนทั้งหมด) ในระบบทางเดินอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องในช่วงลูกโค (Preruminant) และในช่วงระบบทางเดินอาหารในโคโตเต็มวัย (Ruminant) ดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 กระบวนการขนส่ง lipoprotein ในกระแสเลือดไปยังอวัยวะเป้าหมายในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

The tissue HDL = High density lipoproteins, LDL = low density lipoproteins, TG = triglyceride, CE = cholesterol ester, cctp = CE transfer protein, leat = lecithin : cholesterol acyltransferase, CHYLO = chylomicron, VLDL = very low density lipoproteins, lpl = lipoprotein lipase, hi = hepatic lipase, FA = fatty acid, FC = free cholesterol

ที่มา : Bauchart (1993)

2.7 ความต้องการพลังงานของโคเนื้อ

พลังงานในอาหารเป็นเรื่องที่สำคัญ ที่ต้องพิจารณาในการประกอบสูตรอาหาร เนื่องจากร่างกายของสัตว์มีความต้องการพลังงานเป็นปริมาณมาก นำไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ทั้งเพื่อการดำรงชีพ และการให้ผลผลิตหรือบำรุงร่างกายให้สามารถดำรงอยู่ได้อย่างปกติในทางผลิตสัตว์พลังงานเป็นต้นทุนส่วนใหญ่ในอาหาร ซึ่งโภชนะที่ให้พลังงานได้คือพวกที่มีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ซึ่งกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในร่างกาย เช่น การกินอาหาร การเคลื่อนไหว การย่อยอาหาร การดูดซึมสารอาหาร และการเมแทบอลิซึมของร่างกายต่าง ๆ ต้องเกี่ยวข้องกับพลังงานทั้งสิ้น

2.7.1 หน่วยของพลังงาน

ระบบประเมินคุณค่าทางพลังงานของอาหารและระบบประเมินความต้องการอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ใช้กันอยู่มีหลายระบบ อาทิ NRC (National Research Council) ของสหรัฐอเมริกาใช้ Total digestible nutrients (TDN) และ Net energy (NE), ARC (Agricultural

Research Council) ของสหราชอาณาจักรใช้ Metabolizable energy (ME) ในประเทศไทยใช้อ้างอิงจาก NRC และ ARC

ในสหรัฐอเมริกาใช้หน่วยวัดพลังงาน 2 วิธี

โภชนะย่อยได้ทั้งหมด หมายถึงผลรวมของ Digestible protein, Fiber, Nitrogen-free-extract และ 2.25 (Fat)

$$\%TDN = \text{Digestible [CP + CF + NFE + (2.25 EE)]} \times 100 / \text{Feed DM Consumed}$$

Calorie system เป็นระบบที่ใช้วัดค่าพลังงานในอาหาร โดยที่ 1 cal หมายถึง ปริมาณพลังงานความร้อนที่ต้องการทำให้น้ำ 1 กรัม มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1°C โดยปกติเพิ่มจาก 14.5°C เป็น 15.5°C การวัดพลังงานความร้อนนี้ต้องใช้เครื่องมือที่เรียกว่า bomb calorimeter เพื่อผลาญพลังงานอาหารที่ต้องการวัดค่าพลังงานในสภาพที่มีออกซิเจน

สหราชอาณาจักรใช้ระบบวัดค่าพลังงานที่เรียกว่า British metabolisable energy (ME) มีหน่วยวัดเป็น Joules, Kilojoules และ Megajoules

การเทียบค่าพลังงานระหว่างระบบทั้งสองกระทำได้โดยประมาณ ดังนี้

$$1 \text{ cal} = 4.184 \text{ joules}$$

$$1 \text{ kgTDN} = 3.82 \text{ Mcal ME} = 19 \text{ MJ DE} = 16 \text{ MJ DE}$$

2.7.2 การจำแนกประเภทพลังงาน

ความเข้มข้นของพลังงานทั้งหมดในอาหาร หรือในเนื้อเยื่อสัตว์ เรียกว่า พลังงานรวม หรือ Gross energy, GE ส่วนประกอบของอาหารที่ให้พลังงาน ได้แก่ ไขมัน โปรตีน และ คาร์โบไฮเดรต ซึ่งมีพลังงานอยู่โดยประมาณเท่ากับ 39 24 และ 17.5 MJ/KgDM ตามลำดับ โดยทั่วไป อาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องจะมีค่า GE อยู่ในช่วง 18-19 MJ/kgDM (วิศิษฐ์พร สุขสมบัติ, 2542) เมื่อสัตว์กินอาหารเข้าไป ส่วนของ GE บางส่วนถูกนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการสร้างเนื้อเยื่อและสร้างผลผลิต เนื่องจากระหว่างเกิดกระบวนการย่อยและเมแทบอลิซึมภายในร่างกายมีการสูญเสียพลังงานบางส่วนไปกับอุจจาระ (Fecal energy, FE) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ GE ในอาหารที่ไม่ถูกย่อย ส่วนแตกต่างระหว่าง GE ที่สัตว์กินเข้าไปกับพลังงานในอุจจาระ (FE) เรียกว่า พลังงานย่อยได้ (Digestible energy, DE) กล่าวคือ

$$DE = GE - FE$$

DE เมื่อถูกดูดซึมจะเกิดการสลายตัว และมีพลังงานบางส่วนถูกขับออกนอกร่างกาย โดยไม่ได้ใช้ประโยชน์ ได้แก่ พลังงานที่ขับออกทางปัสสาวะ (Urinary energy) และพลังงานที่ขับออกในรูปแก๊ส (Methane energy) ดังนั้นส่วน DE ที่ไม่พบในปัสสาวะและแก๊ส เรียกว่า พลังงานใช้ประโยชน์ (Metabolisable energy, ME) กล่าวคือ

$$ME = DE - (\text{Urinary energy} + \text{Methane energy})$$

ฉะนั้น ME สามารถหาได้โดยการวัด GE ในอาหาร และวัดพลังงานอุจระ ปัสสาวะ และ มีเทน สำหรับ urinary energy และ methane energy โดยปกติมีค่าเป็นสัดส่วนค่อนข้างคงที่กับ Digestible energy (ประมาณ 18%) ค่าของ ME ประมาณดังนี้

$$ME = 0.82 DE$$

ความเข้มข้นของพลังงาน ME ที่ประกอบอยู่ใน GE มีชื่อเรียก Metabolisable energy (q) หรือหมายถึงสัดส่วนของ ME ใน GE อาหาร

$$q = ME/GE$$

นอกจากนี้ทั้งสองระบบนิยมใช้พลังงานสุทธิ (Net energy, NE) ในการอธิบายการใช้ประโยชน์พลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (Net energy for maintenance) พลังงานที่สะสมในเนื้อเยื่อร่างกาย (Net energy for tissue gain) พลังงานสุทธิเพื่อการอุ้มท้อง (Net energy for pregnancy) และ พลังงานสุทธิเพื่อการให้นม (Net energy for lactation) ดังนี้

$$NE_R = NE_m + NE_G + NE_p + NE_L$$

ส่วนโคเนื้อ NRC (1996) แนะนำว่าประสิทธิภาพของ NE_R ในการใช้ในการผลิต นํ้านมเพื่อการอุ้มท้องจะคล้ายกับการใช้เพื่อการดำรงชีพ ดังนั้นเพื่อการสะดวกในการประเมินความต้องการพลังงานของโคเนื้อจะถูกเปลี่ยนอยู่ในรูปของ NE_M ดังนี้

$$NE_R = NE_M = NE_G$$

2.7.3 สมการประเมินความต้องการพลังงานของโคเนื้อ

ความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพของโคเนื้อ NRC (1996)แนะนำให้ใช้สมการดังต่อไปนี้

$$NE_M = (\text{Mcal/day}) = 0.077 \text{ Mcal} \times \text{EBW}^{0.75}$$

เมื่อ EBM = average empty body weight in kilogram (Lofgreen and Garrett, 1968; Garrett, 1980)

$$\text{EBW} = 0.891 \times \text{SBW}$$

$$\text{เมื่อ SBW} = \text{shrunk body weight, kg (typically } 0.96 \times \text{ full weight)}$$

ส่วนความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตของโคเนื้อจะคำนวณจากน้ำหนักตัว (Body weight), shrunk weight gain (SWG), องค์ประกอบของร่างกาย (Body composition) และ ขนาดของร่างกาย (Body size) โดย NRC (1996) แนะนำให้ใช้สมการดังต่อไปนี้

คำนวณ NE_G จาก

$$RE = 0.0635 \times \text{EQEBW}^{0.75} \times \text{EBG}^{1.097}$$

$$\text{เมื่อ RE} = \text{Retained energy, Mcal/day}$$

$$\begin{aligned} \text{EQEBW} &= 0.891 \times \text{EQSBW} \\ \text{เมื่อ EQEBW} &= \text{equivalent empty body weight, kg} \\ \text{EGSBW} &= \text{SBW} \times (\text{SRW}/\text{FSBW}) \\ \text{เมื่อ EQSBW} &= \text{equivalent shrunk body weight, kg} \\ \text{SBW} &= \text{shrunk body weight, kg (typically } 0.96 \times \text{ full weight)} \\ \text{FSBW} &= \text{actual final shrunk body weight at the body} \\ \text{SRW} &= 478 \text{ kg for animal finishing at small marbling (28\% body fat)} \\ &= 462 \text{ kg for animal finishing at slight marbling (27\% body fat)} \\ &= 435 \text{ kg for animal finishing at trace marbling (25\% body fat)} \\ \text{EBG} &= 0.956 \times \text{SWG} \\ \text{เมื่อ SWG} &= \text{shrunk weight gain, kg} \end{aligned}$$

2.7.4 การประเมินคุณค่าทางพลังงานของอาหารตาม NRC (2001)

ถึงแม้ระบบประเมินคุณค่าทางโภชนาการโดยใช้ค่า NE จะเป็นระบบที่ดี แต่ทำการวัดโดยตรงได้ยาก ต้องเสียเวลา และค่าใช้จ่ายมาก ตลอดจนถึงต้องใช้เครื่องมือที่ยุ่ยากซับซ้อน ประเทศต่าง ๆ จึงคิดค้นสมการมาใช้ในการคำนวณ โดยใช้การประเมินคุณค่าทางพลังงานจากองค์ประกอบทางเคมี เช่นในประเทศเยอรมันคำนวณค่า NE_L จาก GE และ ME ประเทศสหรัฐอเมริกาคำนวณจาก TDN อย่างไรก็ตามการจะได้มาซึ่งค่าต่าง ๆ ในการทำนายคุณค่าทางพลังงานก็มีหลากหลาย บางสมการใช้ได้เฉพาะอาหารบางชนิด เช่น อาหารข้น บางสมการใช้ได้เฉพาะกับอาหารหยาบ จนกระทั่งในปี 1992 Weiss et al. ทำการปรับปรุงสมการที่สามารถนำมาใช้ทำนายค่าพลังงานกับอาหารหลายชนิดรวมทั้ง By-products และ Heat-damages ได้หลักการของสมการของสมการนี้ยึดหลักที่ว่า โภชนาชนิดใดที่ให้พลังงานได้ต้องนำมาคำนวณด้วย ซึ่งโภชนาดังกล่าวประกอบด้วย CP Fat NFC และ NDF การคำนวณต้องอาศัย True digestibility (td) ของโภชนาชนิดนั้น ๆ จากนั้นจะได้ค่า TDN ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาค่า NE_L ได้โดยอาศัยสมการต่าง ๆ ดังจะได้อธิบายต่อไป

การประเมินคุณค่าทางพลังงานในอาหารสัตว์ตามระบบ NRC (2001) มีหลักการคือ ส่วนประกอบของโภชนาใด ๆ ในอาหาร ที่ให้พลังงานต้องนำมาคำนวณทั้งหมด โดยคำนวณออกมาในรูปของโภชนาที่ย่อยได้ทั้งหมด (Total digestible nutrient, TDN) ดังสมการ

$$\text{TDN}_x (\%) = \text{tdNFC} + \text{tdCP} + (\text{tdFA} \times 2.25) + \text{tdNDF-7}$$

เมื่อ td=True digestible

2.7.4.1 พลังงานจาก NFC

โดยปกติ NFC เป็น Uniform feed fraction ที่มีค่า td ประมาณ 0.98 ถ้าสัตว์ได้รับอาหารที่ระดับ Maintenance NFC คำนวณได้โดยการหักลบค่า Ash, CP, NDF_N และ EE จาก

100 ที่ต้องใช้ค่า NDF_N แทนค่า NDF ก็เพื่อไม่ให้ CP ถูกหักออกซ้ำกันถึง 2 ครั้ง มิฉะนั้นจะทำให้ค่า NFC คำนวณได้ดังสมการ

$$tdNFC = 0.98 (100 - [(NDF - NDICP) + CP + EE + Ash]) \times PAF \text{ หรือ}$$

$$tdNFC = 0.98 (100 - [(NDFN + CP + EE + Ash)]) \times PAF$$

$$NDFN = NDF - NDICP$$

$$NDICP = NDIN \times 6.25$$

เมื่อ NFC = Non fiber carbohydrate

NDF = Neutral detergent fiber

NDIN = Processing adjustment factor (ตารางที่ 2.7)

2.7.4.2 พลังงานจากโปรตีน

โปรตีนเป็น Uniform feed fraction เพราะค่า True digestibility (TD) ของ Crude protein (CP) เป็นค่าที่ค่อนข้างคงที่ในพืชส่วนมากมีค่าผันแปรระหว่าง 0.9-1.0 เฉลี่ย 0.93 สำหรับอาหารชั้นที่ไม่ได้ผ่านความร้อน (Unheated concentrate) ค่า TDCP จะมีค่าประมาณ 1.0 (Fonnesbeck et al., 1984) อาหารที่ถูกร้อน ค่า TDCP จะมีค่าลดลงเนื่องจากการย่อยได้ของ CP และอัตราการถูกทำลายด้วยความร้อน (Eat damage) มีความสัมพันธ์กับ acid detergent insoluble nitrogen (ADIN) ดังนั้นจึงสามารถคำนวณค่า TDCP ได้จากค่า ADIN แต่เนื่องจากความสัมพันธ์นี้ในอาหารชั้นและในอาหารหยาบมีไม่เท่ากัน จึงต้องอาศัยสมการคำนวณที่แตกต่างกันดังนี้

Truly digestible CP for forages (tdCPf)

$$tdCPf = CP \times \exp^{-1.2 \times (ADICP/CP)}$$

Truly digestible CP for concentrates (tdCPc)

$$tdCPc = [1 - (0.4 \times (ADICP/CP))] \times CP$$

เมื่อ ADICP = Acid detergent insoluble nitrogen (ADIN) \times 6.25

2.7.4.3 พลังงานจากไขมัน

ค่า Ether extract (EE) ในอาหารประกอบด้วยกรดไขมัน (รวมทั้ง Triglycerides) Waxes Pigments และอื่น ๆ อีกเล็กน้อย Palmquist (1991) แนะนำว่าในการหาปริมาณไขมันควรวิเคราะห์ Fatty acids (FA) มากกว่าการวิเคราะห์ Ether extract (EE) ทั้งนี้เนื่องจากเป็นค่าที่ Uniform ในขณะที่ EE ไม่ Uniform แต่เครื่องมือในการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่เป็นเครื่องมือวิเคราะห์หา EE ห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่จึงยังคงนิยมวิเคราะห์ค่า EE อยู่ อย่างไรก็ตามการคำนวณหาค่า FA สามารถทำได้โดยการคำนวณจากค่า EE ทั้งนี้เพราะไขมันที่ไม่ใช่ FA มีประมาณ 1.0% ของ DM ในอาหารเท่านั้น

$$FA = EE \text{ (Allen, 2000)}$$

tdFA = FA แต่ถ้านในกรณีที่ EE < 1, FA จะมีค่าเท่ากับ 0

2.7.4.4 พลังงานจาก NDF

NDF ไม่ค่าที่ Uniform แต่ NDF ส่วนที่อาจย่อยได้ (Potential digestible NDF หรือ pd NDF) เป็นค่าที่ Uniform โดยมีการย่อยได้เท่ากับ 1.0 นอกจากนี้ Conrad et al. (1984) ได้สร้างสมการประเมินค่า pdNDF โดยอาศัย Lignin-free NDF นอกจากนี้ lignin ยังไปขัดขวางการย่อยได้ของ Cellulose และ Hemicellulose จึงควรคำนวณหาค่าสัดส่วนของพื้นที่ผิว NDF ที่ถูกปกคลุมด้วย Lignin เพื่อนำมาหักลบออก ดังนั้นค่า pdNDF คำนวณได้จากสมการ

$$\text{pdNDF} = (\text{NDF} - \text{Lignin}) [1 - (\text{Lignin} / \text{NDF}) 0.667]$$

ค่าทุกตัวมีหน่วยเป็น % ของ DM และ Lignin วิเคราะห์โดยวิธี ADF-sulphuric สมการข้างต้นนี้ใช้ได้กับพืชแทบทุกชนิด แต่ใน By-product หลายชนิด อาจมีส่วนของ CP ปนมาในค่า NDF มาก ทำให้มีค่า NDF สูงเกินไป ดังนั้นจึงควรวิเคราะห์ Neutral detergent insoluble nitrogen (NDIN) ด้วยเพื่อคำนวณหาค่า NDF ที่ปราศจาก N แล้ว (NDF_N) ดังนี้

$$\text{NDF}_N = \text{NDF} - \text{NDICP}$$

$$\text{ค่าทุกตัวมีหน่วยเป็น \% และ NDICP} = \text{NDIN} \times 6.25$$

พลังงานจาก NDF คำนวณโดยคูณค่า pdNDF ด้วยสัมประสิทธิ์การย่อยได้ ประเมินว่าการย่อยได้ พลังงานจาก NDF คำนวณโดยคูณค่า pdNDF ด้วยสัมประสิทธิ์การย่อยได้ ประเมินว่าการย่อยได้ของ pdNDF ในสัตว์ที่ได้รับอาหารในระดับ Maintenance มีค่าเท่ากับ 0.75 ฉะนั้น truly digestible NDF (tdNDF) จะมีค่าดังสมการ

$$\text{tdNDF} = 0.75 (\text{NDF}_N - \text{Lignin}) [1 - (\text{Lignin} / \text{NDF}_N) 0.667]$$

อย่างไรก็ตามในกรณีที่อาหารสัตว์เป็รผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากสัตว์ เช่น โปรตีน จากสัตว์ ซึ่ง จะไม่มีส่วนของ Structural carbohydrates แต่จะมีส่วนของ Neutral detergent insoluble residue แต่ไม่ใช่เป็นส่วนของ Cellulose Hemicellulose หรือ Lignin ดังนั้นสมการข้างต้นจะใช้ไม่ได้ในกรณีนี้ ต้องใช้สมการดังนี้

$$\text{TDN}_{1X} = (\text{CPdigest} \times \text{CP}) + (\text{FA} \times 2.25) + 0.98(100 - \text{CP} - \text{Ash} - \text{EE}) - 7$$

เมื่อ CP digest = estimated true digestibility of CP (ตารางที่ 2.8)

เช่นเดียวกันกับกรณีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสัตว์ ถ้าเป็นอาหารสัตว์จำพวกไขมันจะคำนวณค่า TDN_{1X} จากการวัดค่า fatty digestibility ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.9 สำหรับแหล่งไขมันที่มีองค์ประกอบของ glycerol:

$$\text{TDN}_{1X} (\%) = (\text{EE} \times 0.1) + [\text{FAdigest} \times (\text{EE} \times 0.9) \times 2.25]$$

สำหรับแหล่งไขมันที่ไม่มีองค์ประกอบของ Glycerol:

$$\text{TDN}_{1X} (\%) = (\text{EE} \times \text{FAdigest}) \times 2.25$$

2.7.4.5 การประมาณค่า DE ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Maintenance

Crampton et al. (1957) และ Swift (1957) คำนวณค่า GE value of TDN เท่ากับ 4.409 Mcal/kg อย่างไรก็ตาม โภชนะแต่ละชนิดในอาหารมีค่า Heat of combustion ที่แตกต่างกัน เช่น 4.2 Mcal/kg for carbohydrate 5.6 Mcal/kg for CP 9.4 Mcal/kg for fatty acid และ 4.3 Mcal/kg for glycerol (Maynard et al., 1979)

จากการที่ GE Value of TDN ในอาหารแต่ละชนิดมีค่าไม่เท่ากัน อาหารที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ใน TDN จะมีค่า GE value of TDN มากกว่า 4.409 Mcal/kg ในทางกลับกันอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ใน TDN จะมีค่า GE value of TDN น้อยกว่า 4.409 Mcal/kg ดังนั้นการคำนวณค่า DE จาก $0.4409 \times \text{TDN} (\%)$ ตามที่แนะนำไว้ใน NRC (1988) นั้นปัจจุบันได้ยกเลิกแล้ว NRC (2001) ได้พัฒนาการคำนวณค่า DE โดยคำนวณจาก Estimated digestible nutrient concentration คูณด้วย Heat of combustion ของโภชนะนั้น ๆ และเนื่องจาก DE คำนวณจาก Apparent digestibility แต่สมการคำนวณ TDN จากโภชนะต่าง ๆ ใช้ค่า true digestibility ดังนั้นต้องใช้ค่า Metabolic fecal energy มาทำการปรับเมื่อต้องการคำนวณค่า DE จาก TDN โดยทั่วไปค่า Heat of combustion ของ Metabolic fecal TDN จะประมาณเท่ากับ 4.4 Mcal/kg ดังนั้น Metabolic fecal DE = $7 \times 0.044 = 0.3$ Mcal/kg ดังนั้นสามารถคำนวณ DE_{IX} ได้สมการดังต่อไปนี้

สำหรับอาหารสัตว์ทั่วไป

$$DE_{IX} (\text{Mcal/kg}) = [(\text{tdNFC}/100) \times 4.2] + [(\text{tdNDF}/100) \times 4.2] + [(\text{tdCP}/100) \times 5.6] + [(\text{FA}/100) \times 9.4] - 0.3$$

สำหรับอาหารโปรตีนจากสัตว์

$$DE_{IX} (\text{Mcal/kg}) = [(\text{tdNFC}/100) \times 4.2] + [(\text{tdCP}/100) \times 5.6] + [(\text{FA}/100) \times 9.4] - 0.3$$

สำหรับอาหารไขมันที่มีองค์ประกอบของ Glycerol

$$DE_{IX} (\text{Mcal/kg}) = [9.4 \times (\text{FAdigest} \times 0.9 \times (\text{EE}/100))] + [4.3 \times 0.1 \times (\text{EE}/100)]$$

สำหรับอาหารไขมันที่ไม่มีองค์ประกอบของ glycerol

$$DE_{IX} (\text{Mcal/kg}) = [9.4 \times (\text{FAdigest} \times 0.9 \times (\text{EE}/100))]$$

tdNFC tdNDF tdCP และ FA มีหน่วยเป็น %

2.7.4.6 การประมาณค่า DE ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Actual Intake

การย่อยได้อาหารของโคนมจะลดลงเมื่อระดับการกินได้เพิ่มขึ้น (Tyrell and Moe, 1975) ซึ่งจะมีผลทำให้ค่าพลังงานของอาหารนั้น ๆ ลดลงเมื่อการกินได้เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในโครีดนมที่ให้น้ำนมมาก ๆ อย่างเช่นในปัจจุบัน ซึ่งอาจกินอาหารได้มากถึง 4 เท่าของการกินได้ที่ระดับ Maintenance การลดลงของ digestibility เมื่อ intake เพิ่มขึ้น จะมีความสัมพันธ์กับ

Digestibility of diet at maintenance (Wagner and Loosli, 1967) เมื่อการกินได้อาหารเพิ่มขึ้น อาหารที่มีค่า Digestibility at maintenance สูง จะมีอัตราการลดลงของ Digestibility มากกว่าอาหารที่มีค่า Digestibility at maintenance ต่ำ NRC (1988) ใช้ค่าคงที่ 4% ในการปรับ Energy value at 1X to 3X maintenance ถ้าใช้วิธีการเดิมนี้อในการคำนวณ อาหารที่มี 75%TDN_{1x} จะมีค่า Discount 3%/unit Multiple of 1X ในขณะที่ อาหารที่มี 60% TDN_{1x} จะมีค่า Discount เท่ากับ 2.4% ถ้าอาหารมีค่า TDN_{1x} เท่ากับ หรือน้อยกว่า 60% ค่า Discount จะมีค่าค่อนข้างน้อย NRC (2001) แนะนำให้ใช้สมการนี้ในการคำนวณ % discount

$$\text{TDN percentage unit decline} = 0.18\text{TDN}_{1x} - 10.3 \quad (r^2 = 0.85)$$

ทั้งนี้เนื่องจากการคำนวณค่า ME และ NEL ใช้ค่า DE ไม่ได้ใช้ค่า TDN ฉะนั้นการคำนวณค่า DEP จึงต้องใช้ Discount factor เป็นตัวคูณ

$$\text{Discount} = [(\text{TDN}_{1x} - [(0.18 \times \text{TDN}_{1x}) - 10.3]) \times \text{intake}] / \text{TDN}_{1x}$$

หน่วยของ TDN_{1x} เป็น % of DM และ Intake หมายถึงจำนวนเท่าของการกินได้ที่เพิ่มขึ้นมากกว่าการกินได้ที่ระดับ maintenance เช่น การกินได้เท่ากับ 3X maintenance intake above maintenance = 2 ส่วนในโคเนื้อการกินได้น้อยกว่าโคนม ฉะนั้น intake = 2X

ตัวอย่าง เช่นโคที่รีดนมกินอาหารที่มี 74% TDN_{1x} ได้เป็น 3X maintenance ฉะนั้น Digestibility ควรจะเท่ากับ 0.918 เท่าของ digestibility ที่ 1X maintenance

2.5.4.7 การประมาณค่า ME ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Actual Intake

การประมาณค่า ME at production level of intake (ME_p) นั้นคำนวณจาก DE_p การคำนวณค่า ME จาก DE ใน NRC (1988) ใช้สมการ ME (Mcal/kg) = (1.01 × DE) - 0.45 อย่างไรก็ตามสมการดังกล่าวประเมินจากอาหารที่ไขมันประมาณ 3% และเนื่องจากประสิทธิภาพการเปลี่ยน DE จากไขมันเป็น ME นั้นมีค่าเกือบ 100% (Andrew et al., 1991; Romo et al., 1996) ดังนั้น สมการข้างต้นจะประมาณค่า ME ของอาหารที่มีไขมันสูงต่ำไป NRC (2001) แนะนำให้ใช้สมการนี้แทน

$$\text{ME}_p = [1.01 \times (\text{DE}_p) - 0.45] + [0.0046 \times (\text{EE} - 3)]$$

เมื่อ DE_p มีหน่วยเป็น Mcal/kg และ EE มีหน่วยเป็น % of DM

ME_p ของอาหารที่มีไขมันมากกว่า 3% จะเพิ่มขึ้น 0.0046 ทุก ๆ % Unit increase in EE above 3% ในกรณีที่มีไขมันเท่ากับ หรือน้อยกว่า 3% ให้ใช้สมการเดิมที่แนะนำใน NRC (1988)

$$\text{สำหรับ Fat supplement } \text{ME}_p \text{ (Mcal/kg)} = \text{DE}_p \text{ (Mcal/kg)}$$

2.7.4.8 การประมาณค่า Net Energy of Feeds for Maintenance and Gain

สมการในการประมาณค่า NE_M และ NE_G จะใช้สมการที่เสนอโดย Garrett (1980) สำหรับโคเนื้อที่แนะนำไว้ใน NRC (1996) NE_M และ NE_G ในอาหารนี้เป็นการประมาณที่ระดับ

การกินได้อาหาร 2X maintenance และคำนวณค่า ME เพื่อใช้ในสมการจากการคูณ DE_{1x} (ตามที่ได้อธิบายไว้ก่อนหน้านี้) ด้วย 0.82 แทนค่า ME ตามสมการข้างล่างก็จะได้ค่า NE_M และ NE_G

$$NE_M = 1.37 ME - 0.138 ME^2 + 0.0105 ME^3 - 1.12$$

$$NE_G = 1.42 ME - 0.174 ME^2 + 0.0122 ME^3 - 1.65$$

เมื่อ ME NE_M และ NE_G มีหน่วยเป็น Mcal/kg

อย่างไรก็ตาม สมการข้างต้นไม่เหมาะสำหรับใช้คำนวณค่า NE_M และ NE_G ของ Fat supplements ควรใช้ $ME_p = DE_p$ และใช้ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยน ME เป็น NE_L เท่ากับ 0.80 เพื่อเปลี่ยน ME เป็น NE_M แต่ในการเปลี่ยน ME เป็น NE_G ใช้ค่าประสิทธิภาพในการเปลี่ยนเท่ากับ 0.55

2.8 ฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ Adiponeogenesis

2.8.1 Insulin และ Insulin like Growth factor-1 (IGF-1)

การแบ่งเซลล์ Adipocytes เกิดจากการทำงานร่วมกันของฮอร์โมน IGF-1 และ Insulin แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจาก Preadipocytes มีระดับของ insulin receptor ที่ต่ำมากจึงมีการตอบสนองต่อ Insulin ที่ต่ำกว่า IGF-1 โดยหน้าที่ของฮอร์โมนสองชนิดนี้จะเพิ่มกระบวนการ Preadipocytes replication ซึ่งจะทำให้เซลล์ที่จะพัฒนาเป็นเซลล์ไขมันมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น โดย IGF-1 นั้นทำหน้าที่ 2 รูปแบบทั้งการขยาย และการแบ่งเซลล์ไขมันมีการศึกษาพบว่าระดับของ Insulin และ IGF-1 ในมนุษย์ และสุกรนั้นจะพัฒนาเซลล์ก่อนที่จะเป็นไขมันแต่ในสุกรพบว่ามีระดับของ Insulin ที่ต่ำกว่า IGF-1 (Sillence and Etherton, 1987) และมีการศึกษาการพัฒนาของเซลล์ที่จะพัฒนาเป็นไขมันพบว่าจะตอบสนองเมื่อได้รับ IGF-1 และ IFGBP

2.8.2 Growth hormone (GH)

Growth hormone (GH) ทำหน้าที่ในการควบคุมการแสดงออกของ IGF-1 ในการแบ่งเซลล์ไขมัน แต่การทำงานนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของเซลล์ไขมันด้วยเช่น มีการนำ GH ไปใช้ในหนูพบว่าลดการฟอรัมตัวของไขมันและลดการแสดงออกของ IGF-1 แต่อย่างไรก็ตาม GH เป็น Hormone ที่มีผลต่อไขมันทำให้มีผลของไขมันที่มากขึ้นโดยการเพิ่มการแสดงออกของ IGF-1

2.8.3 Thyroid hormone (T-3)

ภาพรวมของ Thyroid hormone ต่อกระบวนการ Adiponeogenesis ทำหน้าที่เกี่ยวกับการแบ่งเซลล์ไขมัน โดย Thyroid hormone จะทำงานโดยขึ้นอยู่กับฮอร์โมนอื่น ๆ ด้วยหรือปัจจัยในการเจริญเติบโตเช่น เมื่อระดับของ Insulin ลดลง Thyroid hormone จะทำงานร่วมกับ IGF-1 เพื่อจะทำการแบ่งเซลล์ไขมันเป็นต้น

2.8.4 Glucocorticoids

ยกตัวอย่างเช่น Dexamethasone ซึ่งเป็นฮอร์โมนสังเคราะห์จาก Glucocorticoids โดยหลักทำหน้าที่ในการระงับความเจ็บปวดเพิ่มการสังเคราะห์กรดอะมิโน กรดไขมัน Glucocorticoids ทำ

หน้าที่ในการแบ่งเซลล์ไขมันโดยการเพิ่มการเป็น Arachidonic acid (ARA) ไปเป็น Prostacyclin เพื่อเพิ่มเซลล์ cAMP และยังกระตุ้นการแสดงออกของ C/EBP และ PPAR ซึ่งทำหน้าที่ในการแบ่งเซลล์ไขมัน

2.9 รายการอ้างอิง

- ปนัดดาโรจน์พิบูลย์สถิต. (2546). *ชีวเคมีทางการแพทย์*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : บุ๊คเน็ตจำกัด.
- วิศิษฐ์พร สุขสมบัติ. (2542). *เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชาโภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง*. สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- Adachi, K., H. Kawano, K. Tsuno, Y. Nomura, N. Yamamoto, A. Arikawa, A. Tsuji, M. Adachi, T. Onimaru, and K. Ohwada. (1999). Relationship between serum biochemical values and marbling scores in Japanese Black steers. **J. Vet. Med. Sci.** 61: 961–964.
- Andrae, J. G., S. K. Duckett, C. W. Hunt, G. T. Pritchard, and F. N. Owens. (2001). Effect of high oil corn feeding on carcass traits, tenderness, and fatty acid composition of feedlot steers. **J. Anim. Sci.** 79: 582–588.
- Adams, V. L., C. D. Gilbert, H. J. Mersmann, and S. B. Smith. (2005). Conjugated linoleic depresses [3-3H]-thymidine incorporation into stromal-vascular cells of adipose tissue from post weanling pigs. **Adipocyte.** 1: 65–72.
- Archibeque, S. L., D. K. Lunt, C. D. Gilbert, R. K. Tume, and S. B. Smith. (2005). Fatty acid indices of stearoyl-CoA desaturase do not reflect actual stearoyl-CoA desaturase enzyme activities in adipose tissues of beef steers finished with corn-, flax-seed-, or sorghum-based diets. **J. Anim. Sci.** 83: 1153–1166
- Bauchart, D. (1993). Lipid absorption and transport in ruminants. **J. Dairy Sci.** 76: 3864–3881.
- Brandebourg, T. D., and C. Y. Hu. (2005). Regulation of differentiating pig preadipocytes by retinoic acid. **J. Anim. Sci.** 83: 98–107.
- Brown, J. M., M. S. Boysen, S. S. Jensen, R. F. Morrison, J. Storkson, R. Lea-Currie, M. Pariza, S. Mandrup, and M. K. McIntosh. (2003). Isomer-specific regulation of metabolism and PPAR γ signaling by CLA in human preadipocytes. **J. Lipid Res.** 44: 1287–1300.
- Cameron, P. J., M. Rogers, J. Oman, S. G. May, D. K. Lunt and S. B. Smith. (1994). Stearoyl-CoA desaturase enzyme activity and mRNA levels are not different in subcutaneous adipose tissue from Angus and American Wagyu steers. **J. Anim. Sci.** 72: 2624–2628.
- Chilliard, Y., and J. Robelin. (1985). Activity of lipoprotein lipase in different adipose deposits and its relation to adipocyte size in the cow during fattening or early lactation. **Reprod. Nutr. Dev.** 25: 287–293.

- Chung, K. Y., C. B. Choi, H. Kawachi, H. Yano, and S. B. Smith. (2006a). Trans-10, cis-12 conjugated linoleic acid antagonizes arginine-promoted differentiation of bovine preadipocytes. **J Anim. Sci.** 2:93–100.
- Chung, K. Y., D. K. Lunt, C. B. Choi, S. H. Chae, R. D. Rhoades, T. L. Adams, B. Booren, and S. B. Smith. (2006b). Lipid characteristics of subcutaneous adipose tissue and M. longissimusthoracis of Angus and Wagyu steers fed to U.S. and Japanese endpoints. **J. Meat Sci.** 73:432–441.
- Chung, K. Y., D. K. Lunt, H. Kawachi, H. Yano, and S. B. Smith. (2007). Lipogenesis and stearoyl-CoA desaturase gene expression and enzyme activity in adipose tissue of short- and long-fed Angus and Wagyu steers fed corn- or hay-based diets. **J. Anim. Sci.** 85:380–387.
- Choi, Y., Y. Park, J. M. Storkson, M. W. Pariza and J. M. Ntambi. (2002). Inhibition of stearoyl-CoA desaturase activity by the cis-9,trans-11 isomer and the trans-10,cis-12 isomer of conjugated linoleic acid in MDA-MB-231 and MCF-7 human breast cancer cells. **Biochem. Biophys. Res. Commun.** 294:785-790.
- Daniel Z. C. , R. J., Wynn, Salter AM, Buttery PJ. (2004). Differing effects of forage and concentrate diets on the oleic acid and conjugated linoleic acid content of sheep tissues: the role of stearoyl-CoA desaturase. **J. Anim. Sci.** 82: 747–758.
- Denke, M.A. and S.M. Grundy. (1991). Effects of fats high in stearic acid on lipid and lipoprotein concentrations in men. **Am. J. Clin. Nutr.** 54: 1036-1040.
- Drackley, J. K. (2000). **Lipid metabolism. In : Farm Animal Metabolism and Nutrition** (D' Mello, J.P.F, Ed.) CAB International. London.
- Du Min and Mike V. Dodson. (2010). **Advanced techniques to enhance marbling in meat.** Control of Meat Quality, (2011): 105-115 ISBN: 978-81-308-0469-9
- Duckett, S. K., D. G. Wagner, L. D. Yates, H. G. Dolezal, and S. G. May. (1993). Effects of time on feed on beef nutrient composition. **J. Anim. Sci.** 71: 2079-2088.
- Duckett, S. K., S. L. Pratt and E. Pavan. (2009). Corn oil or corn grain supplementation to steers grazing endophyte-free tall fescue. II. Effects on subcutaneous fatty acid content and lipogenic gene expression. **J. Anim. Sci.** 87: 1120-1128.
- Ekeren, P.A. , D.R. Smith, D.K. Lunt, and S.B. Smith. (1992). Ruminal biohydrogenation of fatty acids from high-oleate sunflower seeds. **J. Anim. Sci.** 70: 2574-2580.
- Felton E. E. D. and M. S. Kerley. (2004). Performance and carcass quality of steers fed different sources of dietary fat. **J Anim. Sci.** 82: 1794-1805.

- Gillis M. H., S. K. Duckett, J. R. Sackmann, C. E. Realini, D. H. Keisler and T. D. Pringle. (2004). Effects of supplemental rumen-protected conjugated linoleic acid or linoleic acid on feedlot performance, carcass quality, and leptin concentrations in beef cattle. **J Anim. Sci.** 82: 851-859.
- Gustafsson, I.B., B. Vessby, M. Ohrvall and M. Nydahl. (1994). A diet rich in monounsaturated rapeseed oil reduced the lipoprotein cholesterol concentration and increases the relative content of n-3 fatty acids in serum in hyperlipidemic subjects. **Am. J. Clin. Nutr.** 59: 667-674.
- García-Escobar Eva, Federico Soriguer, Sara García-Serrano, Juan M. Gómez-Zumaquero, Sonsoles Morcillo, Juan Haro, Gemma Rojo-Martínez. (2008). Dietary oleic acid and adipocyte lipolytic activity in culture. **J.Nut. Biochem.** 19:27-731
- Gorocica-Buenfil, M. A., F. L. Fluharty, T. Bohn, S. J. Schwartz, and S. C. Loerch. (2007). Effect of low vitamin A diets with highmoisture or dry corn on marbling and adipose tissue fatty acid composition. **J. Anim. Sci.** 85: 3355-3366.
- Gorocica-Buenfil, M. A., F. L. Fluharty, and S. C. Loerch. (2008). Effect of vitamin A restriction on carcass characteristics and immune status of steers. **J. Anim. Sci.** 86: 1609-1616.
- Harrison, F. A., W. M. F. Leat and A. Foster, (1974). Absorption of maize oil infused into the duodenum of the sheep. **Proc. Nutr. SOC.** 33: 103. (Abstr.)
- Hegsted, D.M., R.B. McGandy, M.L. Myers and F.J. Stare. (1965). Quantitative effects of dietary fat on serum cholesterol in man. **Am. J. Clin. Nutr.** 17: 281-295.
- Hida, Y., T. Kawada, S. Kayahashi, T. Ishihara, and T. Fushiki. (1998). Counteraction of retinoic acid and 1,25-dihydroxyvitamin D₃ on up-regulation of adipocyte differentiation with PPAR ligand, an antidiabetic thiazolidinedione, in 3T3-L1 cells. **Life Sci.** 62: 205-211.
- Hood, R. L. (1982). Relationships among growth, adipose cell size, and lipid metabolism in ruminant adipose tissue. **Fed. Proc.** 41: 2555-2561.
- Jenkins, T.C. (1993). Symposium : Advances in ruminant lipid metabolism lipid metabolism in the rumen. **J. Dairy Sci.** 76: 3851 - 3863.
- Jenkins, K. J., G. Griffith, and J. K. G. Kramer. (1988). Plasma lipoproteins in neonatal, preruminant, and weaned calf. **J. Dairy Sci.** 71: 3003 - 3012.
- Jenkins, T. C., R. J. Wallace, P. J. Moate, and E. E. Mosley. (2008). Board – Invited review : Recent advances in biohydrogenation of unsaturated fatty acids within the rumen microbial ecosystem. **J. Anim Sci.** 86: 397 - 412.

- John ST., L. C., D. K. Lunt and S. B. Smith. (1991). Fatty acid elongation and desaturation enzyme activities of bovine liver and subcutaneous adipose tissue microsomes. **J. Anim. Sci.** 69: 1064-1073.
- John ST., L. C., C. R. Young, D. A. Knabe, G. T. Schelling, S. M. Grundy and S. B. Smith. (1987). Fatty acid profiles and sensory and carcass traits of tissues from steers and swine fed an elevated monounsaturated fat diet. **J. Anim. Sci.** 64: 1441-1447
- Kawada, T., N. Aoki, Y. Kamei, K. Maeshige, S. Nishiu, and E. Sugimoto. (1990). Comparative investigation of vitamins and their analogues on terminal differentiation, from preadipocytes to adipocytes, of 3T3-L1 cells. **Comp. Biochem. Physiol.** 96A: 323-326.
- Kawada, T., Y. Kamei, and E. Sugimoto. (1996). The possibility of active form of vitamins A and D as suppressors on adipocyte development via ligand-dependent transcriptional regulators. **International Journal of Obesity** 20 Suppl. 3, S52-S57.
- Lee, S. H., D. H. Yoon, N. J. Choi, S. H. Hwang, E. Y. Cheong, S. J. Oh, I. C. Cheong, and C. S. Lee. (2005). Developmental relationship of unsaturated fatty acid composition and stearoyl-CoA desaturase mRNA level in Hanwoo steers' muscle. **Asian-australas. J. Anim. Sci.** 18: 562-566.
- Lunt, D. K., C. B. Choi, K. Y. Chung and S. B. Smith. (2005). Production characteristics and carcass quality of Angus and Wagyu steers raised to US and Japanese endpoints. **J. Anim and Vet. Adv.** 4: 949-953.
- Malau-Aduli, A. E. O., B. D. Siebert, C. D. K. Bottema and W. S. Pitchford. (1997). A comparison of the fatty acid composition of triacylglycerols in adipose tissue from Limousin and Jersey cattle. **Aust. J. Agric. Res.** 48: 715-722.
- Martin, G. S., D. K. Lunt, K. G. Britain, and S. B. Smith. (1999). Postnatal development of stearoyl coenzyme A desaturase gene expression and adiposity in bovine subcutaneous adipose tissue. **J. Anim. Sci.** 77: 630-636.
- May, S. G., C. A. Sturdivant, D. K. Lunt, R. K. Miller, and S. B. Smith. (1993). Comparison of sensory characteristics and fatty acid composition between Wagyu crossbred and Angus steers. **Meat Sci.** 35: 289-298.
- McDowell, L. R. (1989). **Vitamins in Animal Nutrition.** Academic Press, New York, NY.
- Meininger, C. J., K. A. Kelly, H. Li, T. E. Haynes, and G. Wu. 2000. Glucosamine inhibits inducible nitric oxide synthesis. **Biochem. Biophys. Res. Commun.** 279:234-239.

- Mir, P. S., Z. Mir, P. S. Kuber, C. T. Gaskins, E. L. Martin, M. V. Dodson, J. A. Elias Calles, K. A. Johnson, J. R. Busboom, A. J. Wood, G. J. Pittenger, and J. J. Reeves. (2002). Growth, carcass characteristics, muscle conjugated linoleic acid (CLA) content, and response to intravenous glucose challenge in high percentage Wagyu, Wagyu × Limousin, and Limousin steers fed sunflower oil-containing diets. **J. Anim. Sci.** 80:2996–3004.
- Miyazaki, M., Y.-C. Kim, and J. M. Ntambi. (2001). A lipogenic diet in mice with a disruption of the stearoyl-CoA desaturase 1 gene reveals a stringent requirement of endogenous monounsaturated fatty acids for triglyceride synthesis. **J. Lipid Res.** 42:1018–1024.
- Montgomery, J. L., J. R. Blanton Jr., R. L. Horst, M. L. Galyean, K. J. Morrow Jr., D. B. Wester, and M. F. Miller. (2004). Effects of biological type of beef steers on vitamin D, calcium, and phosphorus status. **J. Anim. Sci.** 82:2043–2049
- Noble, R. C., M. L. Crouchman and J. H. Moore. (1975). Synthesis of cholesterol ester in the plasma and liver of sheep. **Lipids.** 10 : 790 – 799.
- NRC, (1996). Nutrient Requirements of Beef Cattle. 7th ed. (revised): update. (2000). National Academic Science, Washington, DC, USA. 223 p.
- NRC, (2001). Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th ed. (revised). **National Academic Science**, Washington, DC, USA. 408 p.
- Nurnberg K., J. Wegner, and K. Ender, (1998). Factors influencing fat composition in muscle and adipose tissue of farm animals. **Livest. Prod. Sci.** 56: 145 – 156.
- Oka, A., Y. Maruo, T. Miki, T. Yamasaki, and T. Saito. (1998). Influence of vitamin A on the quality of beef from the Tajima strain of Japanese Black cattle. **Meat Sci.** 48:159–167.
- Pavan, E., S. K. Duckett, and J. G. Andrae. (2007). Corn oil supplementation to forage-finished steers. I. Effects on in vivo digestibility, performance, and carcass traits. **J. Anim. Sci.** 85:1330–1339.
- Protech Inc. (2007). **Lipoproteins and Apoproteins. Cytokines for the Americas Princeton Business Park. Rocky Hill.** Cited to <http://www.pepprotech.com/content/focusarticles.htm> [8 February 2009]
- Rule, D. C., M. D. MacNeil and R. E. Short. (1997). Influence of sire growth potential, time on feed, and growing-finishing strategy on cholesterol and fatty acids of the ground carcass and longissimus muscle of beef steers. **J. Anim. Sci.** 75:1525-1533.
- Smet, S. De., K. Raes, and D. Demeyer. (2004). Meat fatty acid composition as affected by fatness and genetic factors: a review. **Anim. Res.** 53: 81 – 98.

- Smith, S. B., and J. D. Crouse. (1984). Relative contributions of acetate, lactate and glucose to lipogenesis in bovine intramuscular and subcutaneous adipose tissue. **J. Nutr.** 114:792–800.
- Smith, S. B., T. S. Hively, G. M. Cortese, J. J. Han, K. Y. Chung, P. Castenada, C. D. Gilbert, V. L. Adams, and H. J. Mersmann. (2002). Conjugated linoleic acid depresses the Δ^9 desaturase index and stearoyl coenzyme A desaturase enzyme activity in porcine subcutaneous adipose tissue. **J. Anim. Sci.** 80:2110–2115.
- Smith, S. B., D. K. Lunt, K. Y. Chung, C. B. Choi, R. K. Tume, and M. Zembayashi. (2006). Review article: Adiposity, fatty acid composition, and delta-9 desaturase activity during growth in beef cattle. **Anim. Sci. J. (Jpn.)** 77:478–486.
- Smith S. B., H. Kawachi, C. B. Choi, C. W. Choi, G. Wu and J. E. Sawyer. (2008). Cellular regulation of bovine intramuscular adipose tissue development and composition. **J. Anim. Sci.** 10:2008-1340
- St John, L. C., D. K. Lunt and S. B. Smith. (1991). Fatty acid elongation and desaturation enzyme activities of bovine liver and subcutaneous adipose tissue microsomes. **J. Anim. Sci.** 69: 1064-1073.
- Sturdivant, C. A., D. K. Lunt, C. Smith and S. B. Smith. (1992). Fatty acid composition of subcutaneous and intramuscular adipose tissues and M. longissimusdorsiof Wagyu cattle. **J. Meat Sci.** 32:449-458.
- Torii, S., T. Matsui, and H. Yano. (1996). Development of intramuscular fat in Wagyu beef cattle depends on adipogenic or antiadipogenic substances present in serum. **Anim. Sci.** 63:73–78.
- Torii, S., K. Matsumoto, T. Matsui, and H. Yano. (1995). Effect of vitamin A, C, and D on glycerol-3-phosphate dehydrogenase activity of sheep preadipocytes in primary culture. **Anim. Sci. Technol.** 66:1039–1042.
- Torii, S., M. Ohyama, T. Matsui, and H. Yano. (1998). Ascorbic acid-2-phosphate enhances adipocyte differentiation of cultured stromal vascular cells prepared from bovine perirenal adipose tissue. **Anim. Sci. Technol.** 69:439–444.
- Vernon, R. G. (1986). The growth and metabolism of adipocytes. Pages 67–83 in Control and Manipulation of Animal Growth. Proc. 43rd Nottingham Easter School **Agric. Sci.** Butterworks, London, U K.
- Waldman, R. C., G. G. Suess, and V. H. Brungardt. (1968). Fattyacids of certain bovine tissue and their association with growth,carcass and palatability traits. **J. Anim. Sci.** 27:632–635.
- Westerling, D. B., and H. B. Hedrick. (1979). Fatty acid compositionof bovine lipids as influenced by diet, sex and anatomical locationand relationship to sensory characteristics .**J. Anim. Sci.** 48:1343–1348.

บทที่ 3

การศึกษาผลของการเสริมน้ำมันที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันโอเลอิก (Oleic acid) อยู่สูงต่อผลผลิตโคเนื้อ คุณภาพซากและคุณภาพเนื้อ ของโคเนื้อลูกผสมบราห์มัน

3.1 คำนำ

สถานการณ์การผลิตเนื้อโคขุนในปัจจุบันมีการเลี้ยงโคขุนเพื่อผลิตเนื้อป้อนสู่ตลาดชั้นสูงเพิ่มมากขึ้นจากในอดีต ซึ่งราคาของโคจะตัดสินใจโดยใช้ระดับของไขมันแทรกในเนื้อโค (Beef Marbling Score; BMS) ถึงแม้ว่าความนิยมบริโภคเนื้อโคขุนในประชากรบางกลุ่มจะลดลงเนื่องจากความกังวลต่อปริมาณไขมันที่มีมากในเนื้อโคขุน โดยเฉพาะกรดไขมันอิ่มตัว อย่างไรก็ตาม โคขุนที่ผ่านกระบวนการขุนอย่างมีคุณภาพจะมีปริมาณของกรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acids; SFA) ลดลง ในขณะที่กรดไขมันไม่อิ่มตัวตำแหน่งเดียว (Mono unsaturated fatty acids; MUFA) เพิ่มขึ้น การสะสมไขมันใน Marbling จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในลักษณะเป็นเส้นตรงตลอดระยะเวลาของการขุน การเพิ่มขึ้นของ Marbling scores จะพบในโคที่ได้รับกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acids; UFA) จากอาหารในรูปของ Oilseeds, Protected oil supplements หรือ Vegetable oil การเพิ่มขึ้นของ Marbling score มักจะเกิดควบคู่กับการเพิ่มขึ้นขององค์ประกอบของ Unsaturated fatty acids ใน Marbling fat การให้โคได้รับ Unsaturated fatty acids จากอาหารเพิ่มขึ้นจะทำให้ Unsaturated fatty acids จำนวนมากหลบเลี่ยงกระบวนการ Bio-hydrogenation (BH) ในกระเพาะหมัก เพื่อการดูดซึมที่เพิ่มขึ้นใน Marbling fat ดังนั้นในการที่จะเพิ่มการสะสม Marbling ในระยะเวลาของการขุน ต้องทำการปรับปรุงอาหาร เพื่อให้มีการเพิ่มการไหลผ่าน UFA ไปยังลำไส้เล็ก โดยการลดการเกิดกระบวนการ Bio-hydrogenation ในกระเพาะหมัก หรือเพิ่มความเข้มข้น UFA ในอาหาร หรือกระทำทั้ง 2 อย่าง เพื่อเป็นการเพิ่มการดูดซึม UFA ในลำไส้เล็กเพื่อการสะสมไขมัน งานวิจัยในปัจจุบัน Pavan and Duckett (2007) พบว่าสามารถใช้ Corn oil ซึ่งมีองค์ประกอบของ Oleic acid อยู่สูงทดแทนอาหารพลังงานสูงที่มีราคาแพงได้ โดยไม่ทำให้ผลผลิตโคเนื้อลดลง แต่ยังคงเพิ่มองค์ประกอบของ Fatty acid ในเนื้อโค เพิ่มน้ำหนักซากและเพิ่มไขมันในเนื้อโค การวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเพิ่ม หรือเสริมน้ำมันพืช โดยเฉพาะน้ำมันพืชที่มีองค์ประกอบของ Oleic acid อยู่สูง ได้แก่ น้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าว ต่อผลผลิตโคเนื้อ คุณภาพซากและคุณภาพเนื้อโคลูกผสมบราห์มัน

3.2 วัตถุประสงค์

3.2.1 เพื่อศึกษาผลของการเสริมน้ำมันพืชที่มีกรดไขมัน โอลิอิกอยู่สูงต่อผลผลิตโคเนื้อ โคลูกผสมบราห์มัน × พื้นเมือง

3.2.2 เพื่อศึกษาผลของการเสริมน้ำมันพืชที่มีกรดไขมัน โอลิอิกอยู่สูงต่อคุณภาพซากและคุณภาพเนื้อโคลูกผสมบราห์มัน × พื้นเมือง

3.2.3 เพื่อศึกษาผลของการเสริมน้ำมันพืชที่มีกรดไขมัน โอลิอิกอยู่สูงต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อโคลูกผสมบราห์มัน × พื้นเมือง

3.3 สมมติฐานของการวิจัย

3.3.1 การเสริมน้ำมันพืชที่มีกรดไขมัน โอลิอิกอยู่สูงไม่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตโคเนื้อโคลูกผสมบราห์มัน × พื้นเมือง

3.3.2 การเสริมน้ำมันพืชที่มีกรดไขมัน โอลิอิกอยู่สูงสามารถเพิ่มไขมันแทรกในโคเนื้อโคลูกผสมบราห์มัน × พื้นเมืองได้

3.3.3 การเสริมน้ำมันพืชที่มีกรดไขมัน โอลิอิกอยู่สูงสามารถเพิ่มระดับของกรดไขมัน โอลิอิกในเนื้อโคลูกผสมบราห์มัน × พื้นเมืองได้

3.3.4 การเสริมน้ำมันรำข้าวสามารถเพิ่มระดับของกรดไขมัน CLA ในเนื้อโคลูกผสมบราห์มัน × พื้นเมืองได้

3.4 อุปกรณ์ และวิธีการ

3.4.1 การจัดการสัตว์ทดลองและการให้อาหาร

การจัดการสัตว์ทดลองและแผนการทดลอง

ใช้โคลูกผสมบราห์มัน × พื้นเมืองเพศผู้ที่ผ่านการตอนแล้วน้ำหนักตัวเฉลี่ย 300 ± 38 กิโลกรัม จำนวน 12 ตัว แบ่งเป็น 3 กลุ่มๆ ละ 4 ตัว คือกลุ่มควบคุม กลุ่มเสริมน้ำมันปาล์มที่ระดับ 200 กรัมต่อตัวต่อวัน และ กลุ่มเสริมน้ำมันรำข้าวที่ระดับ 200 กรัมต่อตัวต่อวัน โคทุกกลุ่มจะได้รับอาหารข้นวันละ 6 กิโลกรัม/ตัว และได้รับฟางข้าว *ad libitum* มีน้ำสะอาดกินตลอดเวลา แผนการทดลองเป็นแบบ Complete Randomized Design (CRD) ระยะเวลาการทดลอง 104 วัน โดย 14 วันแรกเป็นระยะปรับตัว ตามด้วย 90 วันเป็นระยะทดลองจัดให้โคแต่ละตัวกินอาหารตามกลุ่มการทดลองอย่างเป็นอิสระต่อกัน ดังนี้

กลุ่มการทดลองที่ 1 เป็นกลุ่มควบคุม ได้รับอาหารข้นตามปกติปรับระดับพลังงานในอาหารโดยเสริมกากมันสำปะหลัง 1 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน

กลุ่มการทดลองที่ 2 เป็นกลุ่มทดลอง ได้รับอาหารข้นเสริมน้ำมันปาล์ม 200 กรัมต่อวัน

กลุ่มการทดลองที่ 3 เป็นกลุ่มทดลอง ได้รับอาหารชั้นเสริมน้ำมันรำข้าว 200 กรัมต่อวัน อาหารชั้น (Concentrate) ที่ใช้ในการทดลองเป็นอาหารชั้นชนิดเม็ด (Pellet) มีคุณค่าทางโภชนาตามความต้องการของโคเนื้อ (NRC, 1996) ได้รับวันละ 2 ครั้ง ในเวลา 08.00 น. และ 16.00 น. อาหารหยาบ (Roughage) ที่ใช้ในการทดลองคือ ฟางข้าว ซึ่งได้รับอย่างเต็มที่ (*ad libitum*) และมีอ่างน้ำสะอาดสำหรับให้โคตลอดเวลา

3.4.2 วิธีการทดลองและเก็บข้อมูล

ทำการคัดเลือกโคเนื้อลูกผสมบราห์มัน x พื้นเมือง ที่มีน้ำหนักตัวประมาณ 300 ± 38 กิโลกรัมและมีอายุใกล้เคียงกันและนำข้อมูลมาจัดกลุ่มการทดลองจำนวน 3 กลุ่ม นำโคเข้าทดลอง โดยได้รับอาหารชั้น, กลุ่มทดลองที่ได้รับอาหารชั้นเสริมน้ำมันปาล์ม 200 กรัมต่อวันและกลุ่มทดลองที่ได้รับอาหารชั้นเสริมน้ำมันรำข้าว 200 กรัมต่อวันในระหว่างการทดลองมีการเก็บบันทึกข้อมูล ดังนี้

3.4.2.1 การกินได้

ทำการวัดปริมาณการกินได้ทุกช่วง 14 วันช่วงละ 2 วันติดต่อกัน โดยทำการชั่งและบันทึกน้ำหนักของอาหารโคก่อนกิน ได้แก่ อาหารชั้นและอาหารหยาบรวมถึงเก็บตัวอย่างอาหารก่อนกิน หลังจากนั้นทำการชั่งอาหารที่เหลือจากการกินของโคในวันถัดไป (07.00 น.) และสุ่มเก็บอาหาร นำไปทำการวิเคราะห์หาวัตถุแห้งที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวิเคราะห์ส่วนประกอบทางโภชนาในอาหารโดยวิธี Proximate Analysis (AOAC, 1998) ได้แก่ โปรตีนหยาบ (Crude protein, CP) โดยเครื่อง Kjeltac auto analyzer, ไขมัน (Ether extract) โดยเครื่อง Soxhlet auto analyzer และเถ้า (Ash) โดยการใช้เตาเผาเผาที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ส่วนการวิเคราะห์เยื่อใยใช้วิธี Detergent analysis (Van Soest, Robertson and Lewis, 1991) ได้แก่ เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารที่เป็นกลาง (Neutral detergent fiber, NDF) เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกรด (Acid detergent fiber, ADF) และลิกนิน (Acid detergent lignin, ADL) โดยใช้เครื่อง Fibertec auto analyzer จากนั้นนำผลที่ได้มาคำนวณหาการกินได้ของวัตถุแห้ง โปรตีน และพลังงานของทั้งอาหารชั้นและอาหารหยาบตามสมการของ NRC (2001) และทำการประมาณค่าโปรตีนและพลังงานของโคเนื้อลูกผสมบราห์มันที่ได้รับอาหารทั้ง 3 กลุ่มการทดลองโดยใช้สมการของ NRC (1996)

3.4.2.2 น้ำหนักตัว

ทำการชั่งน้ำหนักโครายตัวเมื่อเริ่มการทดลอง, ทุกสองสัปดาห์หลังจากเริ่มทำการทดลองและเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง โดยโคจะอดอาหารอย่างน้อย 16 ชั่วโมงก่อนชั่งและทำการชั่งในช่วงเช้ามืดก่อนการให้อาหารเช้า นำข้อมูลน้ำหนักตัวไปวิเคราะห์หาการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (Average daily gain)

3.4.2.3 การศึกษาด้านคุณภาพซาก

ทำการชั่งและบันทึกน้ำหนักมีชีวิต (Live weight) ที่ผ่านการอดอาหารมาแล้วอย่างน้อย 16 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำโคทุกกลุ่มการทดลองเข้าฆ่าและตามวิธีการฆ่าและแบบสากล เพื่อทำการประเมินข้อมูลเปอร์เซ็นต์ซาก (ตัดส่วนหัว ขา ลอกหนัง และนำอวัยวะภายในออกทั้งหมด)เป็นตัวบ่งชี้ผลผลิตแบบหยาบๆ เพราะน้ำหนักซากเป็นน้ำหนักรวมของเนื้อแดง ไขมัน เอ็น ฟังคืด กระดูก ไม่ได้บอกรายละเอียดถึงปริมาณเนื้อแดง ไขมัน กระดูกหรือเอ็น ข้อมูลจึงผันแปรมากขึ้นอยู่กับระดับของการระเหยน้ำออกจากตัวสัตว์ขณะชั่งก่อนฆ่า และปริมาณอาหารหรือสิ่งบรรจุอื่นๆ ในอวัยวะย่อยอาหาร การคำนวณเปอร์เซ็นต์ซาก สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\text{Hot carcass percentage} = \frac{\text{น้ำหนักซากสด}}{\text{น้ำหนักมีชีวิต}} \times 100$$

น้ำหนักมีชีวิต หมายถึง น้ำหนักสัตว์ที่ชั่งก่อนฆ่าหลังจากกักไว้ โดยอดอาหารเป็นเวลา 16 ชั่วโมง โดยมีน้ำสะอาดให้กินตลอดเวลา

3.4.2.4 การวัดระดับ pH หลังการฆ่าชำแหละโค

ใช้ pHmeter วัดระดับ pH ณ ตำแหน่ง *Longgisimusdorsi* และ *Semimembranosus* ที่เวลา 45 นาทีหลังจากการฆ่าชำแหละ และเวลา 24 ชั่วโมงหลังการฆ่าชำแหละ

3.4.2.5 การวัดพื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน

วัดระหว่างซี่โครงที่ 12 และ 13 โดยใช้ Plastic grid และนำไปคำนวณหาพื้นที่

3.4.2.6 การวัดความหนาของไขมันหุ้มซาก (Fat thickness)

วัดระหว่างซี่โครงที่ 12 และ 13 ณ จุด $\frac{3}{4}$ ของความยาวกล้ามเนื้อสัน และตั้งฉากกับผิวชั้นนอกของไขมัน โดยใช้ Vernier caliper

3.4.2.7 การประเมินสีของเนื้อแดง

เนื้อโคที่ดีควรมีสีแดงสด จะแสดงให้เห็นถึงโคที่มีอายุน้อย เพราะโคที่มีอายุมากสีเนื้อจะคล้ำไม่น่ารับประทาน เพราะมีการสะสมเม็ดสีมาก สำหรับการประเมินสี ใช้ตัวอย่างจากเนื้อสันนอก (*Longgisimusdorsi*) และเนื้อสะโพก (*Semimembranosus*) โดยตัวอย่างเนื้อตัดจากซี่โครงที่ 12 ใส่ใน Vacuum package เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 0 – 4 องศาเซลเซียส โดยจะวัดค่าสีของเนื้อที่ 14 วัน หลังฆ่า เมื่อครบเวลานำตัวอย่างออกจาก Vacuum package ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 60 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าสีของเนื้อด้วยเครื่อง Minolta colorimeter (CR-300 MINOLTA, Japan) โดยวัดค่าสีของเนื้อตัวอย่าง 3 ตำแหน่ง บันทึกค่าเฉลี่ย L^* , a^* และ b^*

3.4.2.8 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำจากการทำอาหาร (Cooking loss)

ชั่งน้ำหนักตัวอย่างชิ้นเนื้อสันนอก และเนื้อสะโพกตัดให้มีขนาดกว้างxยาวxหนา เท่ากับ 1.5x3.0x0.5 เซนติเมตร บันทึกน้ำหนักเริ่มต้น (D1) และนำชิ้นเนื้อใส่ในถุงพลาสติกมัดปากถุง แล้วนำไปต้มที่อุณหภูมิ 80°C นาน 10 และชั่งเนื้อมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง บันทึกน้ำหนักสุดท้าย (D2) เพื่อนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำจากการทำอาหารจากสูตรคำนวณเซนติเมตร

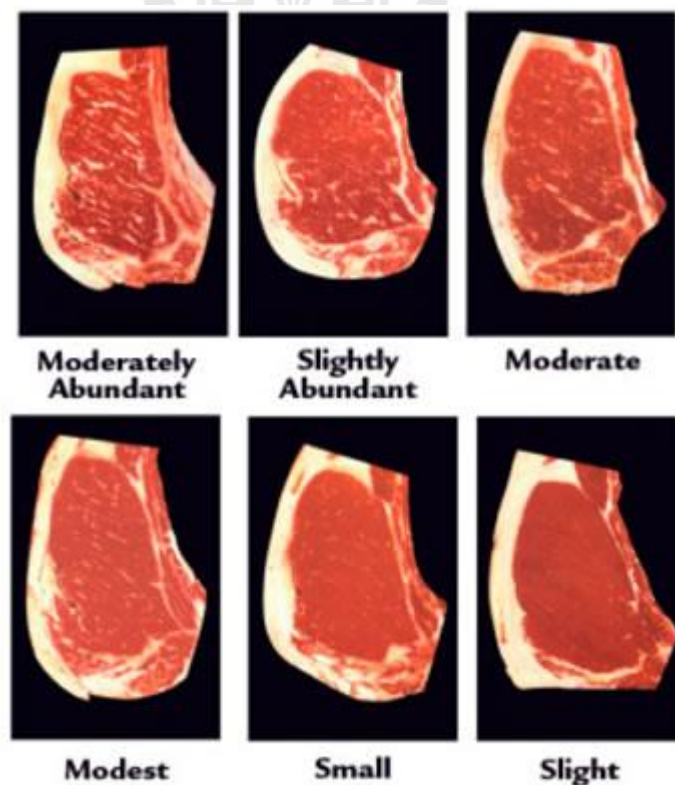
$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำ (\% cooking loss)} = \frac{(D1 - D2)}{D1} \times 100$$

3.4.2.9 การวิเคราะห์ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (shear force)

เนื้อสันนอก (*Longissimusdorsi*) และเนื้อสะโพก (*Semimembranosus*) ตัดให้มีขนาดกว้างxยาวxหนา เท่ากับ $1.5 \times 3.0 \times 0.5$ เซนติเมตรซึ่งนำหนักบรรจุลงในถุงพลาสติกปิดสนิททนความร้อน นำไปต้มในอ่างน้ำร้อน 80°C นาน 10 นาที ทำให้อุณหภูมิลดลงให้เท่ากับอุณหภูมิห้อง โดยการนำไปแช่น้ำเย็น นำเนื้อมาตัดแต่งให้มีขนาด $1.0 \times 2.0 \times 0.5$ เซนติเมตร (Dawson, Sheldon and Miles, 1991) นำไปวัดค่าแรงตัดผ่านด้วยเครื่อง Texture analysis รุ่น TA-XT2i โดยกำหนดอัตราการเคลื่อนที่ของ Warnerbrazer 2 มม./วินาที (Wattanachant, Benjakul and Ledward, 2004)

3.4.2.10 การวัดไขมันแทรก (Marbling score)

ไขมันแทรกภายในมัดกล้ามเนื้อ ทำให้เนื้อนุ่มขึ้น เนื่องจากไขมันแทรกระหว่างเซลล์ ทำให้แรงยึดระหว่างเซลล์ของกล้ามเนื้อน้อยลง และไขมันเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นตัวหล่อลื่นขณะเคี้ยวเนื้อ ทำให้เกิดความชุ่มฉ่ำภายในปากและรู้สึกว่เนื้อนุ่มขึ้น เกิดรสชาติ และเพิ่มความน่ารับประทาน เนื้อมีคุณภาพสูงส่วนมากจะมีปริมาณไขมันแทรกสูง จะวัดในเนื้อสันนอกและสะโพก โดยทำการประเมินจากปริมาณการสะสมของไขมันแทรกอยู่ในกล้ามเนื้อบนพื้นหน้าตัดกล้ามเนื้อสันนอกระหว่างกระดูกซี่โครงซี่ที่ 12 และ 13 โดยกำหนดคะแนนระดับไขมันแทรก ตามมาตรฐาน USDA Quality Grade โดยใช้ Trained committee อย่างน้อย 5 คนในการประเมินตามแผนภาพนี้



ภาพที่ 3.1 แผนภาพแสดงระดับของไขมันแทรกที่ใช้ในการประเมิน

3.4.2.11 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อ

ตัวอย่างเนื้อโคส่วนเนื้อสันนอกและเนื้อสะโพก นำมาบดป่นให้ละเอียด และนำไป Freeze dried หลังจากนั้นนำไปบดผ่านตะแกรง 2 mm อีกครั้ง และทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อ ประกอบด้วย ความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้า โดยวิธี Proximate analysis (AOAC, 1990)

3.4.2.12 การศึกษาด้านองค์ประกอบและปริมาณของ Fatty acids

การวิเคราะห์ปริมาณ Fatty acids ในเนื้อโคส่วนเนื้อสันนอกและเนื้อสะโพก โดยเครื่อง Gas chromatography (Hewlett Packard GC system HP 6890) ซึ่งตัวอย่างเนื้อนำมาสกัดน้ำมัน คัดแปลงจากวิธีของ Folch et al. (1957) และ Metcalfe et al. (1966) และการทำ Methylation คัดแปลงจากวิธีของ Ostrowska et al. (2000) หลังจากนั้นนำตัวอย่าง fatty acid methyl ที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณ Free fatty acids ตามขั้นตอนดังนี้

สุ่มเก็บตัวอย่างเนื้อโคส่วนต่างๆ นำมาสกัดน้ำมัน คัดแปลงจากวิธีของ Folch et al. (1957) และ Metcalfe et al. (1966) โดยนำตัวอย่างที่ได้จากการทดลอง ตัวอย่างละ 15 g สกัดด้วย Chloroform – methanol (2:1 v/v) ปริมาณ 90 ml นำไปปั่น (Homogenize) เป็นเวลา 2 นาที (Nissei AM-8 Homoginizer, Nihonseikikaisha, LTD., Japan) แล้วเติม Chloroform ปริมาตร 30 ml และปั่นอีกครั้งเป็นเวลา 2 นาที หลังจากนั้นกรองตัวอย่างใส่ Separating funnel แล้วเติมน้ำกำจัดไอออน (Deionize water) ปริมาตร 30 ml และ 0.58% NaCl ปริมาตร 5 ml เขย่าให้เข้ากันแล้วทิ้งไว้จนสารละลายแยกชั้นอย่างชัดเจน ปล่อยให้สารละลายส่วนล่างใส่ Evaporating flask ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน ทำการแยกตัวที่ละลายออกจากไขมันโดยระเหยที่อุณหภูมิ 40°C ด้วย Rotary Evaporator (BUCHI Rotavapor R-200, BUCHI Labortechnik AG, Switzerland) บันทึกน้ำหนักไขมันที่ได้จากนั้นเก็บไว้ภายใต้ N₂ gas ที่อุณหภูมิ -20°C จนกว่าจะนำมาทำ Methylation

การทำ Methylation คัดแปลงจากวิธีของ Ostrowska et al. (2000) ดังนี้ ชั่งตัวอย่างน้ำหนักแน่นอน 30 mg ใส่ในหลอดทดลองฝาเกลียวขนาด 15 ml จากนั้นเติม 1.5 ml ของ 0.5 N NaOH/MeOH ใส่ในหลอด แล้วไล่อากาศภายในหลอดด้วยแก๊สไนโตรเจน ปิดฝาหลอดทดลองให้สนิทและให้ความร้อนที่ 100°C ใน Water bath นาน 5 นาที ระหว่างนี้ควรเขย่าอย่างแรง 1-2 ครั้ง แล้วทำให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิปกติ การทำ Saponification ที่สมบูรณ์สังเกตจากการได้สารละลายใส ไม่มีหยดน้ำมันเหลืออยู่จากนั้นเติม 14% BF₃/MeOH ปริมาตร 2 ml ใส่ในหลอดทดลอง แล้วไล่อากาศภายในหลอดด้วยแก๊สไนโตรเจน (ถ้าต้องการหาปริมาณ CLA ด้วยวิธีการใช้ Internal standard ให้ไปเปิด 1 ml ของ C17:0 ความเข้มข้นแน่นอน 2.00 mg/ml ใน hexane) และให้ความร้อนที่ 100°C ใน water bath นาน 5 นาที ระหว่างนี้ควรเขย่าอย่างแรง 1-2 ครั้ง แล้วทำให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิปกติเติมน้ำกลั่น 10 ml จากนั้นย้าย Solution ที่ได้จากการทำ Methylation ลงใน

หลอดเซนตริฟิวจ์ฝาเกลียวขนาด 50 ml ปั่นเหวี่ยงที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 5000 rpm นาน 15 นาที เพื่อให้ Liquid-liquid phase แยกได้ดีขึ้นและทำการย้ายชั้น Hexane (ชั้นบน) และ Dry น้ำที่อาจติดออกมาด้วย Na_2SO_4 จากนั้นเก็บสารละลาย CLA methyl ester ในขวดสีชา ไล่อากาศด้วย แก๊สไนโตรเจน หลังจากนั้นนำตัวอย่าง fatty acid methyl ester (FAME) ที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณ Fatty acids โดยเครื่อง Gas chromatography (Hewlett Packard GC system HP 6890)

Condition ของ การวิเคราะห์ด้วย GC

Column : SP-2560 100 m x 0.25 ID x 0.20 μ m film

Oven : 140°C 5 min to 240°C at 4°C/min hold 15 min

Detector : FID, 260°C

Injector : split 100:1, 250°C

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) แบบ Completely Randomized Design (Steel and Torrie, 1980) และ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS (SAS, 1988)

3.6 สถานที่ทำการทดลอง

- ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- อาคารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 3 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- อาคารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 10 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.7 ระยะเวลาในการทดลอง

ทำการทดลองตั้งแต่วันที่ 14 มีนาคม 2556 ถึงวันที่ 21 มิถุนายน 2556

3.8 ผลการทดลอง

3.8.1 องค์ประกอบทางเคมีในอาหาร

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารชั้นสำเร็จรูป ฟางข้าว และกากมันสำปะหลังที่ใช้ในการทดลอง แสดงดังตารางที่ 3.1 โดยโคลูกผสมบร่าห์มัน x พันเมือง ทั้งสามกลุ่มการทดลองจะได้รับอาหารชั้นสำเร็จรูปและฟางข้าวที่มีโภชนะที่เหมือนกัน ซึ่งได้แก่ วัตถุแห้ง มีค่าเท่ากับ 93.33 และ 92.08 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับกล่าวคืออาหารชั้นสำเร็จรูปและฟางข้าวมีความชื้นเท่ากับ 6.67 และ 7.82 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โปรตีนในอาหารชั้นสำเร็จรูปและฟางข้าวมีค่าเท่ากับ 11.80 และ

1.34 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ไขมันในอาหารชั้นสำเร็จรูปและฟางข้าวมีค่าเท่ากับ 4.51 และ 1.54 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เถ้าในอาหารชั้นสำเร็จรูปและฟางข้าวมีค่าเท่ากับ 6.59 และ 15.86 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เยื่อใยในอาหารชั้นสำเร็จรูปและฟางข้าวมีค่าเท่ากับ 13.45 และ 18.56 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ NFC ในอาหารชั้นสำเร็จรูปและฟางข้าวมีค่าเท่ากับ 30.51 และ 8.60 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ NDF ในอาหารชั้นสำเร็จรูปและฟางข้าวมีค่าเท่ากับ 47.34 และ 33.29 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ADF ในอาหารชั้นสำเร็จรูปและฟางข้าวมีค่าเท่ากับ 32.16 และ 23.15 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ADL ในอาหารชั้นสำเร็จรูปและฟางข้าวมีค่าเท่ากับ 3.58 และ 3.79 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ NDIN ในอาหารชั้นสำเร็จรูปและฟางข้าว มีค่าเท่ากับ 0.12 และ 0.10 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ NDICP ในอาหารชั้นสำเร็จรูปและฟางข้าว มีค่าเท่ากับ 0.75 และ 0.63 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ADIN ในอาหารชั้นสำเร็จรูปและฟางข้าว มีค่าเท่ากับ 0.17 และ 0.93 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับและ ADICP ในอาหารชั้นสำเร็จรูปและฟางข้าว มีค่าเท่ากับ 1.06 และ 5.81 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารชั้น ฟางข้าว และ กากมันสำปะหลัง (Mean \pm SD)

Composition	อาหารชั้นสำเร็จรูป	ฟางข้าว	กากมันสำปะหลัง
Dry matter (%)	93.33 \pm 0.02	92.08 \pm 0.01	91.14 \pm 0.02
	-----% Dry matter-----		
Crude protein	11.80 \pm 0.07	1.32 \pm 0.02	1.87 \pm 0.10
Crude fat	4.51 \pm 0.15	1.52 \pm 0.11	0.22 \pm 0.03
Ash	6.59 \pm 0.08	15.86 \pm 0.24	4.10 \pm 0.21
Crude fiber	13.45 \pm 0.52	34.94 \pm 0.21	18.56 \pm 0.42
NFC	30.51 \pm 0.43	8.60 \pm 0.20	61.15 \pm 0.35
NDF	47.34 \pm 1.89	73.58 \pm 0.28	33.29 \pm 0.23
ADF	32.16 \pm 1.56	59.15 \pm 0.15	23.15 \pm 0.18
ADL	3.58 \pm 0.05	10.41 \pm 0.03	3.79 \pm 0.20
NDIN	0.12 \pm 0.01	0.14 \pm 0.01	0.10 \pm 0.05
NDICP	0.75 \pm 0.01	0.88 \pm 0.01	0.63 \pm 0.01
ADIN	0.17 \pm 0.02	0.16 \pm 0.01	0.93 \pm 0.04
ADICP	1.06 \pm 0.02	1.00 \pm 0.01	5.81 \pm 0.01

หมายเหตุ : NDF = Neutral detergent fiber, NDIN = Neutral detergent insoluble nitrogen, NDICP = Neutral detergent insoluble crude protein, ADF = Acid detergent fiber, ADIN = Acid detergent insoluble nitrogen, ADICP = Acid detergent insoluble crude protein, ADL = Acid detergent lignin

สำหรับกากมันสำปะหลังที่ให้โคทดลองกลุ่มที่ 1 พบว่าวัตถุแห้ง มีค่าเท่ากับ 91.14 เปอร์เซ็นต์ กล่าวคือ กากมันสำปะหลังมีความชื้นเท่ากับ 8.86 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนมีค่าเท่ากับ 1.87 เปอร์เซ็นต์ ไขมันมีค่าเท่ากับ 0.22 เปอร์เซ็นต์ เถ้ามีค่าเท่ากับ 4.12 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใยมีค่าเท่ากับ 18.56 เปอร์เซ็นต์ NFC มีค่าเท่ากับ 61.15 เปอร์เซ็นต์ NDF มีค่าเท่ากับ 33.29 เปอร์เซ็นต์ ADF มีค่าเท่ากับ 23.15 เปอร์เซ็นต์ ADL มีค่าเท่ากับ 3.79 เปอร์เซ็นต์ NDIN มีค่าเท่ากับ 0.10 เปอร์เซ็นต์ NDICP มีค่าเท่ากับ 0.63 เปอร์เซ็นต์ ADIN มีค่าเท่ากับ 0.93 เปอร์เซ็นต์ และ ADICP มีค่าเท่ากับ 0.58 เปอร์เซ็นต์

3.8.2 องค์ประกอบของกรดไขมันในอาหาร

องค์ประกอบของกรดไขมันในอาหารที่ใช้ในการทดลองแสดงดังตารางที่ 3.2 พบว่าอาหารชั้นสำเร็จรูปที่ใช้ในการทดลองมีองค์ประกอบของกรดไขมันดังต่อไปนี้ C12:0 มีค่าเท่ากับ 22.76% of total fatty acids C14:0 มีค่าเท่ากับ 7.85% of total fatty acids C16:0 มีค่าเท่ากับ 16.76% of total fatty acids C18:0 มีค่าเท่ากับ 2.49% of total fatty acids C18:1n9 มีค่าเท่ากับ 29.42% C18:2n6 มีค่าเท่ากับ 17.08% of total fatty acids และ C18:3n3 มีค่าเท่ากับ 0.29% of total fatty acids

สำหรับฟางข้าวที่ใช้ในการทดลองพบว่า มีองค์ประกอบของกรดไขมันดังต่อไปนี้ กรดไขมัน C12:0 มีค่าเท่ากับ 6.44% of total fatty acids C14:0 มีค่าเท่ากับ 8.15% of total fatty acids C16:0 มีค่าเท่ากับ 45.67% of total fatty acids C18:1n9 มีค่าเท่ากับ 24.93% of total fatty acids C18:2n6 มีค่าเท่ากับ 11.76% of total fatty acids

กากมันสำปะหลังที่ใช้ในการทดลองมีองค์ประกอบของกรดไขมันดังต่อไปนี้ กรดไขมัน C12:0 มีค่าเท่ากับ 12.78% of total fatty acids C14:0 มีค่าเท่ากับ 7.61% of total fatty acids C16:0 มีค่าเท่ากับ 37.71% of total fatty acids C18:2n6 มีค่าเท่ากับ 34.04% of total fatty acids C18:3n3 มีค่าเท่ากับ 7.86% of total fatty acids

ส่วนน้ำมันปาล์มที่ใช้ในการทดลองมีองค์ประกอบของกรดไขมันดังนี้ กรดไขมัน C14:0 มีค่าเท่ากับ 0.96% of total fatty acids C16:0 มีค่าเท่ากับ 38.30% of total fatty acids C18:0 มีค่าเท่ากับ 4.42% of total fatty acids C18:1n9 มีค่าเท่ากับ 40.62% of total fatty acids C18:2n6 มีค่าเท่ากับ 13.66% of total fatty acids และ C18:3n3 มีค่าเท่ากับ 0.27% of total fatty acids

สำหรับน้ำมันรำข้าวที่ใช้ในการทดลองมีองค์ประกอบของกรดไขมันดังต่อไปนี้ กรดไขมัน C14:0 มีค่าเท่ากับ 0.23% of total fatty acids C16:0 มีค่าเท่ากับ 14.35% of total fatty acids C18:0 มีค่าเท่ากับ 1.27% of total fatty acids C18:1n9 มีค่าเท่ากับ 41.17% of total fatty acids C18:2n6 มีค่าเท่ากับ 39.73% of total fatty acids และ C18:3n3 มีค่าเท่ากับ 1.50% of total fatty acids

ตารางที่ 3.2 องค์ประกอบของกรดไขมันในอาหารชั้น ฟางข้าว กากมันสำปะหลัง น้ำมันปาล์ม และ น้ำมันรำข้าว

กรดไขมัน	อาหารชั้น	ฟางข้าว	กากมันสำปะหลัง	น้ำมันปาล์ม	น้ำมันรำข้าว
C12:0	22.76	6.44	12.77	0.19	ND
C14:0	7.84	8.15	7.61	0.96	0.23
C16:0	16.76	45.67	37.71	38.29	14.35
C18:0	2.49	ND	ND	4.42	1.27
C18:1n9	29.42	24.92	ND	40.61	41.17
C18:2n6	17.07	11.75	34.03	13.66	39.73
C18:3n3	0.29	ND	7.85	0.26	1.50
Other	3.38	2.97	ND	0.07	ND

หมายเหตุ : ND = not detected

Other = C6:0 - C10:0

3.8.3 การประเมินพลังงานในอาหาร

เมื่อนำผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารชั้นสำเร็จรูป ฟางข้าวและกากมันสำปะหลังจากตารางที่ 3.1 มาคำนวณหาค่าพลังงานต่างๆ ตามสมการของ NRC (2001) ของโค ส่วนสมการการคำนวณพลังงานสุทธิ (NE) เพื่อการดำรงชีพ (NE_M) และเพื่อการเจริญเติบโต (NE_G) ใช้ตาม NRC (1996) แสดงดังตารางที่ 3.3 พบว่าอาหารชั้นมีโภชนะทั้งหมดที่ย่อยได้ (Total digestible nutrient, TDN_{IX}) เท่ากับ 68.61 เปอร์เซ็นต์ ค่าพลังงานการย่อยได้ (DE_{IX}) เท่ากับ 3.13 Mcal/kgDM พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (ME) เท่ากับ 2.56 Mcal/kgDM พลังงานสุทธิสำหรับการดำรงชีพ (NE_M) เท่ากับ 1.62Mcal/kgDM และพลังงานสุทธิสำหรับการเจริญเติบโต (NE_G) เท่ากับ 1.02 Mcal/kgDM

สำหรับฟางข้าวมีโภชนะทั้งหมดที่ย่อยได้ (Total digestible nutrient, TDN_{IX}) เท่ากับ 35.90 เปอร์เซ็นต์ ค่าพลังงานการย่อยได้ (DE_{IX}) เท่ากับ 1.65Mcal/kgDM พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (ME) เท่ากับ 1.35 Mcal/kgDM พลังงานสุทธิสำหรับการดำรงชีพ (NE_M) เท่ากับ 0.45 Mcal/kgDM

สำหรับกากมันสำปะหลังมีโภชนะทั้งหมดที่ย่อยได้ (Total digestible nutrient, TDN_{IX}) เท่ากับ 73.63เปอร์เซ็นต์ ค่าพลังงานการย่อยได้ (DE_{IX}) เท่ากับ 3.17 Mcal/kgDM พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (ME) เท่ากับ 2.60 Mcal/kgDM พลังงานสุทธิสำหรับการดำรงชีพ (NE_M) เท่ากับ 1.60 Mcal/kgDM และพลังงานสุทธิสำหรับการเจริญเติบโต (NE_G) เท่ากับ 1.00 Mcal/kgDM

ตารางที่ 3.3 คุณค่าทางพลังงานในอาหารชั้น ฟางข้าวและกากมันสำปะหลัง

% Dry matter	อาหารชั้น	ฟางข้าว	กากมันสำปะหลัง
TDN _{ix} (%) ¹	68.61	35.90	73.63
DE _{ix} (Mcal/kg) ²	3.13	1.65	3.17
ME (Mcal/kg) ⁴	2.56	1.35	2.60
NE _M (Mcal/kg) ⁵	1.62	0.76	1.60
NE _G (Mcal/kg) ⁶	1.02	0.23	1.00

หมายเหตุ :

$${}^1\text{TDN}_{ix} (\%) = \text{tdNFC} + \text{tdCP} + (\text{tdFA} \times 2.25) + \text{tdNDF} - 7$$

$${}^2\text{DE}_{ix} (\text{Mcal/kg}) = [(\text{tdNFC}/100) \times 4.2] + [(\text{tdCP}/100) \times 5.6] + [(\text{FA}/100) \times 9.4] - 0.3$$

$${}^3\text{DE} (\text{Mcal/kg}) = \{[(\text{TDN}_{ix} - [(0.18 \times \text{TDN}_{ix}) - 10.3]) \times \text{intake}]/\text{TDN}_{ix}\} \times (\text{DE}_{ix}) \times 0.82$$

$${}^4\text{ME} (\text{Mcal/kg}) = [1.01 \times (\text{DE}) - 0.45] + [0.0046 \times (\text{EE}-3)(\text{EE}>3\%)$$

$$= 1.01 \times (\text{DE}) - 0.45(\text{EE}<3\%)$$

$${}^5\text{NE}_M (\text{Mcal/kg}) = 1.37\text{ME} - 0.138\text{ME}^2 + 0.0105\text{ME}^3 - 1.12$$

$${}^6\text{NE}_G (\text{Mcal/kg}) = 1.42\text{ME} - 0.174\text{ME}^2 + 0.0122\text{ME}^3 - 1.65$$

$$\text{Intake} = 2\text{X of maintenance}$$

3.8.4 ปริมาณการกินได้ของโคเนื้อ

ปริมาณการกินได้ของโคเนื้อต่อตัวต่อวันเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทดลอง ที่ไม่มีการเสริมน้ำมัน กลุ่มเสริมน้ำมันปาล์มที่ระดับ 200 กรัมต่อตัวต่อวันและกลุ่มเสริมน้ำมันรำข้าวที่ระดับ 200 กรัมต่อตัวต่อวัน แสดงไว้ในตารางที่ 3.6 พบว่าปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบแห้งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.3, 9.4 และ 9.2 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งกลุ่มที่ไม่ทำการเสริมน้ำมันมีการกินได้สูงกว่ากลุ่มเสริมน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) อย่างไรก็ตามเมื่อคำนวณปริมาณการกินได้ต่อน้ำหนักเมแทบอลิก ($\text{g/kg W}^{0.75}$) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 112.5, 114.6 และ 144.4 $\text{g/kg W}^{0.75}$ ตามลำดับ พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ปริมาณการกินได้ของโปรตีนต่อตัวต่อวันจากอาหารที่โคได้รับเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทดลอง ที่ไม่มีการเสริมน้ำมัน กลุ่มเสริมน้ำมันปาล์มที่ระดับ 200 กรัมต่อตัวต่อวันและกลุ่มเสริมน้ำมันรำข้าวที่ระดับ 200 กรัมต่อตัวต่อวันมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 733, 713 และ 711 กรัมต่อวัน ตามลำดับ พบว่าการกินได้ของโปรตีนในกลุ่มที่ไม่มีการเสริมน้ำมันมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่เสริมน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และการกินได้ของโปรตีนต่อน้ำหนักตัว

เมแทบอลิก ($\text{g/kg W}^{0.75}$) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.8, 8.7 และ 8.8 $\text{g/kg W}^{0.75}$ ตามลำดับ พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ปริมาณการกินได้ของพลังงานสุทธิต่อตัวต่อวันจากอาหารที่โคได้รับเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มทดลอง ที่ไม่มีการเสริมไขมัน กลุ่มเสริมไขมันปาล์มที่ระดับ 200 กรัมต่อตัวต่อวันและกลุ่มเสริมไขมันรำข้าวที่ระดับ 200 กรัมต่อตัวต่อวันมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 17.7, 17.8 และ 17.4 Mcal ตามลำดับ

ตารางที่ 3.4 ผลการเสริมไขมันที่มีองค์ประกอบของ Oleic acid อยู่สูงต่อปริมาณการกินได้ของโคเนื้อ

ปริมาณการกินได้	ควบคุม	น้ำมันปาล์ม	น้ำมันรำข้าว	SEM	P-value
วัตถุประสงค์	-----กิโลกรัม/วัน-----				
อาหารชั้น	5.6	5.6	5.6	-	-
ฟาง	3.8	3.6	3.4	0.22	0.51
กากมัน	0.9	-	-	-	-
น้ำมัน	-	0.2	0.2	-	-
Total	10.3 ^a	9.4 ^b	9.2 ^b	0.22	0.01
$\text{g/kg W}^{0.75}$	122.5	114.6	144.4	3.10	0.17
CP intake	-----กรัม/วัน-----				
อาหารชั้น	666	666	666	-	-
ฟาง	50	47	45	3.2	0.56
กากมัน	16	-	-	-	-
Total	733 ^a	713 ^b	711 ^b	2.9	0.01
$\text{g/kg W}^{0.75}$	8.8	8.7	8.8	0.33	0.96
NE intake^{1/}	-----Mcal/d-----				
อาหารชั้น	9.8	9.8	9.8	-	-
ฟาง	2.7	2.7	2.3	0.15	0.44
กากมัน	6.2	-	-	-	-
น้ำมัน	-	6.3	6.3	-	-
Total	17.7	17.8	17.4	0.35	0.56

หมายเหตุ : SEM = standard error of the mean

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

^{1/} คำนวณจากองค์ประกอบทางเคมีในตารางที่ 3.1 ตามสมการของ NRC (2001)

3.8.5 น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลงของโค

น้ำหนักตัวและการเจริญเติบโตของโคเนื้อลูกผสมบราห์มัน x พื้นเมืองกลุ่ม control และกลุ่มที่ได้รับการเสริมน้ำมันปาล์ม และน้ำมันรำข้าวที่ระดับ 200 กรัม/ตัว/วัน ระยะเวลา 90 วัน แสดงไว้ในตารางที่ 3.7 พบว่าน้ำหนักตัวของโคก่อนการทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 329, 318 และ 309 กิโลกรัมตามลำดับ น้ำหนักตัวของโคหลังการทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 412, 399.8 และ 390.3 กิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นในระหว่างทำการทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 82.3, 81.3 และ 80.5 กิโลกรัมตามลำดับและการเจริญเติบโตต่อวันของโคมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.91, 0.90 และ 0.89 กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ ซึ่งจากการทดลองพบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางที่ 3.5 ผลการเสริมน้ำมันที่มีองค์ประกอบของ Oleic acid อยู่สูงต่อน้ำหนักตัว และการเจริญเติบโต (Mean±SD)

น้ำหนักตัว (กิโลกรัม)	Control	Palm oil	Rice bran oil	SEM	P-Value
ก่อนการทดลอง	329.8±44.9	318.5±43.9	309.8±39.1	21.0	0.80
หลังการทดลอง	412.0±37.1	399.8±42.7	390.3±33.8	18.6	0.71
น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น	82.3±10.3	81.3±9.4	80.5±9.9	4.34	0.96
การเจริญเติบโตต่อวัน	0.91±0.11	0.90±0.08	0.89±0.11	0.05	0.95

หมายเหตุ : SEM = standard error of the mean

3.8.6 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อโค

จากการทดลองกลุ่มที่ไม่เสริมน้ำมัน กลุ่มที่เสริมน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นในกล้ามเนื้อสันนอก ($P>0.05$) ดังนี้ กลุ่มที่ไม่เสริมน้ำมันมีค่าเท่ากับ 734.2 กรัมต่อกิโลกรัมเนื้อ และ กลุ่มที่เสริมน้ำมันปาล์ม และกลุ่มเสริมน้ำมันรำข้าว ที่ระดับ 200 กรัมต่อวันมีค่าเท่ากับ 732.3 และ 729.2 กรัมต่อกิโลกรัมเนื้อ กลุ่มที่ไม่เสริมน้ำมันและกลุ่มที่เสริมน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโปรตีนในกล้ามเนื้อสันนอก ($P>0.05$) โดยมีค่าดังนี้ กลุ่มไม่เสริมน้ำมัน มีค่าเท่ากับ 210.9 กรัมต่อกิโลกรัมเนื้อ กลุ่มที่เสริมน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวมีค่าเท่ากับ 209.9 และ 208.8 กรัมต่อกิโลกรัมเนื้อ แต่อย่างไรก็ตามการเสริมน้ำมันรำข้าวที่ระดับ 200 กรัมต่อวัน มีผลให้ปริมาณไขมันในกล้ามเนื้อสันนอกสูงกว่ากลุ่มที่ไม่เสริมน้ำมันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยมีค่าดังนี้ กลุ่มเสริมน้ำมันรำข้าว มีค่าเท่ากับ 31.1 กรัมต่อกิโลกรัมเนื้อ กลุ่มที่ไม่เสริมน้ำมัน มีค่าเท่ากับ 21.7 กรัมต่อกิโลกรัมเนื้อ ส่วนกลุ่มที่เสริม

น้ำมันปาล์มมีค่าเท่ากับ 26.6 กรัมต่อกิโลกรัมเนื้อ นั้นไม่แตกต่างกับกลุ่มที่ไม่เสริมน้ำมันและกลุ่มที่เสริมน้ำมันรำข้าว

สำหรับกล้ามเนื้อสะโพกไม่มีการเปลี่ยนแปลงของความชื้นในเนื้อ ($P>0.05$) จากกลุ่มไม่เสริมน้ำมัน กลุ่มเสริมน้ำมันปาล์ม และกลุ่มเสริมน้ำมันรำข้าวโดยมีค่าเฉลี่ยดังนี้ 733.5, 731.5 และ 739.8 กรัมต่อกิโลกรัมเนื้อ ตามลำดับ เช่นเดียวกับองค์ประกอบของโปรตีนและไขมันในกล้ามเนื้อสะโพก โดยโปรตีนมีค่าดังนี้ 220.3, 216.8 และ 214.1 กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ส่วนไขมันในกล้ามเนื้อสะโพกมีค่าดังนี้ 13.6, 17.1 และ 15.0 กรัมต่อกิโลกรัมเนื้อ ตามลำดับ

ตารางที่ 3.6 ผลการเสริมน้ำมันที่มีองค์ประกอบของ Oleic acid อยู่สูงต่อองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อ

องค์ประกอบทางเคมี	Control	Palm oil	Rice bran oil	SEM	P-Value
<i>Longgisimus dorsi</i> ----- กรัม/กิโลกรัม -----					
Moisture	734.2	732.3	729.2	5.36	0.96
Protein	210.9	209.9	208.8	3.36	0.90
Fat	21.7 ^b	26.6 ^{ab}	31.1 ^a	1.76	0.01
<i>Semimembranosus</i> ----- กรัม/กิโลกรัม -----					
Moisture	733.5	731.5	739.8	5.01	0.50
Protein	220.3	216.8	214.1	5.08	0.76
Fat	13.6	17.1	15.0	4.73	0.34

หมายเหตุ : SEM = standard error of the mean

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

3.8.7 คุณภาพซากและคุณภาพเนื้อของโคเนื้อ

ผลของการเสริมน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวต่อคุณภาพซากและคุณภาพเนื้อของโคเนื้อลูกผสมบราห์มัน x พื้นเมือง แสดงดังตารางที่ 3.9 การเสริมน้ำมันปาล์มที่ระดับ 200 กรัมต่อวัน และการเสริมน้ำมันรำข้าวที่ระดับ 200 กรัมต่อวัน ไม่มีผลต่อน้ำหนักซากเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่เสริมน้ำมัน เช่นเดียวกับเปอร์เซ็นต์ซาก, Back fat และพื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน การเสริมน้ำมันทั้งสองชนิดไม่มีความแตกต่างกับกลุ่มที่ไม่เสริมน้ำมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยดังนี้ กลุ่มไม่เสริมน้ำมันมีน้ำหนักซากเท่ากับ 219.8 กิโลกรัม กลุ่มเสริมน้ำมันปาล์มและกลุ่มเสริมน้ำมันรำข้าว มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 225.5 และ 217.0 กิโลกรัม ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์ซากของกลุ่มที่ไม่เสริมน้ำมัน, กลุ่มเสริมน้ำมันปาล์ม และกลุ่มเสริมน้ำมันรำข้าวมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 53.4, 56.3

และ 55.3 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ Back fat มีค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่ไม่เสริมน้ำมัน, กลุ่มเสริมน้ำมันปาล์ม และกลุ่มเสริมน้ำมันรำข้าวเท่ากับ 0.47, 0.46 และ 0.42 เซนติเมตรตามลำดับ และพื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน มีค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่ไม่เสริมน้ำมัน, กลุ่มเสริมน้ำมันปาล์ม และกลุ่มเสริมน้ำมันรำข้าวเท่ากับ 71.02, 69.72 และ 79.01 ตารางเซนติเมตรตามลำดับ ส่วนระดับไขมันแทรกพบว่าการเสริมน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าว สามารถเพิ่มระดับไขมันแทรกได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยดังนี้ กลุ่มไม่เสริมน้ำมันมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.14 กลุ่มเสริมน้ำมันปาล์มมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.65 และกลุ่มเสริมน้ำมันรำข้าวมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.55 โดยการวัดระดับไขมันแทรกอ้างอิงมาจากกระทรวงเกษตรและสหกรณ์สหรัฐอเมริกา (USDA)

สำหรับค่า pH ของกล้ามเนื้อสันนอกลหลังจากการฆ่าชำแหละโค การเสริมน้ำมันทั้งสองชนิดไม่มีความแตกต่างกับกลุ่มที่ไม่เสริมน้ำมันทั้ง 45 นาที หลังจากการชำแหละและ 24 ชั่วโมงหลังการชำแหละ โดยมีค่าเฉลี่ยของ pH ที่เวลา 45 นาทีหลังจากชำแหละของกลุ่มที่ไม่เสริมน้ำมัน, กลุ่มเสริมน้ำมันปาล์ม และกลุ่มเสริมน้ำมันรำข้าว เท่ากับ 7.36, 7.23 และ 7.21 ตามลำดับและค่าเฉลี่ยของ pH ที่เวลา 24 ชั่วโมงหลังจากชำแหละของกลุ่มที่ไม่เสริมน้ำมัน, กลุ่มเสริมน้ำมันปาล์ม และกลุ่มเสริมน้ำมันรำข้าว เท่ากับ 5.21, 5.57 และ 5.62 ตามลำดับ

ส่วนค่าการสูญเสียจากการปรุงอาหารของกล้ามเนื้อสันนอกล การเสริมน้ำมันรำข้าวมีค่าเฉลี่ยที่ต่ำกว่า กลุ่มไม่เสริมน้ำมันและกลุ่มเสริมน้ำมันปาล์มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยดังนี้กลุ่มไม่เสริมน้ำมันมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 36.4 เปอร์เซ็นต์ กลุ่มเสริมน้ำมันปาล์มมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 37.3 เปอร์เซ็นต์ และ กลุ่มเสริมน้ำมันรำข้าวมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 35.1 เปอร์เซ็นต์

การประเมินค่าสีของเนื้อแดง ของกล้ามเนื้อสันนอกล การเสริมน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวไม่มีผลกระทบต่อค่าสีของเนื้อแดง (L^*, a^*, b^*) โดยกลุ่มที่ไม่เสริมน้ำมันมีค่า L^*, a^*, b^* เท่ากับ 33.72, 8.19 และ 5.43 ตามลำดับ กลุ่มเสริมน้ำมันปาล์มมีค่า L^*, a^*, b^* เท่ากับ 33.68, 7.65 และ 5.41 ตามลำดับ และกลุ่มเสริมน้ำมันรำข้าวมีค่า L^*, a^*, b^* เท่ากับ 34.26, 8.45 และ 5.84 ตามลำดับ

สำหรับค่า pH ของกล้ามเนื้อสะโพกหลังจากการฆ่าชำแหละโค การเสริมน้ำมันทั้งสองชนิดไม่มีความแตกต่างกับกลุ่มที่ไม่เสริมน้ำมันทั้ง 45 นาที หลังจากการชำแหละและ 24 ชั่วโมงหลังการชำแหละ โดยมีค่าเฉลี่ยของ pH ที่เวลา 45 นาทีหลังจากชำแหละของกลุ่มที่ไม่เสริมน้ำมัน, กลุ่มเสริมน้ำมันปาล์ม และกลุ่มเสริมน้ำมันรำข้าว เท่ากับ 7.25, 7.43 และ 7.09 ตามลำดับและค่าเฉลี่ยของ pH ที่เวลา 24 ชั่วโมงหลังจากชำแหละของกลุ่มที่ไม่เสริมน้ำมัน, กลุ่มเสริมน้ำมันปาล์ม และกลุ่มเสริมน้ำมันรำข้าว เท่ากับ 5.38, 5.48 และ 5.36 ตามลำดับ

ค่าการสูญเสียจากการปรุงอาหารของกล้ามเนื้อสะโพก พบว่าการเสริมน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวไม่มีผลต่อค่าการสูญเสียจากการปรุงอาหารเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่เสริมน้ำมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยดังนี้กลุ่มไม่เสริมน้ำมันมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 35.1

เปอร์เซ็นต์ กลุ่มเสริมน้ำมันปาล์มมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 33.4 เปอร์เซ็นต์ และ กลุ่มเสริมน้ำมันรำข้าวมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 35.5 เปอร์เซ็นต์

ส่วนการประเมินค่าสีของเนื้อแดง ของกล้ามเนื้อสะโพกพบว่าการเสริมน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวไม่มีผลกระทบต่อค่าสีของเนื้อแดง (L^*, a^*, b^*) โดยกลุ่มที่ไม่เสริมน้ำมันมีค่า L^*, a^*, b^* เท่ากับ 33.72, 8.19 และ 5.43 ตามลำดับ กลุ่มเสริมน้ำมันปาล์มมีค่า L^*, a^*, b^* เท่ากับ 33.68, 7.65 และ 5.41 ตามลำดับ และกลุ่มเสริมน้ำมันรำข้าวมีค่า L^*, a^*, b^* เท่ากับ 34.26, 8.45 และ 5.84 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.7 ผลการเสริมน้ำมันที่มีองค์ประกอบของ Oleic acid อยู่สูงต่อคุณภาพซากและคุณภาพเนื้อ

คุณภาพซาก	Control	Palm oil	Rice bran oil	SEM	P-value
น้ำหนักซาก (kg)	219.8	225.5	217.0	15.01	0.92
เปอร์เซ็นต์ซาก	53.4	56.3	55.3	1.82	0.52
Backfat (cm)	0.47	0.46	0.42	0.04	0.74
พื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน (cm ²)	71.02	69.72	79.01	5.92	0.22
Marbling score	2.14 ^b	2.65 ^a	2.55 ^a	0.29	0.01
คุณภาพเนื้อ					
<i>Longgisimus dorsi</i>					
pH at 45 min	7.36	7.23	7.21	0.15	0.76
pH at 24 h	5.21	5.57	5.62	0.13	0.09
Cooking loss (%)	36.4 ^a	37.3 ^a	35.1 ^b	0.28	0.01
Color L*	33.72	33.68	34.26	0.78	0.83
a*	8.19	7.65	8.45	0.65	0.68
b*	5.43	5.41	5.84	0.34	0.62
Shear force (N/mm)	2.53	1.88	2.96	0.35	0.15
<i>Semimembranosus</i>					
pH at 45 min	7.25	7.43	7.09	0.11	0.10
pH at 24 h	5.38	5.48	5.36	0.10	0.70
Cooking loss (%)	35.1	33.4	35.5	0.92	0.33
Color L*	33.66	33.41	35.31	0.64	0.13
a*	7.74	8.09	8.55	0.55	0.60
b*	4.98 ^b	5.65 ^{ab}	6.00 ^a	0.25	0.05
Shear force (N/mm)	3.44	3.52	3.91	0.37	0.64

หมายเหตุ : SEM = standard error of the mean

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

3.8.8 ปริมาณกรดไขมันในเนื้อโค

ผลของการเสริมน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวต่อปริมาณกรดไขมันในกล้ามเนื้อสันนอกของโคลูกผสมบราห์มัน x พื้นเมือง แสดงดังตารางที่ 3.10 เมื่อรายงานผลในหน่วย เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันทั้งหมดพบว่า การเสริมน้ำมันปาล์มมีผลทำให้ระดับกรดไขมัน C12:0 และกรดไขมัน C14:0 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนกรดไขมันชนิดอื่นๆ ไม่มีความแตกต่างอย่างกันมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่การเสริมน้ำมันรำข้าวมีผลทำให้ PUFA เพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อ SFA, MUFA, MUFA/SFA และ SCD index

ตารางที่ 3.8 ผลการเสริมน้ำมันที่มีองค์ประกอบของ Oleic acid อยู่สูงต่อกรดไขมันในกล้ามเนื้อตำแหน่ง *Longissimus dorsi* (% of total fatty acids)

Fatty acids	Control	Palm oil	Rice bran oil	SEM	P-value
	-----% of total fatty acids-----				
C12:0	0.09 ^b	0.26 ^a	0.15 ^{ab}	0.04	0.05
C14:0	3.72 ^b	4.99 ^a	4.26 ^{ab}	0.29	0.05
C16:0	30.31	32.78	31.00	0.89	0.20
C16:1	3.78	3.17	2.71	0.59	0.30
C18:0	16.05	16.41	16.97	1.64	0.88
C18:1n9	41.43	38.78	38.43	1.34	0.44
C18:2n6	4.39	3.40	5.34	0.46	0.14
<i>c9, t11</i> -C18:2	0.03	0.06	ND	0.14	0.93
<i>t10, c12</i> -C18:2	0.09	0.04	0.14	0.03	0.31
SFA ¹	50.30	54.44	52.38	2.00	0.38
MUFA ²	45.21	41.95	42.14	1.93	0.48
PUFA ³	4.55 ^{ab}	3.53 ^b	5.48 ^a	0.41	0.02
MUFA/SFA	0.91	0.78	0.81	0.07	0.47
SCD index ⁴	0.24	0.21	0.18	0.07	0.89

หมายเหตุ : SEM = standard error of the mean; ND = Not detected

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

¹ Saturated fatty acids = C12:0 + C14:0 + C16:0 + C18:0

² Monounsaturated fatty acids = C16:1 + C18:1

³ Polyunsaturated fatty acids = C18:2n6 + *c9, t11*-C18:2 + *t10c12*-C18:2

⁴ Stearoyl-CoA desaturase index = C16:1/C18:0 (Smith, Kawachi, Choi, Wu and Sawyer. 2009)

ผลจากการเสริมน้ำมันปาล์ม น้ำมันรำข้าวที่ระดับ 200 กรัมต่อตัวต่อวันต่อปริมาณกรดไขมันในกล้ามเนื้อสันนอกของโคเมื่อรายงานผลเป็น มิลลิกรัม/ต่อ100 กรัมเนื้อ แสดงผลดังตารางที่ 3.11 พบว่าการเสริมน้ำมันรำข้าวทำให้ปริมาณกรดไขมัน C18:1n9, SFA, MUFA, PUFA และ Total fatty acids สูงกว่ากลุ่มที่ไม่เสริมน้ำมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กลุ่มที่เสริมน้ำมันปาล์ม และน้ำมันรำข้าวมีระดับของกรดไขมัน C12:0 สูงกว่ากลุ่มที่ไม่เสริมน้ำมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) เช่นเดียวกับกรดไขมัน C14:0 และ C16:0 กลุ่มที่เสริมน้ำมันปาล์มและกลุ่มที่เสริมน้ำมันรำข้าวมีปริมาณที่สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่เสริมน้ำมันส่วนการเสริมน้ำมันรำข้าวมีผลให้ปริมาณกรดไขมัน C18:2n6 สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่เสริมน้ำมันและกลุ่มที่เสริมน้ำมันปาล์ม

ตารางที่ 3.9 ผลการเสริมน้ำมันที่มีองค์ประกอบของ Oleic acid อยู่สูงต่อกรดไขมันในกล้ามเนื้อตำแหน่ง *Longissimus dorsi* (mg/100g muscle)

Fatty acids	Control	Palm oil	Rice bran oil	SEM	P-value
	-----mg/100g muscle-----				
C12:0	2.1	6.7	4.5	0.96	0.07
C14:0	78.8 ^b	129.2 ^a	126.9 ^a	12.57	0.03
C16:0	629.9 ^b	839.8 ^a	922.5 ^a	65.69	0.02
C16:1	75.7	82.5	81.6	17.00	0.38
C18:0	328.5	426.7	498.9	55.31	0.13
C18:1n9	855.5 ^b	981.9 ^{ab}	1172.0 ^a	67.43	0.02
C18:2n6	90.6 ^b	83.6 ^b	158.9 ^a	10.16	0.01
<i>c9, t11</i> -C18:2	2.5	1.4	ND	2.45	0.93
<i>t10, c12</i> -C18:2	1.6	1.1	4.2	0.75	0.12
SFA ¹	1039.2 ^b	1402.3 ^{ab}	1552.8 ^a	114.21	0.03
MUFA ²	931.3 ^b	1064.4 ^{ab}	1253.6 ^a	83.33	0.05
PUFA ³	94.7 ^b	86.2 ^b	163.1 ^a	9.21	0.01
MUFA/SFA	0.90	0.78	0.81	0.07	0.47
Total fatty acids	2065.2 ^b	2552.9 ^{ab}	2969.5 ^a	169.69	0.01

หมายเหตุ : SEM = standard error of the mean; ND = Not detected

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

¹ Saturated fatty acids = C12:0 + C14:0 + C16:0 + C18:0

² Monounsaturated fatty acids = C16:1 + C18:1

³ Polyunsaturated fatty acids = C18:2n6 + *c9, t11*-C18:2 + *t10c12*-C18:2

ผลของการเสริมน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในกล้ามเนื้อสะโพกของโคลูกผสมบราห์มัน x พื้นเมือง แสดงดังตารางที่ 3.12 เมื่อรายงานผลในหน่วยเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันทั้งหมดพบว่า กลุ่มไม่ทำการเสริมน้ำมัน กลุ่มเสริมน้ำมันปาล์มและกลุ่มเสริมน้ำมันรำข้าวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่ระดับของ PUFA SFA MUFA และ Total fatty acids ของกลุ่มที่เสริมน้ำมันรำข้าวมีค่าเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่ม Control อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 3.10 ผลการเสริมน้ำมันที่มีองค์ประกอบของ Oleic acid อยู่สูงต่อกรดไขมันในกล้ามเนื้อตำแหน่ง *Semimembranosus* (% of total fatty acids)

Fatty acids	Control	Palm oil	Rice bran oil	SEM	P-value
	-----% of total fatty acids-----				
C12:0	0.21	0.22	0.24	0.03	0.85
C14:0	4.35	3.42	3.95	0.50	0.36
C16:0	31.08	30.37	29.64	3.76	0.20
C16:1	3.53	3.84	4.48	1.69	0.34
C18:0	16.56	16.11	13.68	3.91	0.40
C18:1n9	39.06	38.87	40.28	3.96	0.14
C18:2n6	4.78	6.65	7.48	0.98	0.24
<i>c9, t11</i> -C18:2	0.09	ND	0.07	0.01	0.06
<i>t10, c12</i> -C18:2	0.35	0.08	1.74	1.17	0.41
SFA ¹	52.23	46.02	47.52	2.06	0.13
MUFA ²	42.59	42.71	44.76	2.10	0.72
PUFA ³	5.22	8.39	7.62	1.74	0.44
MUFA/SFA	0.83	0.93	0.94	0.05	0.31
SCD index ⁴	0.22	0.28	0.35	0.05	0.31

หมายเหตุ : SEM = standard error of the mean; ND = Not detected

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

¹ Saturated fatty acids = C12:0 + C14:0 + C16:0 + C18:0

² Monounsaturated fatty acids = C16:1 + C18:1

³ Polyunsaturated fatty acids = C18:2n6 + *c9, t11*-C18:2+ *t10c12*-C18:2

⁴ Stearoyl-CoA desaturase index = C16:1/C18:0 (Smith, Kawachi, Choi, Wu and Sawyer.

ผลจากการเสริมน้ำมันปาล์ม น้ำมันรำข้าวที่ระดับ 200 กรัมต่อตัวต่อวันต่อปริมาณกรดไขมันในกล้ามเนื้อสันนอกของโคเมื่อรายงานผลเป็นปริมาณของกรดไขมันต่อเนื้อ (มิลลิกรัม/ต่อ 100 กรัมเนื้อ) แสดงผลดังตารางที่ 3.13 พบว่า กลุ่มที่เสริมน้ำมันรำข้าวมีผลต่อปริมาณกรดไขมัน *c9, t11-C18:2* ในเนื้อแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 3.13 ผลการเสริมน้ำมันที่มีองค์ประกอบของ Oleic acid อยู่สูงต่อกรดไขมันในกล้ามเนื้อตำแหน่ง *Semimembranosus* (mg/100g muscle)

Fatty acids	Control	Palm oil	Rice bran oil	SEM	P-value
	----- mg/100g muscle -----				
C12:0	2.7	2.0	3.4	0.35	0.15
C14:0	54.5	56.3	56.4	12.25	0.98
C16:0	442.1	482.1	443.3	61.79	0.74
C16:1	45.8	63.3	63.8	14.68	0.59
C18:0	236.9	248.8	217.0	22.61	0.57
C18:1n9	534.8	645.4	584.3	85.53	0.61
C18:2n6	58.3 ^b	95.7 ^a	101.1 ^a	12.25	0.05
<i>c9, t11-C18:2</i>	1.2 ^b	ND ^b	3.7 ^a	0.16	0.02
<i>t10, c12-C18:2</i>	5.5	7.7	5.6	2.46	0.88
SFA ¹	716.2	789.2	690.2	91.17	0.82
MUFA ²	550.6	708.7	648.1	97.96	0.66
PUFA ³	63.4	120.7	103.4	20.53	0.18
MUFA/SFA	0.83	0.93	0.94	0.54	0.31
Total fatty acids	1330.1	1618.6	1441.7	178.03	0.48

หมายเหตุ : SEM = standard error of the mean; ND = Not detected

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

¹ Saturated fatty acids = C12:0 + C14:0 + C16:0 + C18:0

² Monounsaturated fatty acids = C16:1 + C18:1

³ Polyunsaturated fatty acids = C18:2n6 + *c9, t11-C18:2* + *t10c12-C18:2*

3.9 วิจารณ์ผลการทดลอง

3.9.1 ปริมาณการกินได้ของโคเนื้อ

การให้อาหารที่มีปริมาณของไขมันสูงในสัตว์เคี้ยวเอื้องจะมีผลต่อการกินได้ การย่อยได้ ของอาหารนั้นลดลง (Bhatt, Soren, Tripathi and Karim, 2011) ซึ่งปริมาณการกินได้ของโคเนื้อ เป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของโคเนื้อซึ่งเกี่ยวข้องกับ การได้รับโภชนา ในอาหาร การทดลองครั้งนี้พบว่า การกินได้วัตถุแห้งของฟางข้าวและอาหารชั้นของโคเนื้อทั้งสามกลุ่มการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ (Dhiman et al., 2000; Loor et al., 2005; Zheng et al., 2005) การเสริมไขมันในระดับที่เหมาะสมจะไม่มีผลต่อการกินได้ของโค แต่เมื่อผลของการกินได้โดยรวมนั้นกลุ่มที่ไม่เสริมไขมันมีการกินได้ที่สูงกว่าอย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่เสริมไขมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวเนื่องจาก กลุ่มที่ไม่เสริมไขมันทำการปรับสมดุลพลังงานในอาหาร โดยใช้กากมันสำปะหลังเพื่อให้ระดับ พลังงานในอาหารมีความใกล้เคียงกับกลุ่มที่ทำการเสริมไขมัน ดังนั้นจึงมีการกินได้โดยรวมสูงกว่า กลุ่มที่เสริมไขมันเช่นเดียวกับปริมาณ โปรตีนที่โคได้รับ ปริมาณของโปรตีนที่โคได้รับจากฟางข้าว และอาหารชั้นของทั้งสามกลุ่มทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ปริมาณ โปรตีนโดยรวมที่โคกลุ่มที่ไม่เสริมไขมันได้รับมีปริมาณที่สูงกว่ากลุ่มที่เสริมไขมันปาล์มและน้ำมัน รำข้าวอันเนื่องมาจากโปรตีนจากกากมันสำปะหลังซึ่งโคได้รับต่อวัน 16 กรัมต่อตัวจึงเป็นผลให้ กลุ่มที่ไม่เสริมไขมันได้รับ โปรตีน โดยรวมสูงกว่ากลุ่มที่เสริมไขมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่เมื่อคำนวณการกินได้โดยรวมต่อน้ำหนักเมแทบอลิก ($\text{g/kg w}^{0.75}$) พบว่าไม่มีความ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากโคในกลุ่มที่ไม่ทำการเสริมไขมันแม้จะมีน้ำหนักตัวใกล้เคียง กับกลุ่มที่เสริมไขมันแต่อาจมีโครงสร้างของร่างกายที่ขนาดใหญ่กว่ากลุ่มที่เสริมไขมันว่าการกิน ได้จึงมีระดับเมื่อเทียบต่อน้ำหนักเมแทบอลิก ($\text{g/kg w}^{0.75}$) จึงไม่มีความแตกต่างกันเช่นเดียวกับการกิน ได้โปรตีน ต่อน้ำหนักเมแทบอลิก ($\text{g/kg w}^{0.75}$) การเสริมไขมันทำให้การย่อยได้ของ Fiber ลดลงมีผล ทำให้การกินได้ลดลง อย่างไรก็ตาม ควรเสริมในระดับที่เหมาะสม คือ 5-6%(NRC, 2001) จากการ ทดลองที่ทำการเสริมไขมันในระดับ 2-3% จึงไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้วัตถุแห้งของฟางข้าวและ อาหารชั้นสำเร็จรูป

3.9.2 น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลงของโค

การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวของโคในการทดลอง แสดงไว้ในตารางที่ 3.7 ซึ่งพบว่าไม่มี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) การเสริมไขมันหากเสริมในปริมาณที่เหมาะสมจะ ไม่ส่งผลกระทบต่อการย่อยเชื้อใยโดย NRC (2001) แนะนำว่าไขมันในอาหารไม่ควรสูงกว่า 5-6% สอดคล้องกับ (Felton and Kerley., 2004) ที่ทำการทดลองใช้วัตถุดิบที่มีองค์ประกอบของ Oleic acid อยู่สูง ไม่ส่งผลกระทบต่อเจริญเติบโต อาหารที่ใช้ในการทดลองได้ทำการปรับสมดุลของพลังงานใน อาหารให้มีความใกล้เคียงกันจึงทำให้มีระดับการเจริญเติบโตที่ไม่แตกต่างกัน

3.9.3 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อโค

คุณภาพทางโภชนาการของเนื้อขึ้นอยู่กับปริมาณโปรตีนคาร์โบไฮเดรตไขมัน เกลือแร่ และวิตามิน นอกจากนี้คุณภาพทางโภชนาการของเนื้อจะต้องคำนึงถึงประโยชน์ที่ร่างกายได้รับ เช่น ปริมาณกรดอะมิโนในโปรตีนของเนื้อหรือปริมาณสัดส่วนของโปรตีนต่อไขมันที่มีอยู่ในเนื้อสัตว์ โดยทั่วไปปริมาณของไขมันมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณของโปรตีนและความชื้นในกล้ามเนื้อ (Ueda et al., 2007) จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อโคแสดงดังตารางที่ 3.8 พบว่าการเสริมน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวสามารถเพิ่มระดับของไขมัน ณ ตำแหน่งสันนอกสอดคล้องกับ Archibeque et al.(2005); Felton et al. (2004); Gillis et al. (2004) และ Andrae et al. (2001) ที่ทำการเสริมวัตถุดิบหรือน้ำมันที่มีองค์ประกอบของกรดไขมัน Oleic acid อยู่สูงสามารถเพิ่มระดับไขมันแทรกในกล้ามเนื้อสันนอกได้โดยการกระตุ้นการเพิ่มจำนวนเซลล์และขนาดของเซลล์ไขมัน (Smith et al., 2008) ซึ่งปริมาณไขมันแทรกมีความสัมพันธ์กับปริมาณไขมันในกล้ามเนื้อ (Ueda et al., 2007) ส่วนปริมาณของความชื้น และโปรตีนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

3.9.4 คุณภาพซากและคุณภาพเนื้อของโคเนื้อ

จากการศึกษาคุณภาพซากของโคเนื้อในการทดลองครั้งนี้พบว่าน้ำหนักซาก, เปอร์เซ็นต์ซาก, Back fat และพื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน ให้ผลการทดลองที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เนื่องจากการเสริมไขมันที่ไม่เกินระดับ 5% จะไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโต โดยการเจริญเติบโตมีความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ซาก พื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน (Duckett, Andrae, and Owens .(2002) และ Sackmann et al. (2003) แต่การเสริมน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวซึ่งเป็นไขมันที่มีองค์ประกอบของ Oleic acid อยู่สูงสามารถเพิ่มระดับไขมันแทรกในเนื้อได้ สอดคล้องกับ Archibeque et al.(2005); Felton et al. (2004); Gillis et al. (2004) และ Andrae et al. (2001) ที่ทำการวัดวัตถุดิบที่มีองค์ประกอบของ Oleic acid อยู่สูงสามารถเพิ่มการไหลผ่านของ Oleic acid ไปยังลำไส้เล็กเพื่อส่งต่อไปยังเนื้อเยื่อและไปกระตุ้นการเพิ่มจำนวนและขนาดเซลล์ไขมัน (Smith et al., 2009)

ส่วนในการศึกษาด้านคุณภาพของเนื้อโคพบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของกล้ามเนื้อทั้งสองตำแหน่งไม่มีความแตกต่างกันโดยระดับความเป็นกรดที่เพิ่มขึ้นในช่วงโมเมนต์ 24 เกิดจากกล้ามเนื้อทำงานภายใต้สภาวะไม่มีอากาศจึงทำให้ไฟรูเวตที่เกิดขึ้นจากกระบวนการไกลโคไลซิสดูดเปลี่ยนไปเป็นกรดแลคติกซึ่งต่อมาอาจแทรกซึมเข้าสู่เนื้อเยื่ออื่นและถูกนำไปโดยระบบหมุนเวียนโลหิตเพื่อสร้างเป็นไกลโคเจนโดยประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ไกลโคเจนจะถูกเปลี่ยนต่อไปเป็นกรดแลคติก ปริมาณกรดแลคติกที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยเพียงใดจะขึ้นอยู่กับสภาวะร่างกายการอดอาหาร การพักผ่อนและความเครียด ของสัตว์ก่อนที่จะถูกฆ่าปริมาณกรดแลคติกที่เกิดขึ้นจะมีผลต่อการลดลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง (เขาวลัษณ์, 2536)

เนื้อที่เส้นใยกล้ามเนื้ออุ่มน้ำไว้ได้ดีเมื่อนำมาหุงต้มก็ทำให้เสียน้ำแต่น้อย ทำให้เนื้อนุ่มมีรสชาติ เนื่องจากสัตว์อายุน้อยจะมีความชุ่มน้ำสูงกว่าเนื้อจากสัตว์อายุมาก และไขมันเส้นใยกล้ามเนื้อจะทำให้เกิดความรู้สึกว่าเนื้อชุ่มน้ำกว่าเนื้อที่มีไขมันค่าของการสูญเสียจากการปรุงอาหารกลุ่มที่ทำการเสริมน้ำมันรำข้าวที่ระดับ 200 กรัมต่อตัวต่อวันพบว่าค่าการสูญเสียจากการปรุงอาหาร ณ ตำแหน่งกล้ามเนื้อสันนอกต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกลุ่มที่ไม่เสริมไขมันอันเนื่องมาจากการเพิ่มของไขมันในกล้ามเนื้อสันนอกเป็นการลดการสูญเสียจากการปรุงอาหาร โดย (Ueda et al., 2007) ได้รายงานไว้ว่าปริมาณของไขมันมีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่าการสูญเสียจากการปรุงอาหาร ซึ่งความชุ่มน้ำจะทำให้มีความรู้สึกว่เนื้อนั้นอร่อย รวมทั้งยังมีรสชาติดีรวมอยู่ด้วย และนอกจากนั้นในขณะที่เคี้ยวบดในปากจะช่วยหล่อลื่นทำให้การเคี้ยวเป็นไปได้ง่ายขึ้นทั้งก่อนจะกลืนเข้าไป ซึ่งในระหว่างบดเคี้ยวยังทำให้เกิดการเร่งเร้าให้น้ำลายไหล (salivation) (ชัยณรงค์, 2529)

สีของเนื้อจะขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์อายุการทำงานของกล้ามเนื้อปริมาณเม็ดสีในเลือดและเม็ดสีในกล้ามเนื้อ และการเปลี่ยนแปลงของสีภายในกล้ามเนื้อ เป็นต้น สีของเนื้อนับเป็นลักษณะประการแรกที่บ่งบอกคุณภาพของเนื้อนั้น (Bennion, 1995) โดยการวัดค่าสีออกมามี 3 ค่าคือ L^* , a^* และ b^* โดย L^* คือค่าความสว่าง a^* คือค่าสีแดงและ b^* คือค่าสีเหลือง สำหรับค่าสีของกล้ามเนื้อสะโพกพบว่า ค่า b^* ของกลุ่มที่ทำการเสริมน้ำมันรำข้าวมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ไม่เสริมไขมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เนื่องจากกลุ่มที่ทำการเสริมน้ำมันรำข้าวในกล้ามเนื้อมี PUFA ในระดับที่สูง ซึ่งในเนื้อโค PUFA จะสะสมอยู่ในรูป Phospholipid ซึ่งง่ายต่อการเกิด Oxidation (Wood, Enser, Fisher, Nute, Sheard, Richardson, Hughes, Whittingto, 2008) จึงทำให้เกิดการ Oxidation ของกรดไขมันทำให้สีของเนื้อเปลี่ยนไป (Ismail, Lee, Ko and Ahn, 2009) อีกทั้งปริมาณของไขมันแทรกภายในกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณของไขมันในกล้ามเนื้อสูงขึ้นจึงส่งผลให้ค่า b^* ของเนื้อสูงขึ้นด้วย (Dennerberger et al., 2006)

ความนุ่ม (tenderness) ของเนื้อขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์ พันธุ์สัตว์อายุชนิดของกล้ามเนื้อ ปริมาณของไขมันที่แทรกอยู่ในเนื้อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในกล้ามเนื้อสัตว์ภายหลังการฆ่าและระยะเวลาในการบ่มเนื้อความนุ่มของเนื้อจะมีผลโดยตรงต่อเนื้อสัมผัสของเนื้อซึ่งส่งผลต่อความน่ารับประทานของเนื้อด้วย (Bennion, 1995) สำหรับค่าแรงตัดเนื้อ (Shear force) ณ ตำแหน่งกล้ามเนื้อสันนอกและกล้ามเนื้อสะโพกไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอันเนื่องมาจากระดับของไขมันแทรกมีผลต่อความนุ่มของเนื้อเพียงร้อยละ 5 ถึง ร้อยละ 10 เท่านั้น นอกจากนั้นเป็นอิทธิพลทางด้านอายุมากกว่า (Tommy et al., 1993)

3.9.5 องค์ประกอบและปริมาณกรดไขมันในเนื้อ

ปริมาณกรดไขมันในกล้ามเนื้อสันนอกรายงานในหน่วย % of total fatty acids พบว่ากรดไขมัน C12:0 และ กรดไขมัน C14:0 ของกลุ่มที่ทำการเสริมน้ำมันปาล์มมีระดับที่สูงกว่ากลุ่มที่ไม่เสริมน้ำมันซึ่งแม้ว่าในอาหารของสัตว์ทดลองจะมีระดับกรดไขมัน C12:0 และ C14:0 ไม่แตกต่างกัน แต่การสังเคราะห์กรดไขมันโดย Ruminant microbial *de novo* synthesis ซึ่งสามารถนำกรดไขมันสายสั้นถึงสายกลาง C12:0 – C18:0 มาสังเคราะห์ เป็น Microbial Phospholipid และถูกดูดซึมที่ลำไส้เล็กซึ่งน้ำมันปาล์มมีระดับของกรดไขมันจำพวกนี้สูงจึงทำให้ระดับของกรดไขมัน C12:0 และ C14:0 จึงมีความแตกต่างกันเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่ทำการเสริมน้ำมัน (Kucuk, Hess and Rule, 2008 ; Kucuk, Hess and Rule, 2004 and Viviani, 1970) สอดคล้องกับ (Smith et al., 2009) ที่ทำการศึกษา *In vitro* พบว่าการเสริมน้ำมันปาล์มทำให้มีการสังเคราะห์กรดไขมันสายกลางจากกลูโคสที่เพิ่มขึ้น ส่วนระดับของ SFA และ MUFA ทั้งตัวจุลินทรีย์และโคสามารถสังเคราะห์เองได้จึงทำให้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Kucuk et al., 2008; Kucuk et al., 1970)

ระดับของ Oleic acid ในกล้ามเนื้อสันนอกพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติสอดคล้องกับ (Felton et al.,(2004); Lee et al.,(2003) และ Andrae et al.,(2001) โดยการที่ Oleic acid ถูกซึมส่งไปยังเนื้อเยื่อ Oleic acid จะทำการขยายและเพิ่มจำนวนเซลล์ไขมันจึงทำให้กรดไขมันชนิดอื่น ๆ มีการเพิ่มจำนวนด้วยเมื่อรายงานในหน่วย mg/100 g muscle กลุ่มที่ทำการเสริมน้ำมันรำข้าวและน้ำมันปาล์มมีระดับของ C14:0 C16:0 C18:1n9 SFA และ MUFA เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจาก Total fatty acids มีระดับสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ทำการเสริมน้ำมัน โดยการเพิ่มขึ้นของ Total fatty acids ตามจำนวนของไขมัน ในกล้ามเนื้อสันนอกเพิ่มขึ้น ซึ่งการที่เกิดการเพิ่มขึ้นของไขมันทั้งหมดเกิดจากการที่เสริมน้ำมันที่มีองค์ประกอบของ Oleic acid อยู่สูงจะกระตุ้นการทำงานของ Preadipocytes cell line 3T3L-1 ซึ่งมีตัวรับชื่อว่า G-Protein coupled receptor 43 ซึ่งสามารถกระตุ้นการแบ่งเซลล์ได้โดยการใส่กรดไขมันนั้นคือ Oleic acid เมื่อมีการเพิ่มจำนวนเซลล์ของไขมันจะมีการสังเคราะห์ไขมันจากกลูโคสที่เพิ่มขึ้นจึงทำให้ปริมาณของ Total fatty acids เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน (Smith et al., 2009) และปริมาณของกรดไขมันทั้งหมดในกล้ามเนื้อจะแปรผันกับปริมาณของไขมันที่แทรกในกล้ามเนื้อนั้น ๆ (Scollan et al., 2002)

ส่วนระดับของ C18:2n6 และ Polyunsaturated fatty acids (PUFA) ณ ตำแหน่งของกล้ามเนื้อสันนอก การเสริมน้ำมันรำข้าวทำให้ระดับของ C18:2n6 และ PUFA สูงขึ้นเนื่องจากน้ำมันรำข้าวมีองค์ประกอบของ PUFA ที่สูงได้แก่ C18:2n6 ซึ่ง PUFA ที่อยู่ในผลิตภัณฑ์สัตว์จะเกิดขึ้นได้เมื่อสัตว์ได้รับจากอาหารที่มีองค์ประกอบของ PUFA อยู่สูง (Duckket, Pratt and Pavan, 2009) โดยทั่วไป PUFA ไม่สามารถสังเคราะห์ได้โดยแบคทีเรียที่เรียกว่า cyanobacteria ดังนั้น PUFA ที่พบได้ในกระเพาะหมักได้มาจากการให้อาหารพบว่าปริมาณของกรดไขมัน 65 เปอร์เซนต์เกิด

Biohydrogenation อีก 35 เปอร์เซ็นต์ ถูกนำไปสังเคราะห์เป็นองค์ประกอบของไขมันในจุลินทรีย์ (microbial lipid) ประกอบด้วย branched – chain fatty acids ได้แก่ isobutyrate, isovalerate และ 2-methylbutyrate ซึ่งเป็นผลผลิตสุดท้ายจากกระบวนการหมักของคาร์โบไฮเดรตและอีก 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นไขมันไหลผ่านที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงจากจุลินทรีย์ส่วนใหญ่เป็น PUFA (Jenkins, Wallace, Moate and Mosley, 2008)

ส่วนกรดไขมันในกล้ามเนื้อสะโพกพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระดับของ C16:0 กลุ่มที่ทำการเสริมน้ำมันปาล์มซึ่งเป็นแหล่งของ C16:0 ไม่มีความแตกต่าง โดยอธิบายได้ว่าในกรดไขมันสายกลางสามารถที่จะสังเคราะห์ได้จากจุลินทรีย์โดยใช้สารตั้งต้นคือ VFA (Fulco 1983; Kucuk et al., 2008; Kucuk et al., 1970) ส่วนปริมาณ C18:2n6 กลุ่มที่ทำการเสริมน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวมีปริมาณเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มไม่เสริมน้ำมันเนื่องจากในน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวมีองค์ประกอบของ C18:2n6 อยู่โดยน้ำมันรำข้าวมีปริมาณสูงกว่าน้ำมันปาล์มซึ่งการให้น้ำมันที่มีองค์ประกอบของ C18:2n6 อยู่สามารถเพิ่มการไหลผ่านของกรดไขมันชนิดนี้ได้ เพื่อไปสะสมยังกล้ามเนื้อ (Duckket, Pratt and Pavan, 2009) แต่เมื่อรายงานในหน่วย mg/100 g muscle พบว่าระดับของ c9, t11-CLA ในกลุ่มเสริมน้ำมันรำข้าวมีปริมาณสูงกว่ากลุ่มที่ไม่เสริมอันเนื่องมาจากการสะสมของ CLA ในกล้ามเนื้อสะโพกมีความสามารถมากกว่ากล้ามเนื้อสันนอกโดยกระบวนการที่ได้ CLA จากสารตั้งต้น คือ C18:2n6 ถูก Isomerization เป็น c9, t11-C18:2 และถูก Hydrogenate ได้ t11-18:1 (Liavonchanka et al., 2006) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ CLA ในกล้ามเนื้อ (Doreau and Ferlisy, 1994)

3.10 สรุปผลการทดลอง

การทดลองเสริมน้ำมันที่มีองค์ประกอบของกรดไขมัน โอเลอิก(Oleic acid) โดยการใช้ น้ำมันปาล์มที่ระดับ 200 กรัมต่อตัวต่อวัน และ การใช้ น้ำมันรำข้าว 200 กรัมต่อตัวต่อวัน พบว่าการกินได้ วัสดุแห้งของฟางข้าวและอาหารข้น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เช่นเดียวกันกับน้ำหนักตัว การเจริญเติบโต เปอร์เซ็นต์ซาก คุณภาพซาก การเสริมน้ำมันปาล์มที่ระดับ 200 กรัมต่อตัวต่อวัน และ น้ำมันรำข้าว 200 กรัมต่อตัวต่อวัน สามารถเพิ่มระดับของไขมันแทรก ปริมาณ Total fatty acid, ไขมันในกล้ามเนื้อสันนอก และการสูญเสียน้ำจากการปรุงอาหารได้ เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่เสริมน้ำมัน สำหรับกรดไขมันในกล้ามเนื้อ การเสริมน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวทำให้ระดับของ Oleic acid ในกล้ามเนื้อสันนอกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการเสริม น้ำมันรำข้าวสามารถเพิ่มระดับ CLA ในกล้ามเนื้อสะโพกได้ ($P>0.05$)

3.11 รายการอ้างอิง

- ชัยณรงค์ คันทพนิต. (2529). **วิทยาศาสตร์เนื้อสัตว์**. ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 276 น.
- เยาวลักษณ์ สุรพันธ์พิเชียร. (2536). **เทคโนโลยีเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์สหมิตรออฟเซต.
- Andrae, J. G., S. K. Duckett, C. W. Hunt, G. T. Pritchard, and F. N. Owens. (2001). Effect of high oil corn feeding on carcass traits, tenderness, and fatty acid composition of feedlot steers. **J. Anim. Sci.** 79:582-588.
- AOAC. (1998). **Official Method of Analysis**. Washington D. C. Association of Official Analytical Chemist
- Archibeque, S. L., D. K. Lunt, C. D. Gilbert, R. K. Tume and S. B. Smith. (2005). Fatty acid indices of stearoyl-CoA desaturase do not reflect actual stearoyl-CoA desaturase enzyme activities in adipose tissues of beef steers finished with corn-, flaxseed-, or sorghum-based diets. **J. Anim. Sci.** 83:1153-1166
- Bennion, M. (1995). **Introductory Foods**. New Jersey : Englewood Cleffs. Western Sydney Hawkesbury, University. Meat and Milk Processing Workshop, Monday 26th May-Friday 18th July. Western Sydney : Australia.
- Bhatt, RS., N.M. Soren, M.K. Triphati and S.A. Karim. (2001). Effects of different levels of coconut oil supplementation on performance, digestibility, rumen fermentation and carcass traits of Malpura lambs. **Anim. Feed Sci. Technol.** 164 (1-2):29-37.
- Dannenberger, D., K. Nuernberg, G. Nuernberg and K. Ender. (2006). Carcass and meat quality of pasture vs. concentrate fed German Simmental and German Holstein bulls. **Arch. Tierz.** 49: 315-328.
- Dhiman, T.R., Satter, L.D., Pariza, M.W., Galli, M.P., Albright, K., and Tolosa, M.X. (2000). Conjugated linoleic acid (CLA) content of milk from cows offered diets rich in linoleic and linolenic acid. **J. Dairy Sci.** 83:1016-1027.
- Doreau, M., and A. Ferlay. (1994). Digestion and utilization of fatty acid by ruminants. **Anim. Feed Sci. Technol.** 45: 379 – 396.
- Duckett, S. K., Andrae, J. G., and Owens, F. N. (2002). Effect of high oil corn or added corn oil on ruminal biohydrogenation of fatty acids and conjugated linoleic acid formation in beef steers fed finishing diets. **J. Anim. Sci.** 80:3353–3360.

- Duckett, S. K., S. L. Pratt and E. Pavan. 2009. Corn oil or corn grain supplementation to steers grazing endophyte-free tall fescue. II. Effects on subcutaneous fatty acid content and lipogenic gene expression. **J. Anim. Sci.** 87:1120-1128.
- Felton E. E. D. and M. S. Kerley. (2004). Performance and carcass quality of steers fed different sources of dietary fat. **J Anim. Sci.** 82:1794-1805.
- Folch, J., Lees, M., and Sloane-Stanley, G.H. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. **J. Bio. Chem.** 226:495-509.
- Fulco, A. J. 1983. Fatty acid metabolism in bacteria. **Prog. Lipid Res.** 22: 133 – 160.
- Gillis M. H., S. K. Duckett, J. R. Sackmann, C. E. Realini, D. H. Keisler and T. D. Pringle. (2004). Effects of supplemental rumen-protected conjugated linoleic acid or linoleic acid on feedlot performance, carcass quality, and leptin concentrations in beef cattle. **J Anim. Sci.** 82:851-859.
- Ismail H.A., E.J. Lee, K.Y. Ko and D.U. Ahn. (2009). Fat Content Influences the Color, Lipid Oxidation, And Volatiles of Irradiated Ground Beef. **J. Food Sci.** 74:1750-3841
- Jenkins, T. C., R. J. Wallace, P. J. Moate and E. E. Mosley. (2008). Board – Invited review : Recent advances in biohydrogenation of unsaturated fatty acids within the rumen microbial ecosystem. **J. Anim Sci.** 86: 397–412.
- Kucuk, O., Hess, B. W., & Rule, D. C. (2008). Fatty acid compositions of mixedruminal microbes isolated from sheep supplemented with soybean oil. **J. Vet. Sci.** 84: 215–224.
- Kucuk, O., Hess, B. W., & Rule, D. C. (2004). Soybean oil supplementation of a highconcentratediet does not affect site and extent of organic matter, starch,neutral detergent fiber, or nitrogen digestion, but influences both ruminalmetabolism and intestinal flow of fatty acids in limit-fed lambs. **J. Anim. Sci.** 82: 2985–2994.
- Lee, S. H., D. H. Yoon, N. J. Choi, S. H. Hwang, E. Y. Cheong, S. J. Oh, I. C. Cheong, and C. S. Lee. (2005). Developmental relationship of unsaturated fatty acid composition and stearoyl-CoA desaturase mRNA level in Hanwoo steers' muscle. **Asian-Aust. J. Anim. Sci.** 18:562–566.
- Liavonchanka, A., E. Hornung, I. Feussner, and M. G. Rudolph. (2006). **Structure and mechanism of the *Propionibacterium acnes* polyunsaturated fatty acid isomerase** PNAS. 103: 2576–2581.

- Loor, J.J., Ferlay, A., Ollier, A., Doreau, M., and Chilliard, Y. (2005). Relationship among *trans* and conjugated fatty acids and bovine milk fat yield due to dietary concentrate and linseed oil. **J. Dairy Sci.** 88:726-740.
- Metcalf, L.D., Schmitz, A.A. and Pelka, J.R. (1966). Rapid preparation of fatty acid esters from lipids for gas chromatographic analysis. **Anal. Chem.** 38:514-515.
- National Research Council. (1996). **Nutrient Requirement of Beef Cattle (7th rev.ed.)**. Washington D. C.: National Academic Press.
- National Research Council. (2001). **Nutrient Requirement of Dairy Cattle (7th rev.ed.)**. Washington D. C.: National Academic Press.
- Ostrowska, E., Muralitharan, M., Cross, R.F., Bauman, D.E., and Dunshea, F.R.(2000). Dietary conjugated linoleic acid increase lean tissue and decrease fat deposition in growing pigs. **J. Nutr.** 129:2037-2042.
- Pavan, E., and S. K. Duckett. (2007). Corn oil supplementation to steers grazing endophyte-free tall fescue. II. Effects on LM and s.c. fatty acid composition and stearoyl-CoA desaturase activity and expression. **J. Anim. Sci.** 85:1731–1740.
- Sackmann, J. R., Duckett, S. K., Gillis, M. H., Realini, C. E., Parks, A. H., and Eggelston, R.B. (2003). Effects of forage and sunflower oil levels on ruminal biohydrogenation of fatty acids and conjugated linoleic acid formation in beefsteers fed finishing diets. **J. Anim. Sci.** 81: 3174–3181.
- SAS. (1996). **User' Guide: Statistics**. SAS Institute Inc., North Carolina. 231p.
- Scollan, N.D., A. Cooper, P. Evans, M. Enser, R.I. Richardson, G.R. Nute, A.V. Fisher and J.D. Wood. (2002). Effect of forage legumes on the fatty acid composition of beef and other aspects of meat quality. **J. Agri. Sci.** 136: 345-355.
- Smith Stephen B., Clare A. Gill, David K. Lunt and Matthew A. Brooks. (2009). Regulation of Fat and Fatty Acid Composition in Beef Cattle. **Asian-Aust. J. Anim. Sci.** 22: 1225 – 1233
- Smith S. B., H. Kawachi, C. B. Choi, C. W. Choi, G. Wu and J. E. Sawyer. 2008. Cellular regulation of bovine intramuscular adipose tissue development and composition. **J. Anim sci:** 10:2008-1340
- Steel, R. G. D., and Torrie, J. H. (1980). **Principles and Procedures of Statistics: a biometric approach (2nd Ed)**. McGrawhill: New York Ueda Yasuko, Akira Watanabe, Mikito

- Higuchi I, Hiroyuki Shingu, Shiro Kushibiki and Mitsuru Shinoda. (2007). Effects of intramuscular fat deposition on the beef traits of Japanese Black steers (Wagyu). **J. Anim. Sci.** 78: 189–194.
- Tommy L Wheeler, Cundiff, Larry V.; and Koch, Robert M. (1993). **Effect of Marbling Degree on Palatability and Caloric Content of Beef.** Roman L. Hruska U.S. Meat Animal Research Center. Paper 126.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B., and Lewis, B.A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non starch polysaccharides in relation to animal production. **J. Dairy Sci.** 74:3583-3597.
- Viviani, R. (1970). Metabolism of long-chain fatty acids in the rumen. **Advances in Lipid Research.** 8: 267–346.
- Wood J.D., M. Enser, A.V. Fisher, G.R. Nute, P.R. Sheard, R.I. Richardson, I. Hughes, F.M. Whittington. (2008). Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. **J. Meat Sci.** 78:343–358
- Zheng, H.C., Liu, J.X., Yao, J.H., Yuan, Q., Ye, H.W., Ye, J.A., and Wu, Y.M. (2005). Effects of dietary sources of vegetable oils on performance of highyielding lactating cows and conjugated linoleic acids in milk. **J. Dairy Sci.** 88:2037-2042.

บทที่ 4

ผลของการเสริมไขมันที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันโอเลอิก (Oleic acid) อยู่สูง ต่อประชากรโปรโตซัวสถานะความเป็นกรด-ด่าง แอมโมเนีย-ไนโตรเจน กรดไขมันระเหยได้ และการเปลี่ยนแปลงกรดไขมัน ในกระเพาะหมักของโคเนื้อลูกผสมบราห์มัน

4.1 คำนำ

สัตว์เคี้ยวเอื้องแม่มักมีจุดเด่นในการใช้อาหารคุณภาพต่ำให้เกิดประโยชน์จากการทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก แต่นอกเหนือจากนั้นจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักยังสามารถที่จะสร้างสิ่งที่สัตว์กระเพาะเดี่ยวไม่สามารถที่จะผลิตได้จากอาหารที่มีคุณภาพเพียงธรรมดาเช่น การเกิด Conjugated linoleic acid (CLA) ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง แต่อย่างไรก็ตามการทำงานของจุลินทรีย์บางที่เป็นอุปสรรคในการเพิ่มคุณภาพผลผลิตเช่นความต้องการเสริมวัตถุดิบที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงเพื่อให้มีการสะสมของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในผลผลิตแต่การเสริมนี้จุลินทรีย์จำเป็นต้องมีการป้องกันตัวของจุลินทรีย์เองเพื่อให้มีสถานะของนิเวศวิทยาของกระเพาะหมักเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ยกตัวอย่างเช่นกระบวนการ Bio-Hydrogenation เกิดขึ้นเพื่อขจัด Reducing power คือ H-atom ในสภาพไร้ออกซิเจน (Anaerobic fermentation) H-atom จะถูกเคลื่อนย้ายไปยังพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว และป้องกันการเกิดพิษที่จะส่งผลกระทบต่อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยได้ของเชื้อใย (Moore, Swingle and Hale, 1986) เป็นต้น อีกทั้งการเสริมอาหารจำพวกน้ำมันนั้นหากเสริมในระดับที่มากเกินไปจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการหมักย่อยในกระเพาะหมัก ปริมาณกรดไขมันระเหยได้ และระบบนิเวศวิทยาของกระเพาะหมักจึงจำเป็นต้องเข้าใจกระบวนการทำงานของจุลินทรีย์ การวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเพิ่มหรือการเสริมน้ำมันพืช โดยเฉพาะน้ำมันพืชที่มีองค์ประกอบของ Oleic acid อยู่สูง ได้แก่ น้ำมันปาล์ม และน้ำมันรำข้าว ต่อประชากรโปรโตซัว สถานะความเป็นกรด-ด่าง แอมโมเนีย-ไนโตรเจน กรดไขมันระเหยได้ และการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันในกระเพาะหมักของโคเนื้อลูกผสมบราห์มัน

4.2 วัตถุประสงค์

4.2.1 เพื่อศึกษาผลของการเสริมน้ำมันพืชที่มีกรดไขมัน โอลิอิกอยู่สูงต่อการเปลี่ยนแปลงประชากรโปรโตซัวและ สภาวะความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของของเหลวในกระเพาะหมักของโคเนื้อลูกผสมบราห์มัน × พื้นเมือง

4.2.1 เพื่อศึกษาผลของการเสริมน้ำมันพืชที่มีกรดไขมัน โอลิอิกอยู่สูงต่อการเปลี่ยนแปลงแอมโมเนีย ในโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) ของของเหลวในกระเพาะหมักของโคเนื้อลูกผสมบราห์มัน × พื้นเมือง

4.2.3 เพื่อศึกษาผลของการเสริมน้ำมันพืชที่มีกรดไขมัน โอลิอิกอยู่สูงต่อการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acids; VFA) ของของเหลวในกระเพาะหมักของโคเนื้อลูกผสมบราห์มัน × พื้นเมือง

4.2.4 เพื่อศึกษาผลของการเสริมน้ำมันพืชที่มีกรดไขมัน โอลิอิกอยู่สูงต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของกรดไขมันของของเหลวในกระเพาะหมักของโคเนื้อลูกผสมบราห์มัน × พื้นเมือง

4.3 สมมติฐานของการวิจัย

4.3.1 การเสริมน้ำมันพืชที่มีกรดไขมัน โอลิอิกอยู่สูงไม่ส่งผลกระทบต่อประชากรโปรโตซัวและสภาวะความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของของเหลวในกระเพาะหมักของโคเนื้อลูกผสมบราห์มัน × พื้นเมือง

4.3.2 การเสริมน้ำมันพืชที่มีกรดไขมัน โอลิอิกอยู่สูงไม่ส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงแอมโมเนีย ในโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) ของของเหลวในกระเพาะหมักของโคเนื้อลูกผสมบราห์มัน × พื้นเมือง

4.3.3 การเสริมน้ำมันพืชที่มีกรดไขมัน โอลิอิกอยู่สูงไม่ส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงกรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acids; VFA) ของของเหลวในกระเพาะหมักของโคเนื้อลูกผสมบราห์มัน × พื้นเมือง

4.3.4 การเสริมน้ำมันพืชที่มีกรดไขมัน โอลิอิกอยู่สูงสามารถเพิ่มองค์ประกอบของกรดไขมัน ระดับของกรดไขมัน โอลิอิกของของเหลวในกระเพาะหมักของโคเนื้อลูกผสมบราห์มัน × พื้นเมือง

4.4 อุปกรณ์และวิธีการ

4.4.1 การจัดการสัตว์ทดลองและการให้อาหาร

ใช้โคลูกผสมบราห์มัน × พื้นเมืองจัดสัตว์ทดลองตามแผนการทดลองแบบ 3×3 Latin Squares แบ่งเป็น 3 กลุ่มการทดลอง คือกลุ่มควบคุม กลุ่มเสริมน้ำมันปาล์มที่ระดับ 200 กรัมต่อตัว

ต่อวัน และ กลุ่มเสริมน้ำมันรำข้าวที่ระดับ 200 กรัมต่อตัวต่อวัน โคทุกกลุ่มจะได้รับอาหารขึ้นวันละ 6 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน และได้รับฟางข้าว 4 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน มีน้ำสะอาดให้กินตลอดเวลา แบ่งระยะทดลองออกเป็น 3 ช่วง แต่ละช่วงมีระยะเวลาการทดลอง 21 วัน โดย 7 วันแรกเป็นช่วงปรับตัว สัตว์ทดลองและตามด้วย 14 วันเป็นช่วงทดลอง จัดให้โคแต่ละตัวกินอาหารตามกลุ่มการทดลอง อย่างเป็นอิสระต่อกัน ดังนี้

กลุ่มการทดลองที่ 1 เป็นกลุ่มควบคุม ได้รับอาหารขึ้นตามปกติปรับระดับพลังงานในอาหารโดยเสริมกากมันสำปะหลัง 1 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน

กลุ่มการทดลองที่ 2 ได้รับอาหารขึ้นเสริมน้ำมันปาล์ม 200 กรัมต่อวัน

กลุ่มการทดลองที่ 3 ได้รับอาหารขึ้นเสริมน้ำมันรำข้าว 200 กรัมต่อวัน

ตารางที่ 4.1 การจัดกลุ่มทดลองของโคลูกผสมบราห์มัน

โคทดลอง	ช่วงการทดลองที่ 1	ช่วงการทดลองที่ 2	ช่วงการทดลองที่ 3
โคลูกผสมบราห์มัน × พื้นเมือง 1	กลุ่มควบคุม	กลุ่มเสริมน้ำมันปาล์ม	กลุ่มเสริมน้ำมันรำข้าว
โคลูกผสมบราห์มัน × พื้นเมือง 2	กลุ่มเสริมน้ำมันปาล์ม	กลุ่มเสริมน้ำมันรำข้าว	กลุ่มควบคุม
โคลูกผสมบราห์มัน × พื้นเมือง 3	กลุ่มเสริมน้ำมันรำข้าว	กลุ่มควบคุม	กลุ่มเสริมน้ำมันปาล์ม

4.4.2 วิธีการทดลองและเก็บข้อมูล

นำโคลูกผสมบราห์มัน × พื้นเมืองมาเลี้ยงแบบขังเดี่ยวและเป็นอิสระต่อกันจำนวน 3 ตัว ในแบบ 3×3 Latin squares โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ช่วงๆ ละ 21 วัน ระยะปรับตัวของสัตว์ทดลอง 7 วัน เพื่อลดอิทธิพลในตัวสัตว์ที่เกิดขึ้นช่วงก่อนการทดลอง และจะเก็บตัวอย่างในวันที่ 20 และ 21 ของการทดลอง โดยในระหว่างทดลองมีการเก็บข้อมูลดังนี้

4.4.2.1 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

สุ่มเก็บตัวอย่าง Rumen fluid โดยใช้เครื่อง Suction ปริมาตร 50 ml ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 ml เพื่อวัดความเป็นกรดเป็นด่างทันทีหลังจากเก็บตัวอย่าง โดยใช้เครื่อง pH meter และจะต้องได้รับการปรับ (Calibrate) ด้วยการใส่ Buffers ที่ pH 7.0 และ pH 4.0 ก่อน

4.4.2.2 การเปลี่ยนแปลงประชากรของโปรโตซัว

สุ่มเก็บตัวอย่าง Rumen fluid 1 ml ใส่ในหลอดทดลองชนิดมีฝาจุก ขนาด 25 ml บรรจุด้วย Formaldehyde 10% ปริมาตร 9 ml เพื่อนำไปตรวจนับประชากรโปรโตซัว (Total direct count) โดยใช้ Haemocytometer ทำการนับด้วยกล้อง 100 เท่าสำหรับโปรโตซัว

4.4.2.3 แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$)

สุ่มเก็บตัวอย่าง Rumen fluid ปริมาตร 18 ml ใส่ในหลอด Centrifuge ขนาด 50 ml บรรจุด้วย 1 M H_2SO_4 ปริมาตร 2 ml เพื่อหยุดการทำงานของจุลินทรีย์ นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 8000 รอบ/นาที เป็นเวลา 15 นาที เก็บเอาส่วนใส (Supernatant) บรรจุลงในขวดขนาด 25 ml ปิดด้วยจุกเกลียวแล้วนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20°C เพื่อนำไปวิเคราะห์แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ด้วยเครื่อง Kjeltac

4.4.2.4 กรดไขมันระเหยได้ (VFAs)

สุ่มเก็บตัวอย่าง Rumen fluid ปริมาตร 18 ml ใส่ในหลอด Centrifuge ขนาด 50 ml บรรจุด้วย 1 M H_2SO_4 ปริมาตร 2 ml เพื่อหยุดการทำงานของจุลินทรีย์ นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 8000 รอบ/นาที เป็นเวลา 15 นาที เก็บเอาส่วนใส (Supernatant) บรรจุลงในขวดขนาด 25 ml ปิดด้วยจุกเกลียวแล้วนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20°C จนกว่าจะนำไปวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันระเหยได้ที่สำคัญ ได้แก่ Acetic acid Propionic acid และ Butyric acid ด้วยเครื่อง Gas chromatographic (GC)

4.4.2.5 องค์ประกอบของกรดไขมันของของเหลวในกระเพาะหมัก

เก็บตัวอย่าง Rumen fluid จำนวน 20 ml ใส่ในหลอด Centrifuge ขนาด 50 ml บรรจุด้วย Dichlorometane-Chloroform (2 : 1 v/v) ปริมาตร 27 ml นำไป Centrifuge ที่ 2800 รอบต่อวินาที ระยะเวลา 15 นาทีจากนั้นเติมน้ำกลั่นปริมาตร 8 ml เติมนำไป Centrifuge ที่ 2800 รอบต่อวินาที ระยะเวลา 15 นาทีจากนั้นเติม NaCl 36% ปริมาตร 8 ml ลงและนำไป Centrifuge ที่ 2800 รอบต่อวินาที ระยะเวลา 15 นาที จากกนั้นกรองนำส่วนใสใส่ในหลอด Centrifuge ขนาด 50 ml อันใหม่ เติม Dichlorometane-Chloroform (2 : 1 v/v) ปริมาตร 10 ml นำไป centrifuge ที่ 2800 รอบต่อวินาที ระยะเวลา 15 นาที ทิ้งไว้ 1 คืนเพื่อให้เกิดการแยกชั้นอย่างชัดเจน เมื่อเกิดการแยกชั้นอย่างชัดเจนดูดตัวอย่างชั้นล่างส่วนใสใส่ใน หลอดทดลองฝาเกลียวขนาด 15 ml ปริมาตร 6 ml และนำไปทำให้แห้งโดยใช้ N_2 จากนั้นเก็บไว้ภายใต้ N_2 gas ที่อุณหภูมิ -20°C จนกว่าจะนำมาทำ Methylation

การทำ Methylation ดัดแปลงจากวิธีของ Ostrowska et al. (2000) ดังนี้ ชั่งตัวอย่างน้ำหนักแน่นอน 30 mg ใส่ในหลอดทดลองฝาเกลียวขนาด 15 ml จากนั้นเติม 1.5 ml ของ 0.5 N NaOH/MeOH ใส่ในหลอด แล้วไล่อากาศภายในหลอดด้วยแก๊สไนโตรเจน ปิดฝาหลอดทดลองให้สนิทและให้ความร้อนที่ 100°C ใน Water bath นาน 5 นาที ระหว่างนี้ควรเขย่าอย่างแรง 1-2 ครั้ง แล้วทำให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิกปกติ การทำ Saponification ที่สมบูรณ์สังเกตจากการได้สารละลายใส ไม่มีหยดน้ำมันเหลืออยู่จากนั้นเติม 14% BF_3/MeOH ปริมาตร 2 ml ใส่ในหลอดทดลอง แล้วไล่อากาศภายในหลอดด้วยแก๊สไนโตรเจน (ถ้าต้องการหาปริมาณ CLA ด้วยวิธีการใช้ Internal standard ให้ไปเปิด 1 ml ของ C17 ความเข้มข้นแน่นอน 2.00 mg/ml ใน Hexane) และให้ความร้อนที่ 100°C ใน Water bath นาน 5 นาที ระหว่างนี้ควรเขย่าอย่างแรง 1-2 ครั้ง แล้วทำให้เย็น

ลงจนถึงอุณหภูมิปกติเติมน้ำกลั่น 10 ml จากนั้นย้าย Solution ที่ได้จากการทำ Methylation ลงในหลอด Centrifuge ฝาเกลียวขนาด 50 ml ปั่นเหวี่ยงที่อุณหภูมิ 10°C ความเร็วรอบ 5000 rpm นาน 15 นาที เพื่อให้ Liquid-liquid phase แยกได้ชัดเจนและทำการย้ายชั้น Hexane (ชั้นบน) และ Dry น้ำที่อาจติดออกมาด้วย Na_2SO_4 จากนั้นเก็บสารละลาย CLA methyl ester ในขวดสีชา ไล่อากาศด้วยแก๊สไนโตรเจน หลังจากนั้นนำตัวอย่าง Fatty acid methylester (FAME) ที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณ Fatty acids โดยเครื่อง Gas chromatography (Hewlett Packard GC system HP 6890)

Condition ของ การวิเคราะห์ด้วย GC

Column : SP-2560 100 m × 0.25 ID × 0.20 μm film

Oven : 140°C 5 min to 240°C at 4°C/min hold 15 min

Detector : FID, 260°C

Injector : split 100:1, 250°C

4.5 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่บันทึกจากการทดลองทั้งหมด เข้าประมวลและวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ตามแผนการทดลอง แบบ 3×3 Latin squares โดยใช้ Proc. GLM (SAS, 1996) และวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ โดยใช้วิธี F-test เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test ตามวิธีการของ (Steel and Torrie, 1980)

4.6 สถานที่ทำการทดลอง

ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อาคารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 10 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.7 ระยะเวลาในการทดลอง

เริ่มการทดลองตั้งแต่วันที่ 10 ตุลาคม ถึงวันที่ 14 ธันวาคม 2556

4.8 ผลการทดลอง

4.8.1 ปริมาณประชากรโปรโตซัวในกระเพาะหมัก

ผลของการเสริมน้ำมันที่มีองค์ประกอบของ Oleic acid อยู่สูงต่อปริมาณประชากรโปรโตซัวในกระเพาะหมักแสดงดังตารางที่ 4.1 โดยจากการทดลองการเสริมน้ำมันรำข้าวที่ระดับ 200 กรัมต่อตัวต่อวันมีผลให้ประชากรโปรโตซัวลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) จากกลุ่มที่ไม่เสริมน้ำมันและกลุ่มเสริมน้ำมันปาล์มที่ระดับ 200 กรัมต่อตัวต่อวันในช่วงเวลาที่ 6 หลังจากการให้

อาหาร โดยมีค่าเฉลี่ยดังนี้ กลุ่มไม่เสริมน้ำมันมีค่าเท่ากับ 2.83×10^3 cell/ml กลุ่มเสริมน้ำมันปาล์มมีค่าเท่ากับ 3.33×10^3 cell/ml และกลุ่มเสริมน้ำมันรำข้าวมีค่าเท่ากับ 1.33×10^3 cell/ml โดย ณ ชั่วโมงที่ 0 และ ชั่วโมงที่ 3 กลุ่มไม่เสริมน้ำมัน กลุ่มเสริมน้ำมันปาล์ม และกลุ่มเสริมน้ำมันรำข้าว มีจำนวนประชากร โปรโตซัวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยชั่วโมงที่ 0 มีค่าดังนี้ 5.00×10^3 3.33×10^3 และ 4.33×10^3 cell/ml ตามลำดับ ชั่วโมงที่ 3 มีค่าดังนี้ 2.66×10^3 3.50×10^3 และ 2.67×10^3 cell/ml ตามลำดับ

4.8.2 สถานะความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของของเหลวในกระเพาะหมัก

ผลของการเสริมน้ำมันที่มีองค์ประกอบของ Oleic acid อยู่สูงต่อสถานะความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของของเหลวในกระเพาะหมักแสดงดังตารางที่ 4.1 โดยผลการทดลองกลุ่มไม่เสริมน้ำมัน กลุ่มเสริมน้ำมันปาล์ม และกลุ่มเสริมน้ำมันรำข้าว ไม่มีความแตกต่างของสถานะความเป็นกรด-ด่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้ง ณ ชั่วโมงที่ 0 3 และ 6 หลังการให้อาหาร โดยชั่วโมงที่ 0 หลังการให้อาหารมีค่าดังนี้ 7.21 7.16 และ 7.26 ตามลำดับ ชั่วโมงที่ 3 หลังการให้อาหารมีค่าดังนี้ 6.66 6.79 และ 6.81 ตามลำดับ และ ชั่วโมงที่ 6 หลังการให้อาหารมีค่าดังนี้ 6.72 6.96 และ 6.79 ตามลำดับ

4.8.3 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนโตรเจน (NH_3N) ของของเหลวในกระเพาะหมัก

ผลของการเสริมน้ำมันที่มีองค์ประกอบของ Oleic acid อยู่สูงต่อความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนโตรเจน (NH_3N) ของของเหลวในกระเพาะหมักแสดงดังตารางที่ 4.1 โดยผลการทดลองกลุ่มไม่เสริมน้ำมัน กลุ่มเสริมน้ำมันปาล์ม และกลุ่มเสริมน้ำมันรำข้าว ไม่มีความแตกต่างของความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนโตรเจน (NH_3N) ของของเหลวในกระเพาะหมักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้ง ณ ชั่วโมงที่ 0 3 และ 6 หลังการให้อาหาร โดยชั่วโมงที่ 0 หลังการให้อาหารมีค่าดังนี้ 12.21 9.43 และ 9.28 mg/l ตามลำดับ ชั่วโมงที่ 3 หลังการให้อาหารมีค่าดังนี้ 10.85 9.65 และ 10.32 mg/l ตามลำดับ และ ชั่วโมงที่ 6 หลังการให้อาหารมีค่าดังนี้ 9.58 7.52 และ 9.58 mg/l ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 ผลการเสริมน้ำมันที่มีองค์ประกอบของ Oleic acid อยู่สูงต่อการเปลี่ยนแปลงของประชากรโปรโตซัวระดับความเป็นกรด-ด่าง (pH) และแอมโมเนียไนโตรเจน (NH₃-N) ภายในกระเพาะหมักที่เวลาต่าง ๆ หลังการให้อาหาร

ที่เวลาหลังการให้อาหาร (ชั่วโมง)	Control	Palm oil	Rice bran oil	SEM	P-value
Protozoa(Protozoax 10 ³ cell/ml)				
Hour 0	5.00	3.33	4.33	1.89	0.48
Hour 3	2.66	3.50	2.67	0.82	0.74
Hour 6	2.83 ^a	3.33 ^a	1.33 ^b	0.16	0.02
pH					
Hour 0	7.21	7.16	7.26	0.04	0.45
Hour 3	6.66	6.79	6.81	0.02	0.10
Hour 6	6.72	6.96	6.79	0.09	0.37
NH₃-N(mg/l).....				
Hour 0	12.21	9.34	9.28	1.03	0.27
Hour 3	10.85	9.65	10.32	1.01	0.73
Hour 6	9.58	7.52	9.58	0.78	0.30

หมายเหตุ : SEM = standard error of the mean

^{a,b} ที่กำกับในแต่ละแถวแสดงระดับความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.8.4 ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acids; VFA) ของของเหลวในกระเพาะหมัก

ผลของการเสริมน้ำมันที่มีองค์ประกอบของ Oleic acid อยู่สูงต่อความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acids; VFAs) ของของเหลวในกระเพาะหมักแสดงดังตารางที่ 4.2 โดยผลการทดลองกลุ่มไม่เสริมน้ำมัน กลุ่มเสริมน้ำมันปาล์ม และกลุ่มเสริมน้ำมันรำข้าว ไม่มีความแตกต่างของ Acetic acid (C₂) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ทั้ง ณ ชั่วโมงที่ 0 3 และ 6 หลังการให้อาหาร โดยชั่วโมงที่ 0 หลังการให้อาหารมีค่าดังนี้ 66.52 70.76 และ 68.70 mol/100 mol ตามลำดับ ชั่วโมงที่ 3 หลังการให้อาหารมีค่าดังนี้ 64.68 68.72 และ 65.37 mol/100 mol ตามลำดับ และ ชั่วโมงที่ 6 หลังการให้อาหารมีค่าดังนี้ 63.61 69.32 และ 66.26 mol/100 mol ตามลำดับ

สำหรับความเข้มข้นของ Propionic acid (C₃) กลุ่มไม่เสริมน้ำมัน กลุ่มเสริมน้ำมันปาล์ม และกลุ่มเสริมน้ำมันรำข้าว ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ทั้ง ณ

ชั่วโมงที่ 0 3 และ 6 หลังจากการให้อาหาร โดยชั่วโมงที่ 0 หลังการให้อาหารมีค่าดังนี้ 19.23 18.02 และ 20.70 mol/100 mol ตามลำดับ ชั่วโมงที่ 3 หลังการให้อาหารมีค่าดังนี้ 23.14 20.03 และ 25.04 mol/100 mol ตามลำดับ และ ชั่วโมงที่ 6 หลังการให้อาหารมีค่าดังนี้ 24.03 19.67 และ 22.72 mol/100 mol ตามลำดับ

สำหรับความเข้มข้นของ Butyric acid (C_4) กลุ่มไม่เสริมไขมัน กลุ่มเสริมไขมันปาล์ม และกลุ่มเสริมไขมันรำข้าว ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้ง ณ ชั่วโมงที่ 0 3 และ 6 หลังจากการให้อาหาร โดยชั่วโมงที่ 0 หลังการให้อาหารมีค่าดังนี้ 14.25 11.22 และ 10.59 mol/100 mol ตามลำดับ ชั่วโมงที่ 3 หลังการให้อาหารมีค่าดังนี้ 12.17 11.25 และ 9.58 mol/100 mol ตามลำดับ และ ชั่วโมงที่ 6 หลังการให้อาหารมีค่าดังนี้ 12.37 11.01 และ 11.02 mol/100 mol ตามลำดับ

สำหรับสัดส่วนของ Acetic acid ต่อ Propionic acid ($C_2 : C_3$) กลุ่มไม่เสริมไขมัน กลุ่มเสริมไขมันปาล์ม และกลุ่มเสริมไขมันรำข้าว ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้ง ณ ชั่วโมงที่ 0 3 และ 6 หลังจากการให้อาหาร โดยชั่วโมงที่ 0 หลังการให้อาหารมีค่าดังนี้ 3.84 3.93 และ 3.76 ตามลำดับ ชั่วโมงที่ 3 หลังการให้อาหารมีค่าดังนี้ 3.53 3.45 และ 2.90 ตามลำดับ และ ชั่วโมงที่ 6 หลังการให้อาหารมีค่าดังนี้ 3.32 3.53 และ 3.53 ตามลำดับ



ตารางที่ 4.3 ผลการเสริมไขมันที่มีองค์ประกอบของ Oleic acid อยู่สูงต่อความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acid; VFA) ของของเหลวในกระเพาะหมักที่เวลาต่าง ๆ หลังการให้อาหาร

ที่เวลาหลังการให้อาหาร (ชั่วโมง)	Control	Palm oil	Rice bran oil	SEM	P-value
Acetate; C2 (mol/100 mol)					
Hour 0	66.52	70.76	68.70	1.02	0.18
Hour 3	64.68	68.72	65.37	2.25	0.52
Hour 6	63.61	69.32	66.26	1.30	0.17
Propionate; C3 (mol/100 mol)					
Hour 0	19.23	18.02	20.70	2.80	0.81
Hour 3	23.14	20.03	25.04	2.81	0.55
Hour 6	24.03	19.67	22.72	1.82	0.39
Butyrate; C4 (mol/100 mol)					
Hour 0	14.25	11.22	10.59	2.61	0.64
Hour 3	12.17	11.25	9.58	2.07	0.71
Hour 6	12.37	11.01	11.02	2.68	0.92
C2:C3					
Hour 0	3.84	3.93	3.76	0.41	0.96
Hour 3	3.53	3.45	2.90	0.59	0.75
Hour 6	3.32	3.53	3.53	0.21	0.73

หมายเหตุ : SEM = standard error of the mean

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

4.8.5 องค์ประกอบของกรดไขมันของของเหลวในกระเพาะหมัก

ผลของการเสริมไขมันที่มีองค์ประกอบของ Oleic acid อยู่สูงต่อองค์ประกอบของกรดไขมันของของเหลวในกระเพาะหมักแสดงดังตารางที่ 4.3 โดยผลการทดลองกลุ่มไม่เสริมไขมัน กลุ่มเสริมไขมันปาล์ม และกลุ่มเสริมไขมันรำข้าว ณ ชั่วโมงที่ 3 หลังจากการให้อาหารพบว่าระดับของ C18:1n9 ของกลุ่มเสริมไขมันรำข้าวมีค่าสูงกว่ากลุ่มไม่เสริมไขมันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างกับกลุ่มเสริมไขมันปาล์ม โดยมีค่าดังนี้กลุ่มที่ไม่เสริมไขมันมีค่าเท่ากับ 9.46 g/100 g fatty acids กลุ่มเสริมไขมันปาล์มมีค่าเท่ากับ 11.87 g/100 g fatty acids และ

กลุ่มเสริมน้ำมันรำข้าวมีค่าเท่ากับ 13.619.46 g/100 g fatty acids และการเสริมน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวที่ระดับ 200 กรัม/ตัว/วัน มีแนวโน้มว่ากรดไขมัน C12:0 มีปริมาณต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่เสริมน้ำมัน ณ ชั่วโมงที่ 3 หลังจากการให้อาหาร นอกจากนั้นการเสริมน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวไม่มีความแตกต่างของกรดไขมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยกลุ่มที่ไม่เสริมน้ำมัน กลุ่มเสริมน้ำมันปาล์มและกลุ่มเสริมน้ำมันรำข้าว โดย ณ ชั่วโมงที่ 0 ระดับของกรดไขมัน C12:0 มีค่าดังนี้ 16.71 12.06 และ 13.20 g/100 g fatty acids ตามลำดับ ระดับของกรดไขมัน C14:0 มีค่าดังนี้ 9.34 4.53 และ 5.08 g/100 g fatty acids ตามลำดับระดับของกรดไขมัน C16:0 มีค่าดังนี้ 28.10 38.39 และ 31.66 g/100 g fatty acids ตามลำดับ ระดับของกรดไขมัน C18:0 มีค่าดังนี้ 34.88 45.05 และ 48.79 g/100 g fatty acids ตามลำดับ ระดับของกรดไขมัน C18:1n9 กลุ่มไม่เสริมน้ำมันและกลุ่มเสริมน้ำมันรำข้าวมีค่าเท่ากับ 5.60 และ 1.25 g/100 g fatty acids ตามลำดับ ส่วนในกลุ่มเสริมน้ำมันปาล์มไม่พบปริมาณของกรดไขมัน C18:1n9 และ กรดไขมัน C18:2n6 กลุ่มที่ไม่ทำการเสริมน้ำมัน กลุ่มเสริมน้ำมันปาล์ม และ กลุ่มเสริมน้ำมันรำข้าวไม่พบปริมาณของกรดไขมัน C18:2n6

สำหรับ ณ ชั่วโมงที่ 3 หลังการให้อาหารมีค่าดังนี้ ระดับของกรดไขมัน C14:0 มีค่าดังนี้ 4.66 4.20 และ 5.79 g/100 g fatty acids ตามลำดับระดับของกรดไขมัน C16:0 มีค่าดังนี้ 35.97 38.08 และ 33.55 g/100 g fatty acids ตามลำดับ ระดับของกรดไขมัน C18:0 มีค่าดังนี้ 31.34 30.61 และ 31.28 g/100 g fatty acids ตามลำดับ และระดับของกรดไขมัน C18:2n6 มีค่าดังนี้ 2.52 2.53 และ 2.45 g/100 g fatty acids

สำหรับ ณ ชั่วโมงที่ 6 หลังการให้อาหารมีค่าดังนี้ ระดับของกรดไขมัน C12:0 มีค่าดังนี้ 14.05 13.61 และ 15.32 g/100 g fatty acids ตามลำดับ ระดับของกรดไขมัน C14:0 มีค่าดังนี้ 5.21 2.22 และ 1.86 g/100 g fatty acids ตามลำดับระดับของกรดไขมัน C16:0 มีค่าดังนี้ 31.01 40.11 และ 37.61 g/100 g fatty acids ตามลำดับ ระดับของกรดไขมัน C18:0 มีค่าดังนี้ 40.34 39.89 และ 45.20 g/100 g fatty acids ตามลำดับ ระดับของกรดไขมัน C18:1n9 กลุ่มไม่เสริมน้ำมันและกลุ่มเสริมน้ำมันปาล์มมีค่าเท่ากับ 8.51 และ 4.15 g/100 g fatty acids ตามลำดับ ส่วนในกลุ่มเสริมน้ำมันรำข้าวไม่พบปริมาณของกรดไขมัน C18:1n9 และ กรดไขมัน C18:2n6 กลุ่มที่ไม่ทำการเสริมน้ำมัน มีค่าเท่ากับ 0.85 g/100 g fatty acids ส่วนกลุ่มเสริมน้ำมันปาล์ม และ กลุ่มเสริมน้ำมันรำข้าวไม่พบปริมาณของกรดไขมัน C18:2n6

ตารางที่ 4.4 ผลการเสริมน้ำมันที่มีองค์ประกอบของ Oleic acid อยู่สูงต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของกรดไขมันของของเหลวในกระเพาะหมักที่เวลาต่าง ๆ หลังการให้อาหาร

ที่เวลาหลังการให้อาหาร (ชั่วโมง)	Control	Palm oil	Rice bran oil	SEM	P-value
Hour 0	(g/100 g fatty acids)				
C12:0	16.71	12.09	13.20	1.42	0.31
C14:0	9.34	4.53	5.08	1.15	0.20
C16:0	28.10	38.39	31.66	3.21	0.33
C18:0	34.88	45.05	48.79	3.60	0.25
C18:1n9	5.60	ND	1.25	1.91	0.36
C18:2n6	ND	ND	ND	-	-
Hour 3	(g/100 g fatty acids)				
C12:0	16.03	13.68	13.27	0.45	0.11
C14:0	4.66	4.20	5.79	1.47	0.81
C16:0	35.97	38.08	33.55	2.30	0.52
C18:0	31.34	30.61	31.28	1.20	0.50
C18:1n9	9.46 ^b	11.87 ^{ab}	13.61 ^a	0.65	0.03
C18:2n6	2.52	2.53	2.45	0.12	0.50
Hour 6	(g/100 g fatty acids)				
C12:0	14.05	13.61	15.32	0.69	0.20
C14:0	5.210	2.22	1.86	2.86	0.93
C16:0	31.01	40.11	37.61	3.20	0.67
C18:0	40.34	39.89	45.20	1.44	0.35
C18:1n9	8.51	4.15	ND	1.00	0.16
C18:2n6	0.85	ND	ND	0.42	0.57

หมายเหตุ : SEM = standard error of the mean

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

ND = Not Detected

4.9 วิจารณ์ผลการทดลอง

4.9.1 ปริมาณประชากรโปรโตซัวในกระเพาะหมัก

โปรโตซัวส่วนใหญ่จะกินแบคทีเรียเป็นอาหาร โดยแบคทีเรียจะอยู่ในฐานะผู้ถูกล่า และ โปรโตซัวจะอยู่ในฐานะผู้ล่า เมื่อแบคทีเรียถูกโปรโตซัวกินจนเหลือน้อยจะทำให้ประสิทธิภาพการย่อยอาหาร และการสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์ลดลง (Eddie and Mann, 1970)

โปรโตซัวมีความสัมพันธ์กับแบคทีเรียกลุ่ม Methanogens เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่ม Methanogens สามารถยึดเกาะบนผิวและบริเวณขนของโปรโตซัวเมื่อเกิดเป็นสัดส่วนแล้วพบว่ามีปริมาณมากถึง 37% ของโปรโตซัวทั้งหมดในกระเพาะหมักดังนั้นการกำจัดโปรโตซัวจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะสามารถลดการผลิต CH_4 และปรับปรุงกระบวนการย่อยสลาย (Martin, Morgavi and Moreau, 2010) แสดงให้เห็นว่าในแกะที่ได้มีการกำจัดโปรโตซัวเป็นระยะเวลา 2 ปีสามารถลดการผลิต CH_4 ลงได้ 20% อย่างไรก็ตามบางงานวิจัยการกำจัดโปรโตซัวก็ไม่ส่งผลต่อการลดลงของ CH_4 โดยสาเหตุนี้ยังไม่สามารถทราบแน่ชัดมีหลายวิธีการที่ได้นำมาใช้เพื่อกำจัดโปรโตซัวจากกระเพาะหมักแต่ยังไม่มียุทธวิธีใดวิธีหนึ่งที่นำมาปฏิบัติอย่าง โดยทั่วกันทั้งนี้เป็นผลอันเนื่องมาจากผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นแก่จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักกลุ่มอื่นรวมทั้งผลต่อตัวสัตว์จากการศึกษาผลของการเสริมน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าว ที่ระดับ 200 กรัมต่อตัวต่อวันพบว่า การเสริมน้ำมันรำข้าวสามารถลดจำนวนประชากรของโปรโตซัวในกระเพาะหมักในชั่วโมงที่ 6 หลังจากการให้อาหารได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยซึ่งเกิดจากการเสริมน้ำมันรำข้าวที่มีกรดไขมันสายกลางถึงสายยาวสามารถลดปริมาณโปรโตซัวได้จากการยับยั้งการขนส่งสารเข้า-ออกเซลล์และจะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ของโปรโตซัว อีกทั้งกรดไขมันมีความเป็นพิษต่อตัวจุลินทรีย์ (Maia, Chaudhary, and figures 2006) และสอดคล้องกับระดับของ Acetic acid ที่ลดลงจึงทำให้มีปริมาณของ H_2 ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ที่ผลิตมีเทนลดลง ประชากรโปรโตซัวจึงลดลงไปด้วย

4.9.2 สถานะความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของของเหลวในกระเพาะหมัก

จากการศึกษาผลของการเสริมน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าว ที่ระดับ 200 กรัมต่อตัวต่อวันพบว่า การเสริมน้ำมันทั้งสองชนิดไม่มีผลต่อระดับความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมัก แต่มีแนวโน้มว่ากลุ่มที่ไม่เสริมน้ำมันมี ณ ชั่วโมงที่ 3 หลังจากการให้อาหารสถานะความเป็นกรดที่สูงกว่า ($P = 0.07$) อันเกิดจากที่กลุ่มไม่เสริมน้ำมันได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 1 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน ซึ่งกากมันสำปะหลังยังคงมีแป้งอยู่สูง จุลินทรีย์จำพวกที่ใช้แป้งเช่น *Streptococcus bovis*, *Succinimomas amylolytica* และ *Succinivibrio dextrinosolvans* เป็นต้นซึ่งผลิต Lactic acid จึงมีแนวโน้มว่าจะมีสถานะความเป็นกรดที่สูง แต่อย่างไรก็ตามระดับ pH ก็ยังอยู่ในช่วง 5.5-7 ซึ่งเป็นสถานะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์มากที่สุด (ฉลอง วชิราภากร, 2541) ระดับ pH

นั่นถือได้ว่ามีผลต่อระบบนิเวศวิทยาในกระเพาะหมักเป็นอย่างมาก ซึ่งค่า pH จะมีผลกระทบต่อชนิด และจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักเนื่องจากมีความสัมพันธ์ต่อการทำงานของเอนไซม์ภายในเซลล์แบคทีเรีย (Moat and Foster, 1995)

4.9.3 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนโตรเจน (NH_3N) ของของเหลวในกระเพาะหมัก

จากการศึกษาผลของการเสริมน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าว ที่ระดับ 200 กรัมต่อตัวต่อวันพบว่า การเสริมน้ำมันทั้งสองชนิดไม่มีผลต่อความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนโตรเจน (NH_3N) ของของเหลวในกระเพาะหมัก โดยความแปรปรวนของแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะหมักนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่น ระดับการให้อาหาร ความสามารถในการละลายได้ของโปรตีนในอาหาร แหล่งของคาร์โบไฮเดรตในอาหาร และ ความถี่ในการให้อาหาร (เมธา วรณพัฒน์, 2533) ซึ่งการเกิดขึ้นของแอมโมเนียเกิดขึ้นจากการย่อยสลายโปรตีน ในอาหาร จุลินทรีย์โปรตีน และ สารประกอบจำพวก Non Protein Nitrogen (NPN) (Satter and Slyter., 1974 ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าการเสริมน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวที่ 200 กรัมต่อตัวต่อวัน ไม่มีผลต่อระดับแอมโมเนียไนโตรเจน

4.9.4 ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acids; VFA) ของของเหลวในกระเพาะหมัก

กรดไขมันระเหยได้เป็นผลผลิตจากการหมักย่อยอาหารโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก ซึ่งพบว่ากรดไขมันระเหยได้ถูกใช้เป็นส่วนพลังงานของ โคถึง 80% (Bergman, 1990) โดยกรดไขมันระเหยได้จะถูกขนส่งจากกระเพาะหมัก 2 ทางคือ การดูดซึมผ่านผิวหนังชั้น Epithelium ของกระเพาะหมักและรวมไปกับของเหลวจากกระเพาะหมักผ่านทาง Reticulo-omasol orifice (Peters et al., 1990) ถ้าในกระเพาะหมักมีกรดไขมันระเหยได้มากเกินไปจะทำให้ค่า pH ในกระเพาะหมักลดลงและเกิด Rumen acidosis (Barker et al., 1995) จากการศึกษาค้นคว้าผลของการเสริมน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าว ที่ระดับ 200 กรัมต่อตัวต่อวันพบว่า การเสริมน้ำมันทั้งสองชนิดมีผลต่อระดับสัดส่วนของ Acetic acid ต่อ Propionic acid ณ ชั่วโมงที่ 6 หลังจากการให้อาหารอันเกิดจากกลุ่มที่ไม่ทำการเสริมน้ำมัน ได้มีการใช้อาหารจำพวกแป้งมาใช้ในการปรับสมดุลพลังงานในอาหารเมื่อมีการใช้แป้งเกิดขึ้นจึงทำให้ระดับของ Propionic acid สูงขึ้นจึงทำให้สัดส่วนของ Acetic acid ต่อ Propionic acid ต่ำลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

4.9.5 องค์ประกอบของกรดไขมันของของเหลวในกระเพาะหมัก

การเสริมน้ำมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่สูงหากเสริมในปริมาณที่มากเกินไปในสูตรอาหารจะรบกวนการทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก และไปเคลือบอาหารส่งผลให้จุลินทรีย์ที่ย่อยเยื่อใย (cellulolytic bacteria) ไม่สามารถทำงานได้ส่งผลต่อความสามารถในการย่อยได้ของเยื่อใย แต่หากมีการใช้ในระดัที่ไม่เหมาะสมจะส่งผลกระทบต่อความสามารถในการย่อยได้ของเยื่อใย เนื่องจากกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่สูงจะถูกไฮโดรไลซ์อย่างรวดเร็วและเกิดพิษต่อ

จุลินทรีย์ได้ ซึ่งระดับที่เหมาะสมในการใช้ในรูปการเสริมน้ำมันอยู่ที่ไม่เกิน 6% (Moore et al., 1986) จากการศึกษาผลของการเสริมน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าว ที่ระดับ 200 กรัมต่อตัวต่อวัน พบว่าการเสริมน้ำมันรำข้าวที่ระดับ 200 กรัมต่อตัวต่อวัน สามารถเพิ่มระดับของ Oleic acid ของเหลวในกระเพาะหมักได้อย่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ปริมาณของ Oleic acid ในน้ำมันรำข้าวที่มีอยู่สูงแม้จะถูกกระบวนการ Bio-Hydrogenation แต่ความสามารถในการเปลี่ยนกรดไขมันไม่อิ่มตัวให้เป็นกรดไขมันอิ่มตัวนั้นมีการศึกษาของ (Kemp et al., 1975; Hazlewood et al., 1976) ได้จำแนกแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการไฮโดรจีเนชันออกเป็น 2 กลุ่มคือกลุ่ม A มีหน้าที่เปลี่ยนกลับ C18:2 เป็น C18:1 โดยเฉพาะอย่างยิ่ง *HI-C18:1* พบได้ 11 species ของแบคทีเรียที่ทำหน้าที่ดังกล่าว และกลุ่ม B ทำหน้าที่ผลิต C18:0 ซึ่งได้แก่ *Fusocillus* spp. (Kemp et al., 1975), *B. hungatei* (Van de Vossenbergh and Joblin, 2003) *Clostridium proteoclasticum* และ *C. Proteoclasticum* จากสารตั้งต้น C18:2 และ C18:3 ดังนั้นการเสริมน้ำมันที่องค์ประกอบของ Oleic acid อยู่จึงสามารถทำให้เกิดการไหลผ่านได้

4.10 สรุปผลการทดลอง

การเสริมน้ำมันรำข้าวที่ระดับ 200 กรัมต่อตัวต่อวันสามารถเพิ่มระดับของ Oleic acid ไปยังกระเพาะหมักได้ ณ ชั่วโมงที่ 3 หลังจากการให้อาหารและยังสามารถลดจำนวนประชากรโปรโตซัวในกระเพาะหมักได้ในชั่วโมงที่ 6 การเสริมน้ำมันปาล์ม และน้ำมันรำข้าวไม่มีผลต่อระดับ pH แอมโมเนีย ไนโตรเจน ภายในกระเพาะหมัก

4.11 รายการอ้างอิง

- ฉลอง วชิราภรณ์. (2541). โภชนศาสตร์และการให้อาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องเบื้องต้น. ภาควิชาสัตวศาสตร์. คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- เมธา วรรณพัฒน์. (2533). โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. ภาควิชาสัตวศาสตร์. คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. กรุงเทพมหานคร: ห้างหุ้นส่วนจำกัดพินิจพิสัย
- Barker, I. K., Van Dreumel, A. A., and palmer, N. (1995). **The alimentary system**. Page1 in Pathology of Domestic Animals. 4th.ed. Vol 2. K. V. F. Jubb, P. C. Kenedy, N. Palmer, ed. Academic Press, San Diego, CA.
- Berman, E.N. (1990). Energy contribution of volatile fatty acids from the gastrointestinal tract in various species. **Physiol. Rev.** 70:567-590
- Eddie, J.M., and S. O. Mann. (1970). **Physiology of Digestion and Metabolism in the Ruminant**. Oriol Press, U. S. A.

- Hazlewood, G. P., P. Kemp, D. Lauder, and R. M. C. Dawson. (1976). C18 unsaturated fatty acid hydrogenation patterns of some rumen bacteria and their ability to hydrolyse exogenous phospholipid. **Br. J. Nutr.** 35: 293 – 297.
- Maia, M.R.G., L.C. chudhary, L. figures and R.J. Wallace (2006). Metabolism of polyunsaturated fatty acids and their toxicity to the microflora of the Rumen. *Antonie. Leuwenhoek.* 91;305:-14
- Kemp, P., R. W. White, and D. J. Lander. (1975). The hydrogenation of unsaturated fatty acids by five bacterial isolates from the sheep rumen, including a new species. **J. Gen. Microbiol.** 90: 100 – 114.
- Martin, C., D.P. Morgavi and D. Moreau. (2010). Methane mitigation in ruminant:from microbe to the farm scale. **Animal.** 4:351-365.
- Moore, J. A., R.S. Swingle, and W. H. Hale. (1986). Effects of whole cottonseed, cottonseed oil, or animal fat on digestibility of wheat straw diets by steers. **J. Anim. Sci.** 63:1267 – 1273.
- Moat, A.G., and Foster, J.W. (1995). **Microbial Physiology.** Wiley-Liss Pulisher. New York. UA .580 p.
- Ostrowska, E., Muralitharan, M., Cross, R.F., Bauman, D.E., and Dunshea, F.R.(2000). Dietary conjugated linoleic acid increase lean tissue and decrease fatdeposition in growing pigs. **J. Nutr.** 129:2037-2042.
- Peter, J.P., Shen, R.Y.W., and Chester, S.T. (1990). Propionic acid disappearance from the foregut and small intestine of the beef steer. **J. Anim. Sci.** 68:3905-3913
- Satter, LD and Slyter, L.L. (1974). Effect of ammonia concentration on rumen microbial protein production in vitro. **Brit. J. Nutr.** 32:199-208
- SAS. (1996). **User' Guide: Statistics.** SAS Institute Inc., North Carolina. 231p.
- Steel, R. G. D., and Torrie, J. H. (1980). **Principles and Procedures of Statistics:** a biometric approach (2nd Ed). McGrawhill: New York
- Van de Vossenber, J. L., and K. N. Joblin. (2003). Biohydrogenation of C18 unsaturated fatty acids to stearic acid by a strain of *Butyrivibrio hungatei* from the bovine rumen. **Lett. Appl. Microbiol.** 37: 424 – 428.

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาผลของการเสริมไขมันที่มีองค์ประกอบของกรดไขมัน Oleic acid อยู่สูงซึ่งในการทดลองได้ใช้น้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวเสริมที่ระดับ 200 กรัมต่อตัวต่อวัน โดยทำการทดลองเสริมใน โคลูกผสมบราห์มัน × พื้นเมืองเพื่อเพิ่มระดับของไขมันแทรกในเนื้อโคนั้น สามารถเพิ่มระดับของไขมันแทรกในเนื้อโคได้ โดยที่ไม่ให้การเจริญเติบโตลดลง และสามารถพัฒนาคุณภาพเนื้อทางการสูญเสียจากการปรุงอาหารให้มีค่าลดลงได้ ทำให้เนื้อมีความชุ่มชื้น อีกทั้งปริมาณของกรดไขมัน Oleic acid ในเนื้อก็มีปริมาณที่เพิ่มขึ้น ซึ่ง Oleic acid นั้นเองก็มีผลต่อความน่ากิน จากการที่ Oleic acid ถูกจัดเป็น Soft fat ทำให้มีกลิ่นในการกระตุ้นน้ำลายและทำให้โครงสร้างของเนื้อเกิดความคลายตัวลง

การเลี้ยงโคเพื่อป้อนตลาดชั้นสูงในปัจจุบันแม้จะมีการนำสายพันธุ์โคเข้ามาเพื่อตอบสนองการผลิตอย่างไรก็ตาม การจัดการด้านอาหารถือว่าเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลสูงกว่า ในการเสริมไขมันมีหลายงานวิจัยนั้นทำให้ผลผลิตของโคเนื้อลดลงเช่น การเจริญเติบโต เป็นต้น ในการทดลองได้เสริมที่ระดับ 200 กรัมต่อวัน เมื่อคิดเป็น ไขมันรวมจะอยู่ที่ 5-6% ของอาหารทั้งหมดซึ่งไม่มีผลต่อการย่อยเยื่อใย หากคิดไปในทางเศรษฐกิจหากการเสริมไขมันทำให้การเจริญเติบโตลดลงก็ส่งผลกระทบต่อรายได้ที่เกษตรกรได้รับเช่นกัน ดังนั้นการเสริมไขมันปาล์ม และน้ำมันรำข้าว ที่ระดับ 200 กรัมถือว่าเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการเสริม อย่างไรก็ตาม การเสริมไขมันนั้นทำให้ถูก Hydrogenated อย่างรวดเร็ว จึงจำเป็นต้องใช้น้ำมันที่มีความเข้มข้นของ Oleic acid ที่สูง

เมื่อศึกษาผลของการเสริมไขมันที่มีองค์ประกอบของ Oleic acid อยู่สูงต่อระบบนิเวศวิทยา กระเพาะหมักนั้นไม่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตของกรดไขมันระเหยได้ ซึ่งกรดไขมันระเหยได้นั้นเป็นแหล่งพลังงานหลักของโคถึง 80% และสามารถเพิ่มการไหลผ่านของ Oleic acid ไปยังลำไส้เล็กได้เพื่อที่ Oleic acid จะเป็นสารตั้งต้นในการกระตุ้น G protein coupled receptor ใน Preadipocytes 3T3L Cell ให้เกิดการเพิ่มจำนวนเซลล์ไขมันในกล้ามเนื้อดังนั้นการเสริมไขมันที่มี Oleic acid อยู่สูงจึงสามารถเพิ่มคุณภาพซาก โดยที่ไม่ทำให้การเจริญเติบโตของโคลดลงและไม่ส่งผลเชิงลบต่อ จำนวนประชากรโปรโตซัว สภาวะความเป็นกรดเป็นด่าง แอมโมเนีย ในโตรเจน และกรดไขมันระเหยได้ภายในกระเพาะหมักของโคลูกผสมบราห์มัน

ข้อเสนอแนะ

การเสริมไขมันในระดับที่สูง จะทำให้การย่อยเชื้อใยลดลงมีผลต่อการกินได้ของโค จึงควรเสริมในระดับที่แนะนำคือไม่เกิน 5-6%

การเสริมไขมันบางชนิดมีผลต่อการลดความนำกินของอาหาร เช่นการเสริมไขมันปาล์ม จึงควรเพิ่มการนำกินของอาหารเช่นการเสริมกากน้ำตาลเป็นต้น

การเสริมไขมันที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่สูงจะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ จุลินทรีย์จึงจำเป็นต้องป้องกันการเกิดพิษแก่ตนเอง จึงควรทำการปกป้องการเกิดพิษแก่จุลินทรีย์โดยการทำให้ไขมันไหลผ่าน

การเสริมไขมันที่มีองค์ประกอบของ Oleic acid อยู่สูงสามารถเพิ่มระดับไขมันแทรกในเนื้อโคลูกผสม

บรหมันได้ ในอนาคตอาจทำการทดลองในโคที่สามารถผลิตไขมันแทรกได้สูงเช่นโควากิวเป็นต้น

การใช้กากมันสำปะหลังเพื่อปรับสมดุลพลังงานในอาหาร จำเป็นต้องใช้ในปริมาณที่มาก จึงมีผลต่อการกินได้โดยรวมของสัตว์ และมีผลต่อการ โปรตีนที่ได้รับจากอาหาร ดังนั้นจึงควรทำสูตรอาหารขึ้นมาเพื่อไม่ให้เกิดความแปรปรวนจากการที่สัตว์ได้รับโปรตีนและปริมาณการกินที่ไม่เท่ากัน



ภาคผนวก ก

การประเมินพลังงาน

1. การคำนวณพลังงานในอาหาร (NRC, 2001)

1.1 พลังงานของอาหารขั้นสำเร็จรูป

พลังงานจาก NFC

$$\begin{aligned}\text{Truly digestibility NFC (tdNFC)} &= 0.98(100-[NDF_N+CP+EE+ASH]) \times \text{PAF} \\ &= 0.98(100-(46.59+11.8+4.51+6.59)) \times 1 \\ &= 29.90\%\end{aligned}$$

พลังงานจากโปรตีน

$$\begin{aligned}\text{Truly digestible CP for concentrates (tdCP}_c) &= [1-(0.4 \times (\text{ADICP}/\text{CP}))] \times \text{CP} \\ &= [1-(0.4 \times (1.06/11.8))] \times 11.8 \\ &= 11.38\%\end{aligned}$$

พลังงานจากไขมัน

$$\begin{aligned}\text{Truly digestible FA (tdFA)} &= \text{EE} - 1.0 \\ \text{หรือ tdFA} &= \text{FA} (\text{EE} < 1, \text{FA} = 0) \\ &= 3.51\%\end{aligned}$$

พลังงานจาก NDF

$$\begin{aligned}\text{Truly digestible NDF (tdNDF)} &= 0.75 (\text{NDF}_N - \text{Lignin}) [1 - (\text{Lignin}/\text{NDF}_N)^{0.667}] \\ &= 0.75 (46.59 - 3.58) [1 - (3.58/46.59)^{0.667}] \\ &= 26.43\%\end{aligned}$$

พลังงานโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (Total digestible nutrient, TDN)

$$\begin{aligned}\text{TDN}_{1x} (\%) &= \text{tdNFC} + \text{tdCP} + (\text{tdFA} \times 2.25) + \text{tdNDF} - 7 \\ &= 29.90 + 11.38 + (3.51 \times 2.25) + 26.43 - 7 \\ &= 68.61\%\end{aligned}$$

การประมาณค่า DE ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Maintenance

$$\begin{aligned}\text{DE}_{1x} (\text{Mcal/kg}) &= [(\text{tdNFC}/100) \times 4.2] + [(\text{tdNDF}/100) \times 4.2] + \\ &\quad [(\text{tdCP}/100) \times 5.6] + [(\text{FA}/100) \times 9.4] - 0.3 \\ &= [(29.90/100) \times 4.2] + [(26.43/100) \times 4.2] + \\ &\quad [(11.38/100) \times 5.6] + [3.51/100 \times 9.4] - 0.3 \\ &= 3.13 \text{ Mcal/kg}\end{aligned}$$

การประมาณค่า ME ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Actual Intake

$$\begin{aligned} \text{ME (Mcal/kg)} &= 0.82 \times \text{DE}_{1x} \text{ (Mcal/kg)} \\ &= 0.82 \times 3.13 \\ &= 2.56 \text{ Mcal/kg} \end{aligned}$$

การประมาณค่า NE ของอาหารสัตว์

$$\begin{aligned} \text{NE}_M &= 1.37 \text{ ME} - 0.138 \text{ ME}^2 + 0.0105 \text{ ME}^3 - 1.12 \\ &= 1.37 \times 2.56 - 0.138 \times 2.56^2 + 0.0105 \times 2.56^3 - 1.12 \\ &= 1.62 \text{ Mcal/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{NE}_G &= 1.42 \text{ ME} - 0.174 \text{ ME}^2 + 0.0122 \text{ ME}^3 - 1.65 \\ &= 1.42 \times 2.56 - 0.174 \times 2.56^2 + 0.0122 \times 2.56^3 - 1.65 \\ &= 1.02 \text{ Mcal/kg} \end{aligned}$$

1.2 พลังงานของกากมันสำปะหลัง

พลังงานจาก NFC

$$\begin{aligned} \text{Truly digestibility NFC (tdNFC)} &= 0.98(100 - [\text{NDF}_N + \text{CP} + \text{EE} + \text{ASH}]) \times \text{PAF} \\ &= 0.98(100 - [32.66 + 1.87 + 0.22 + 4.1]) \times 1 \\ &= 59.93\% \end{aligned}$$

พลังงานจากโปรตีน

$$\begin{aligned} \text{Truly digestible CP} &= [1 - (0.4 \times (\text{ADICP}/\text{CP}))] \times \text{CP} \\ \text{for concentrates (tdCP)} &= [1 - (0.4 \times (5.81/1.87))] \times 1.87 \\ &= 4.19\% \end{aligned}$$

พลังงานจากไขมัน

$$\begin{aligned} \text{Truly digestible FA (tdFA)} &= \text{EE} - 1.0 \\ \text{หรือ tdFA} &= \text{FA} (\text{EE} < 1, \text{FA} = 0) \\ &= 0\% \end{aligned}$$

พลังงานจาก NDF

$$\begin{aligned} \text{Truly digestible NDF (tdNDF)} &= 0.75 (\text{NDF}_N - \text{Lignin}) [1 - (\text{Lignin}/\text{NDF}_N)^{0.667}] \\ &= 0.75(32.66 - 3.79) [1 - (3.79/32.66)^{0.667}] \\ &= 16.50\% \end{aligned}$$

พลังงานโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (Total digestible nutrient, TDN)

$$\begin{aligned} \text{TDN}_{1x} (\%) &= \text{tdNFC} + \text{tdCP} + (\text{tdFA} \times 2.25) + \text{tdNDF} - 7 \\ &= 59.93 + 4.19 + (0 \times 2.25) + 16.50 - 7 \\ &= 73.63\% \end{aligned}$$

การประมาณค่า DE ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Maintenance

$$\begin{aligned} \text{DE}_{1x} (\text{Mcal/kg}) &= [(\text{tdNFC}/100) \times 4.2] + [(\text{tdNDF}/100) \times 4.2] + \\ &\quad [(\text{tdCP}/100) \times 5.6] + [(\text{FA}/100) \times 9.4] - 0.3 \\ &= [(29.90/100) \times 4.2] + [(26.43/100) \times 4.2] + \\ &\quad [(4.19/100) \times 5.6] + [(0)] - 0.3 \\ &= 3.17 \text{ Mcal/kg} \end{aligned}$$

การประมาณค่า ME ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Actual Intake

$$\begin{aligned} \text{ME} (\text{Mcal/kg}) &= 0.82 \times \text{DE}_{1x} (\text{Mcal/kg}) \\ &= 0.82 \times 3.17 \\ &= 2.60 \text{ Mcal/kg} \end{aligned}$$

การประมาณค่า NE ของอาหารสัตว์

$$\begin{aligned} \text{NE}_M &= 1.37 \text{ ME} - 0.138 \text{ ME}^2 + 0.0105 \text{ ME}^3 - 1.12 \\ &= 1.37 \times 2.60 - 0.138 \times 2.60^2 + 0.0105 \times 2.60^3 - 1.12 \\ &= 1.60 \text{ Mcal/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{NE}_G &= 1.42 \text{ ME} - 0.174 \text{ ME}^2 + 0.0122 \text{ ME}^3 - 1.65 \\ &= 1.42 \times 2.60 - 0.174 \times 2.60^2 + 0.0122 \times 2.60^3 - 1.65 \\ &= 1.00 \text{ Mcal/kg} \end{aligned}$$

1.3 พลังงานของฟางข้าว

พลังงานจาก NFC

$$\begin{aligned} \text{Truly digestibility NFC (tdNFC)} &= 0.98(100 - [\text{NDF}_N + \text{CP} + \text{EE} + \text{ASH}]) \times \text{PAF} \\ &= 0.98 (100 - [72.70 + 1.32 + 1.52 + 15.86]) \times 1 \\ &= 8.43\% \end{aligned}$$

พลังงานจากโปรตีน

$$\begin{aligned} \text{Truly digestible CP for forages (tdCP}_p) &= \text{CP} \times \exp^{-1.2 \times (\text{ADICP}/\text{CP})} \\ &= 1.32 \times \exp^{-1.2 \times (1/1.32)} \\ &= 0.53\% \end{aligned}$$

พลังงานจากไขมัน

$$\begin{aligned} \text{Truly digestible FA (tdFA)} &= \text{EE} - 1.0 \\ \text{หรือ tdFA} &= \text{FA} (\text{EE} < 1, \text{FA} = 0) \\ &= 0\% \end{aligned}$$

พลังงานจาก NDF

$$\begin{aligned} \text{Truly digestible NDF (tdNDF)} &= 0.75 (\text{NDF}_N - \text{Lignin}) [1 - (\text{Lignin}/\text{NDF}_N)^{0.667}] \\ &= 0.75 (72.70 - 10.41) [1 - (10.41/72.20)^{0.667}] \\ &= 33.95\% \end{aligned}$$

พลังงานโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (Total digestible nutrient, TDN)

$$\begin{aligned} \text{TDN}_{1x} (\%) &= \text{tdNFC} + \text{tdCP} + (\text{tdFA} \times 2.25) + \text{tdNDF} - 7 \\ &= 8.43 + 0.53 + (0) + 33.94 - 7 \\ &= 35.90\% \end{aligned}$$

การประมาณค่า DE ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Maintenance

$$\begin{aligned} \text{DE}_{1x} (\text{Mcal/kg}) &= [(\text{tdNFC}/100) \times 4.2] + [(\text{tdNDF}/100) \times 4.2] + \\ &\quad [(\text{tdCP}/100) \times 5.6] + [(\text{FA}/100) \times 9.4] - 0.3 \\ &= [(8.43/100) \times 4.2] + [(33.94/100) \times 4.2] + \\ &\quad [(0.53/100) \times 5.6] + [0] - 0.3 \\ &= 1.65 \text{Mcal/kg} \end{aligned}$$

การประมาณค่า ME ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Actual Intake

$$\begin{aligned} \text{ME (Mcal/kg)} &= 0.82 \times \text{DE}_{1x} (\text{Mcal/kg}) \\ &= 0.82 \times 1.65 \\ &= 1.35 \text{Mcal/kg} \end{aligned}$$



ภาคผนวก ข

ตารางวิเคราะห์หาเรียนซ์

ตารางวิเคราะห์หว่าเรียนซ์

การกินได้วัตถุแห้งของฟางข้าว

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	0.27	0.14	0.72	0.51
Error	9	1.75	0.19		
Total	11	2.03			

$R^2 = 0.13$

%CV = 12.34

การกินได้วัตถุแห้งรวม

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	2.64	1.32	6.72	0.01
Error	9	1.76	0.19		
Total	11	4.40			

$R^2 = 0.59$

%CV = 4.58

การกินได้ของวัตถุ $g/kg W^{0.75}$

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	172.40	86.19	2.11	0.17
Error	9	367.32	40.81		
Total	11	539.72			

$R^2 = 0.32$

%CV = 5.44

การกินได้ของโปรตีนฟางข้าว

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	0.05	0.03	0.60	0.57
Error	9	0.37	0.04		
Total	11	0.42			

$R^2 = 0.11$

%CV = 13.58

การกินได้ของโปรตีนรวม

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	0.01	0.005	17.32	0.01
Error	9	0.003	0.0003		
Total	11	0.42			

$R^2 = 0.79$ %CV = 0.81

การกินได้ของโปรตีน g/kg W^{0.75}

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	1.34	0.67	0.39	0.69
Error	9	15.58	1.73		
Total	11	16.92			

$R^2 = 0.08$ %CV = 16.24

น้ำหนักตัวก่อนทดลอง

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	804.17	402.09	0.23	0.80
Error	9	15892.50	1765.83		
Total	11	16696.67			

$R^2 = 0.05$ %CV = 13.16

น้ำหนักตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	951.17	475.59	0.34	0.72
Error	9	12439.50	1382.17		
Total	11	13390.67			

$R^2 = 0.07$ %CV = 9.28

น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	6.17	3.09	0.04	0.96
Error	9	676.50	75.17		
Total	11	682.67			

$R^2 = 0.01$ %CV = 10.66

การเจริญเติบโตต่อวัน

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	0.0008	0.0004	0.05	0.95
Error	9	0.80	0.08		
Total	11	0.08			

$R^2 = 0.01$ %CV = 10.44

ความชื้นของเนื้อตำแหน่งสันนอก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	0.09	0.04	0.04	0.96
Error	9	10.36	1.15		
Total	11	10.45			

$R^2 = 0.01$ %CV = 1.50

โปรตีนของเนื้อตำแหน่งสันนอก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	0.09	0.04	0.10	0.90
Error	9	4.05	0.45		
Total	11	4.15			

$R^2 = 0.02$ %CV = 3.20

ไขมันของเนื้อตำแหน่งสันนอก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	1.78	0.89	7.15	0.01
Error	9	1.12	0.12		
Total	11	2.89			

$R^2 = 0.61$ %CV = 13.33

ความชื้นของเนื้อตำแหน่งสะโพก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	1.51	0.75	0.75	0.50
Error	9	9.06	1.01		
Total	11	10.57			

$R^2 = 0.14$ %CV = 1.42

โปรตีนของเนื้อตำแหน่งสะโพก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	0.76	0.38	0.28	0.76
Error	9	12.35	1.37		
Total	11	13.12			

$R^2 = 0.06$ %CV = 5.40

ไขมันของเนื้อตำแหน่งสะโพก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	2.14	1.07	1.19	0.35
Error	9	8.04	0.89		
Total	11	10.18			

$R^2 = 0.21$ %CV = 5.85

น้ำหนักซาก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	147.67	73.83	0.08	0.92
Error	9	8116.98	901.89		
Total	11	8264.64			

$R^2 = 0.01$ %CV = 13.60

เปอร์เซ็นต์ซาก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	18.27	9.13	0.68	0.53
Error	9	120.32	13.37		
Total	11	138.59			

$R^2 = 0.13$ %CV = 6.65

Back fat

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	0.01	0.003	0.31	0.74
Error	9	0.07	0.01		
Total	11	0.08			

$R^2 = 0.06$ %CV = 20.37

พื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	483.11	241.57	1.79	0.22
Error	9	1213.57	134.84		
Total	11	1696.68			

$R^2 = 0.28$ %CV = 16.31

Marbling score

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	108.06	54.03	7.07	0.01
Error	9	710.84	7.64		
Total	11	818.91			

$R^2=0.13$ %CV = 45.84

pH ณ ตำแหน่งกล้ามเนื้อสันนอก ที่ 45 นาทีหลังฆ่าแหละ

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	0.05	0.003	0.28	0.76
Error	9	0.85	0.09		
Total	11	0.91			

$R^2=0.06$ %CV = 4.24

pH ณ ตำแหน่งกล้ามเนื้อสันนอก ที่ 24 ชั่วโมงหลังฆ่าแหละ

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	0.41	0.21	3.03	0.09
Error	9	0.62	0.07		
Total	11	1.03			

$R^2=0.40$ %CV = 4.79

pH ณ ตำแหน่งกล้ามเนื้อสะโพก ที่ 45 นาทีหลังฆ่าแหละ

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	0.31	0.16	2.85	0.10
Error	9	0.48	0.05		
Total	11	0.19			

$R^2=0.38$ %CV = 3.18

pH ณ ตำแหน่งกล้ามเนื้อสะโพก ที่ 24 ชั่วโมงหลังชำแหละ

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	0.03	0.02	0.37	0.70
Error	9	0.40	0.04		
Total	11	0.44			

$R^2=0.08$ %CV = 3.94

ค่า Cooking loss ของกล้ามเนื้อสันนอก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	9.98	4.99	15.29	0.01
Error	9	2.94	0.32		
Total	11	12.92			

$R^2=0.77$ %CV = 1.58

ค่า Cooking loss ของกล้ามเนื้อสะโพก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	8.33	4.17	1.23	0.33
Error	9	30.50	3.39		
Total	11	38.83			

$R^2=0.21$ %CV = 5.32

ค่าสี L* ของกล้ามเนื้อสันนอก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	0.88	0.44	0.18	0.83
Error	9	22.10	2.46		
Total	11	22.92			

$R^2=0.04$ %CV = 4.62

ค่าสี a* ของกล้ามเนื้อสันนอก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	1.34	0.67	0.39	0.68
Error	9	15.58	1.73		
Total	11	16.92			

$R^2=0.08$ %CV = 16.24

ค่าสี b* ของกล้ามเนื้อสันนอก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	0.46	0.23	0.49	0.62
Error	9	4.24	0.47		
Total	11	4.70			

$R^2=0.09$ %CV = 12.34

ค่าสี L* ของกล้ามเนื้อสะโพก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	8.49	4.24	2.56	0.13
Error	9	14.91	1.66		
Total	11	23.40			

$R^2=0.36$ %CV = 3.77

ค่าสี a* ของกล้ามเนื้อสะโพก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	1.34	0.67	0.54	0.60
Error	9	11.17	1.24		
Total	11	12.51			

$R^2=0.11$ %CV = 13.70

ค่าสี b* ของกล้ามเนื้อสะโพก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	2.14	1.07	4.16	0.05
Error	9	2.31	0.26		
Total	11	4.45			

$R^2=0.48$ %CV = 9.14

ค่า Shear force ของกล้ามเนื้อสันนอก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	2.38	1.16	2.37	0.15
Error	9	4.42	0.49		
Total	11	6.74			

$R^2=0.34$ %CV = 28.50

ค่า Shear force ของกล้ามเนื้อสะโพก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	0.52	0.26	0.46	0.64
Error	9	4.99	0.55		
Total	11	5.51			

$R^2=0.09$ %CV = 20.58

ปริมาณกรดไขมัน C12:0% of total fatty acids ของกล้ามเนื้อสันนอก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	0.02	0.01	3.98	0.07
Error	7	0.02	0.0002		
Total	9	0.04			

$R^2=0.53$ %CV = 26.72

ปริมาณกรดไขมัน C14:0% of total fatty acids ของกล้ามเนื้อสันนอก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	2.73	1.37	3.98	0.05
Error	9	3.08	0.34		
Total	11	5.82			

$R^2=0.46$ %CV = 13.73

ปริมาณกรดไขมัน C16:0% of total fatty acids ของกล้ามเนื้อสันนอก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	12.33	6.17	1.93	0.20
Error	9	28.69	3.19		
Total	11	41.02			

$R^2=0.30$ %CV = 5.81

ปริมาณกรดไขมัน C16:1% of total fatty acids ของกล้ามเนื้อสันนอก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	3.97	1.99	1.41	0.30
Error	7	9.84	1.41		
Total	9	13.82			

$R^2=0.28$ %CV = 34.68

ปริมาณกรดไขมัน C18:0% of total fatty acids ของกล้ามเนื้อสันนอก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	2.56	1.28	0.12	0.88
Error	9	96.93	10.77		
Total	11	99.49			

$R^2=0.02$ %CV = 20.44

ปริมาณกรดไขมัน C18:1n9% of total fatty acids ของกล้ามเนื้อสันนอก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	12.86	6.43	0.89	0.44
Error	9	65.27	7.25		
Total	11	78.12			

$R^2=0.16$ %CV = 6.91

ปริมาณกรดไขมัน C18:2n6% of total fatty acids ของกล้ามเนื้อสันนอก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	4.05	2.03	2.38	0.14
Error	9	7.67	0.85		
Total	11	11.72			

$R^2=0.34$ %CV = 22.47

ปริมาณกรดไขมัน *c9,t11*-C18:2 % of total fatty acids ของกล้ามเนื้อสันนอก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	1	0.0008	0.0008	0.01	0.93
Error	1	0.0892	0.0892		
Total	2	0.0900			

$R^2=0.01$ %CV = 108.72

ปริมาณกรดไขมัน *t10, c12*-C18:2 % of total fatty acids ของกล้ามเนื้อสันนอก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	0.02	0.01	2.14	0.31
Error	2	0.01	0.005		
Total	4	0.03			

$R^2=0.68$ %CV = 37.49

ปริมาณกรดไขมัน C12:0mg/100 g muscle ของกล้ามเนื้อสันนอก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	29.58	14.79	3.94	0.07
Error	7	26.30	3.76		
Total	9	55.88			

$R^2=0.52$ %CV = 35.64

ปริมาณกรดไขมัน C14:0mg/100 g muscle ของกล้ามเนื้อสันนอก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	6671.91	3335.96	5.28	0.03
Error	9	5689.44	632.16		
Total	11	12361.35			

$R^2=0.53$ %CV = 22.04

ปริมาณกรดไขมัน C16:0mg/100 g muscle ของกล้ามเนื้อสันนอก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	188533.19	94266.60	5.46	0.02
Error	9	155360.97	17262.33		
Total	11	343894.16			

$R^2=0.55$ %CV = 16.12

ปริมาณกรดไขมัน C16:1mg/100 g muscle ของกล้ามเนื้อสันนอก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	2538.09	1269.05	1.10	0.38
Error	7	8095.16	1156.45		
Total	9	10633.25			

$R^2=0.24$ %CV = 38.63

ปริมาณกรดไขมัน C18:0mg/100 g muscle ของกล้ามเนื้อสันนอก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	60507.52	30253.76	2.47	0.13
Error	9	110136.23	12237.36		
Total	11	170643.75			

$R^2=0.35$ %CV = 25.90

ปริมาณกรดไขมัน C18:1n9mg/100 g muscle ของกล้ามเนื้อสันนอก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	212126.13	106063.07	5.83	0.02
Error	9	163717.55	18190.84		
Total	11	375843.68			

$R^2=0.56$ %CV = 13.15

ปริมาณกรดไขมัน C18:2n6mg/100 g muscle ของกล้ามเนื้อสันนอก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	8660.10	4330.05	10.49	0.01
Error	9	3716.56	412.95		
Total	11	12376.66			

$R^2=0.69$ %CV = 18.81

ปริมาณกรดไขมัน c9,t11-C18:2mg/100 g muscle ของกล้ามเนื้อสันนอก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	1	0.22	0.22	0.01	0.93
Error	1	24.21	24.21		
Total	2	24.43			

$R^2=0.01$ %CV = 90.97

ปริมาณกรดไขมัน *t10, c12-C18:2*mg/100 g muscle ของกล้ามเนื้อสันนอก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	31.14	15.57	6.81	0.12
Error	2	4.57	2.29		
Total	4	35.71			

$R^2=0.87$ %CV = 26.83

ปริมาณกรดไขมันรวมmg/100 g muscleของกล้ามเนื้อสันนอก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	1618195.96	809097.98	7.02	0.01
Error	9	1036670.14	115185.57		
Total	11	2654866.10			

$R^2=0.61$ %CV = 12.90

ปริมาณกรดไขมัน C12:0% of total fatty acids ของกล้ามเนื้อสะโพก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	0.002	0.001	0.17	0.85
Error	6	0.030	0.005		
Total	8	0.032			

$R^2=0.05$ %CV = 31.22

ปริมาณกรดไขมัน C14:0% of total fatty acids ของกล้ามเนื้อสะโพก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	2.28	1.14	1.14	0.36
Error	8	8.02	1.00		
Total	10	10.31			

$R^2=0.22$ %CV = 26.75

ปริมาณกรดไขมัน C16:0 % of total fatty acids ของกล้ามเนื้อสะโพก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	220.37	110.19	1.94	0.20
Error	8	454.28	56.79		
Total	10	674.64			

$R^2=0.32$ %CV = 28.40

ปริมาณกรดไขมัน C16:1 % of total fatty acids ของกล้ามเนื้อสะโพก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	27.96	13.98	1.21	0.34
Error	8	92.20	11.53		
Total	10	120.16			

$R^2=0.23$ %CV = 70.73

ปริมาณกรดไขมัน C18:0 % of total fatty acids ของกล้ามเนื้อสะโพก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	125.94	62.97	1.03	0.40
Error	8	489.51	61.18		
Total	10	615.45			

$R^2=0.20$ %CV = 47.36

ปริมาณกรดไขมัน C18:1n9 % of total fatty acids ของกล้ามเนื้อสะโพก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	315.92	157.96	2.51	0.14
Error	8	504.19	63.02		
Total	10	820.10			

$R^2=0.38$ %CV = 22.72

ปริมาณกรดไขมัน C18:2n6% of total fatty acids ของกล้ามเนื้อสะโพก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	13.76	6.88	1.76	0.24
Error	7	27.34	3.91		
Total	9	41.10			

$R^2=0.33$ %CV = 33.21

ปริมาณกรดไขมัน c9,t11-C18:2% of total fatty acids ของกล้ามเนื้อสะโพก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	1	0.015	0.015	13.81	0.06
Error	2	0.002	0.001		
Total	3	0.017			

$R^2=0.87$ %CV = 21.70

ปริมาณกรดไขมัน t10, c12-C18:2% of total fatty acids ของกล้ามเนื้อสะโพก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	13.48	6.74	1.21	0.41
Error	3	16.69	5.56		
Total	5	30.17			

$R^2=0.45$ %CV = 160.77

ปริมาณกรดไขมัน C12:0mg/100 g muscle ของกล้ามเนื้อสะโพก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	2.54	1.27	2.47	0.15
Error	7	3.59	0.51		
Total	9	6.12			

$R^2=0.41$ %CV = 21.31

ปริมาณกรดไขมัน C14:0mg/100 g muscle ของกล้ามเนื้อสะโพก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	14.16	7.08	0.01	0.98
Error	9	5409.06	601.01		
Total	11	5423.22			

$R^2=0.01$ %CV = 42.32

ปริมาณกรดไขมัน C16:0mg/100 g muscle ของกล้ามเนื้อสะโพก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	9087.50	4543.75	0.30	0.74
Error	9	137460.96	15273.44		
Total	11	146548.46			

$R^2=0.06$ %CV = 28.33

ปริมาณกรดไขมัน C16:1mg/100 g muscle ของกล้ามเนื้อสะโพก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	947.52	473.76	0.55	0.59
Error	9	7767.01	863.00		
Total	11	8714.52			

$R^2=0.11$ %CV = 49.01

ปริมาณกรดไขมัน C18:0mg/100 g muscle ของกล้ามเนื้อสะโพก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	2426.67	1213.34	0.59	0.57
Error	9	18411.99	2045.78		
Total	11	20838.67			

$R^2=0.12$ %CV = 21.28

ปริมาณกรดไขมัน C18:1n9mg/100 g muscle ของกล้ามเนื้อสะโพก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	29651.14	14825.57	0.51	0.61
Error	9	263366.59	29262.95		
Total	11	293017.72			

$R^2=0.10$ %CV = 29.43

ปริมาณกรดไขมัน C18:2n6mg/100 g muscle ของกล้ามเนื้อสะโพก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	4829.21	2414.61	4.02	0.06
Error	9	5410.97	601.22		
Total	11	10240.19			

$R^2=0.47$ %CV = 27.57

ปริมาณกรดไขมัน c9,t11-C18:2mg/100 g muscle ของกล้ามเนื้อสะโพก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	1	3.36	3.36	32.20	0.02
Error	2	0.21	0.11		
Total	3	3.57			

$R^2=0.94$ %CV = 15.08

ปริมาณกรดไขมัน t10, c12-C18:2mg/100 g muscle ของกล้ามเนื้อสะโพก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	6.44	3.22	0.13	0.88
Error	3	73.08	24.36		
Total	5	79.52			

$R^2=0.08$ %CV = 78.65

ปริมาณกรดไขมันรวม mg/100 g muscle ของกล้ามเนื้อสะโพก

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Treatment	2	197913.63	98956.82	0.78	0.48
Error	9	1141128.95	126792.11		
Total	11	1339042.58			

$R^2=0.15$ %CV = 23.55

จำนวนประชากร Protozoa ของของเหลวในกระเพาะหมัก ณ ชั่วโมงที่ 0

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Period	2	4.22	2.11	0.20	0.83
Cattle	2	2.05	1.03	0.10	0.91
Treatment	2	4.22	2.11	0.20	0.48
Error	2	21.56	10.78		
Total	8	32.06			

$R^2=0.32$ %CV = 77.75

จำนวนประชากร Protozoa ของของเหลวในกระเพาะหมัก ณ ชั่วโมงที่ 3

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Period	2	2.89	1.44	0.71	0.58
Cattle	2	5.39	2.69	1.33	0.42
Treatment	2	1.39	0.69	0.34	0.74
Error	2	4.05	2.03		
Total	8	32.06			

$R^2=0.70$ %CV = 48.36

จำนวนประชากร Protozoa ของของเหลวในกระเพาะหมัก ณ ชั่วโมงที่ 6

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Period	2	1.17	0.58	7.00	0.13
Cattle	2	2.17	1.08	13.00	0.07
Treatment	2	6.50	3.25	39.00	0.02
Error	2	0.16	0.08		
Total	8	10.00			

$R^2=0.70$ %CV = 48.36

pH ของของเหลวในกระเพาะหมัก ณ ชั่วโมงที่ 0

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Period	2	0.03	0.02	2.20	0.21
Cattle	2	0.01	0.01	1.00	0.50
Treatment	2	0.02	0.01	1.22	0.45
Error	2	0.01	0.01		
Total	8	0.07			

$R^2=0.81$ %CV = 1.16

pH ของของเหลวในกระเพาะหมัก ณ ชั่วโมงที่ 3

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Period	2	0.144	0.072	26.63	0.03
Cattle	2	0.008	0.004	1.70	0.37
Treatment	2	0.042	0.021	8.73	0.10
Error	2	0.004	0.002		
Total	8	0.20			

$R^2=0.97$ %CV = 0.73

pH ของของเหลวในกระเพาะหมัก ณ ชั่วโมงที่ 6

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Period	2	0.112	0.056	2.21	0.21
Cattle	2	0.048	0.024	0.96	0.51
Treatment	2	0.086	0.043	1.69	0.37
Error	2	0.050	0.025		
Total	8	0.297			

$R^2=0.83$

%CV = 2.33

ปริมาณของ NH₃-N ของของเหลวในกระเพาะหมัก ณ ชั่วโมงที่ 0

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Period	2	33.603	16.801	5.20	0.16
Cattle	2	13.722	6.861	2.12	0.32
Treatment	2	16.786	8.393	2.60	0.27
Error	2	6.461	3.231		
Total	8	70.574			

$R^2=0.91$

%CV = 17.48

ปริมาณของ NH₃-N ของของเหลวในกระเพาะหมัก ณ ชั่วโมงที่ 3

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Period	2	77.883	38.942	12.74	0.07
Cattle	2	20.118	10.059	3.29	0.23
Treatment	2	2.180	1.090	0.36	0.73
Error	2	6.115	3.057		
Total	8	106.296			

$R^2=0.94$

%CV = 17.01

ปริมาณของ NH₃-N ของของเหลวในกระเพาะหมัก ณ ชั่วโมงที่ 6

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Period	2	52.431	26.216	14.26	0.06
Cattle	2	8.476	4.238	2.31	0.30
Treatment	2	8.487	4.243	2.31	0.30
Error	2	3.677	1.838		
Total	8	106.296			

R²=0.94 %CV = 15.24

ความเข้มข้นของ Acetic acid ภายในกระเพาะหมัก ณ ชั่วโมงที่ 0

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Period	2	59.020	29.510	9.46	0.09
Cattle	2	80.044	40.022	12.83	0.07
Treatment	2	26.975	13.487	4.32	0.18
Error	2	6.240	3.120		
Total	8	106.296			

R²=0.94 %CV = 15.24

ความเข้มข้นของ Acetic acid ภายในกระเพาะหมัก ณ ชั่วโมงที่ 3

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Period	2	178.105	89.052	5.85	0.14
Cattle	2	148.517	74.258	4.87	0.17
Treatment	2	27.970	13.985	0.92	0.52
Error	2	30.468	15.234		
Total	8	385.062			

R²=0.92 %CV = 5.89

ความเข้มข้นของ Acetic acid ภายในกระเพาะหมัก ณ ชั่วโมงที่ 6

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Period	2	328.616	164.308	32.40	0.02
Cattle	2	140.938	70.469	13.89	0.06
Treatment	2	48.929	24.464	4.82	0.17
Error	2	528.628	5.072		
Total	8	385.062			

$R^2=0.98$ %CV = 3.39

ความเข้มข้นของ Propionic acid ภายในกระเพาะหมัก ณ ชั่วโมงที่ 0

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Period	2	51.995	25.997	1.10	0.47
Cattle	2	179.961	89.980	3.80	0.20
Treatment	2	10.807	5.403	0.23	0.81
Error	2	47.348	23.674		
Total	8	209.112			

$R^2=0.84$ %CV = 25.18

ความเข้มข้นของ Propionic acid ภายในกระเพาะหมัก ณ ชั่วโมงที่ 3

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Period	2	135.971	67.985	2.89	0.25
Cattle	2	264.822	132.411	5.58	0.15
Treatment	2	38.436	19.218	0.81	0.55
Error	2	47.495	23.747		
Total	8	486.726			

$R^2=0.90$ %CV = 21.43

ความเข้มข้นของ Propionic acid ภายในกระเพาะหมัก ณ ชั่วโมงที่ 6

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Period	2	241.346	120.673	12.12	0.07
Cattle	2	257.881	128.940	12.95	0.07
Treatment	2	29.978	14.989	1.51	0.39
Error	2	19.912	9.956		
Total	8	549.117			

$R^2=0.96$

%CV = 14.25

ความเข้มข้นของ Butyric acid ภายในกระเพาะหมัก ณ ชั่วโมงที่ 0

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Period	2	3.799	1.899	0.09	0.91
Cattle	2	25.305	12.652	0.62	0.61
Treatment	2	22.916	11.458	0.56	0.64
Error	2	41.068	20.534		
Total	8	93.089			

$R^2=0.55$

%CV = 37.70

ความเข้มข้นของ Butyric acid ภายในกระเพาะหมัก ณ ชั่วโมงที่ 3

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Period	2	8.236	4.118	0.32	0.75
Cattle	2	36.278	18.139	1.40	0.41
Treatment	2	10.366	5.183	0.40	0.71
Error	2	25.870	12.935		
Total	8	80.752			

$R^2=0.67$

%CV = 32.692

ความเข้มข้นของ Butyric acid ภายในกระเพาะหมัก ณ ชั่วโมงที่ 6

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Period	2	8.386	4.193	0.19	0.83
Cattle	2	28.639	14.319	0.66	0.60
Treatment	2	3.654	1.827	0.08	0.92
Error	2	43.385	21.692		
Total	8	84.064			

$R^2=0.48$

%CV = 40.61

สัดส่วนความเข้มข้นของ Acetic acid ต่อ Propionic acid ภายในกระเพาะหมัก ณ ชั่วโมงที่ 0

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Period	2	2.251	1.125	2.14	0.31
Cattle	2	5.791	2.895	5.52	0.15
Treatment	2	0.040	0.020	0.04	0.96
Error	2	1.049	0.524		
Total	8	9.133			

$R^2=0.88$

%CV = 18.83

สัดส่วนความเข้มข้นของ Acetic acid ต่อ Propionic acid ภายในกระเพาะหมัก ณ ชั่วโมงที่ 3

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Period	2	5.978	2.989	2.80	0.26
Cattle	2	6.510	3.255	3.05	0.24
Treatment	2	0.702	0.351	0.33	0.75
Error	2	2.131	1.065		
Total	8	15.323			

$R^2=0.89$

%CV = 31.32

สัดส่วนความเข้มข้นของ Acetic acid ต่อ Propionic acid ภายในกระเพาะหมัก ณ ชั่วโมงที่ 6

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Period	2	12.661	6.330	45.96	0.02
Cattle	2	5.693	2.846	20.69	0.04
Treatment	2	0.097	0.048	0.35	0.73
Error	2	0.275	0.137		
Total	8	18.727			

$R^2=0.98$

%CV = 10.69

ปริมาณกรดไขมัน C12:0 ของของเหลวภายในกระเพาะหมัก ณ ชั่วโมงที่ 0

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Period	2	29.976	14.988	1.84	0.35
Cattle	2	11.763	5.881	0.72	0.58
Treatment	2	34.881	17.440	2.14	0.31
Error	2	16.304	8.152		
Total	8	92.925			

$R^2=0.82$

%CV = 20.38

ปริมาณกรดไขมัน C14:0 ของของเหลวภายในกระเพาะหมัก ณ ชั่วโมงที่ 0

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Period	2	54.965	27.482	5.11	0.16
Cattle	2	5.803	2.901	0.54	0.64
Treatment	2	41.532	20.766	3.86	0.20
Error	2	10.758	5.379		
Total	8	113.059			

$R^2=0.90$

%CV = 36.70

ปริมาณกรดไขมัน C16:0 ของของเหลวภายในกระเพาะหมัก ณ ชั่วโมงที่ 0

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Period	2	32.059	16.029	0.39	0.72
Cattle	2	15.630	7.815	0.19	0.84
Treatment	2	163.871	81.935	1.99	0.33
Error	2	82.440	41.220		
Total	8	294.000			

$R^2=0.72$

%CV = 19.62

ปริมาณกรดไขมัน C18:0 ของของเหลวภายในกระเพาะหมัก ณ ชั่วโมงที่ 0

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Period	2	97.664	48.832	0.94	0.51
Cattle	2	115.536	57.768	1.11	0.47
Treatment	2	310.532	155.266	2.99	0.25
Error	2	103.920	51.960		
Total	8	627.653			

$R^2=0.83$

%CV = 16.79

ปริมาณกรดไขมัน C18:1n9 ของของเหลวภายในกระเพาะหมัก ณ ชั่วโมงที่ 0

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Period	2	23.931	11.965	0.82	0.55
Cattle	2	5.555	2.777	0.19	0.84
Treatment	2	51.833	25.916	1.77	0.36
Error	2	29.355	14.677		
Total	8	110.675			

$R^2=0.83$

%CV = 16.79

ปริมาณกรดไขมัน C12:0 ของของเหลวภายในกระเพาะหมัก ณ ชั่วโมงที่ 3

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Period	2	59.984	29.992	36.06	0.02
Cattle	2	13.212	6.605	7.94	0.11
Treatment	2	13.252	6.625	7.97	0.11
Error	2	1.663	0.831		
Total	8	88.111			

$R^2=0.83$

%CV = 16.79

ปริมาณกรดไขมัน C14:0 ของของเหลวภายในกระเพาะหมัก ณ ชั่วโมงที่ 3

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Period	2	38.975	19.487	2.24	0.30
Cattle	2	5.978	2.989	0.34	0.74
Treatment	2	4.023	2.011	0.23	0.81
Error	2	17.414	8.707		
Total	8	66.391			

$R^2=0.74$

%CV = 60.33

ปริมาณกรดไขมัน C16:0 ของของเหลวภายในกระเพาะหมัก ณ ชั่วโมงที่ 3

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Period	2	105.444	105.444	4.96	0.16
Cattle	2	12.660	12.660	0.60	0.62
Treatment	2	19.316	19.316	0.91	0.52
Error	2	42.513	21.256		
Total	8	317.354			

$R^2=0.86$

%CV = 12.76

ปริมาณกรดไขมัน C18:0 ของของเหลวภายในกระเพาะหมัก ณ ชั่วโมงที่ 3

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Period	2	307.243	153.621	26.57	0.03
Cattle	2	8.874	4.437	0.77	0.56
Treatment	2	11.356	5.678	0.98	0.50
Error	2	11.563	5.781		
Total	8	339.037			

$R^2=0.96$ %CV = 7.48

ปริมาณกรดไขมัน C18:1n9 ของของเหลวภายในกระเพาะหมัก ณ ชั่วโมงที่ 3

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Period	2	268.43	134.218	94.41	0.01
Cattle	2	2.55	1.275	0.92	0.52
Treatment	2	12.128	6.064	4.36	0.18
Error	2	2.784	1.392		
Total	8	285.900			

$R^2=0.99$ %CV = 9.75

ปริมาณกรดไขมัน C18:2n6 ของของเหลวภายในกระเพาะหมัก ณ ชั่วโมงที่ 3

Source	df	SS	MS	F-value	Pr>F
Period	2	0.004	0.002	1.00	0.50
Cattle	2	12.812	6.405	3570.11	0.01
Treatment	2	0.004	0.002	1.00	0.50
Error	2	0.004	0.002		
Total	8	12.822			

$R^2=0.99$ %CV = 5.02

ประวัติผู้เขียน

นายชยพล มีพร้อม เกิดวันที่ 5 พฤศจิกายน พ.ศ. 2532 ที่จังหวัดสุรินทร์ เริ่มศึกษาระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนเมืองสุรินทร์ สำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2545 จากนั้นเข้าศึกษาต่อระดับมัธยมศึกษา 1-6 ที่โรงเรียนสุรวิทยาคาร และสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2551 จากนั้นได้ศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา และสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2554 และได้ศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมาในปี พ.ศ. 2555

