ผลของการเสริมวิตามินเอร่วมกับการเสริมทอรีนในสูตรอาหารต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต ลักษณะซากและคุณภาพเนื้อของโคเนื้อลูกผสมบราห์มัน × ชาร์โรเลส์

กันต์ฤทัย คำน้อย

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสัตวศาสตร์
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2566

ผลของการเสริมวิตามินเอร่วมกับการเสริมทอรีนในสูตรอาหารต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต ลักษณะซากและคุณภาพเนื้อของโคเนื้อลูกผสมบราห์มัน × ชาร์โรเลส์

กันต์ฤทัย คำน้อย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสัตวศาสตร์
สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2566

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

ผลของการเสริมวิตามินเอร่วมกับการเสริมทอรีนในสูตรอาหารต่อสมรรถภาพ
การเจริญเติบโต ลักษณะซากและคุณภาพเนื้อของโคเนื้อลูกผสม
บราห์มัน × ชาร์โรเลส์

กันต์ฤทัย คำน้อย

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสัตวศาสตร์

พิจารณาเห็นชอบโดย **อาจารย์ที่ปรึกษา**

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฬากร ปานะถึก)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุบรรณ ฝอยกลาง)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.อนุสรณ์ เชิดทอง)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัวเรียม มณีวรรณ์)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ)
รองอธิการบดี
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ชื่อเรื่อง ผลของการเสริมวิตามินเอร่วมกับการเสริมทอรีนในสูตรอาหารต่อสมรรถภาพ
การเจริญเติบโต ลักษณะซากและคุณภาพเนื้อของโคเนื้อลูกผสมบราห์มัน × ชาร์โรเลส์

ชื่อผู้เขียน นางสาวกันต์ฤทัย คำน้อย

ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสัตวศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฬากร ปานะถึก

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเสริมวิตามินเอร่วมกับการเสริมทอรีนในสูตรอาหารต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต ค่าพารามิเตอร์ในเลือด ลักษณะซาก และคุณภาพเนื้อของโคขุน ใช้โคเนื้อลูกผสมบราห์มัน × ชาร์โรเลส์ จำนวน 12 ตัว อายุ 15 - 18 เดือน น้ำหนักเฉลี่ย 377 ± 62 กิโลกรัม สุ่มโคทดลองเป็น 3 กลุ่ม ๆ ละ 4 ซ้ำ ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) ให้ได้รับอาหารทดลอง 3 ทรีทเมนต์ได้แก่ กลุ่มควบคุม (T1) กลุ่มที่ได้รับการเสริมวิตามินเอ 2 กรัม/วัน (T2) และ กลุ่มที่ได้รับการเสริมวิตามินเอ 2 กรัม/วัน ร่วมกับทอรีน 5 กรัม/วัน (T3) ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 5 เดือน โดยมีระยะปรับตัว 14 วัน จากการศึกษาประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของโคเนื้อพบว่าโคแต่ละกลุ่มการทดลองมีสมรรถนะการเจริญเติบโตได้แก่ น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (BWG) อัตราการเจริญเติบโต (ADG) อัตราการกินอาหารได้เฉลี่ยต่อวัน (ADFI) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (FCR) และต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตเนื้อ 1 กก. (FCG) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ระหว่างกลุ่มทดลอง ด้านลักษณะซากพบว่าโคกลุ่มควบคุมมีความหนาไขมันสันหลังสูงกว่าโคกลุ่มที่ได้รับการเสริมวิตามินเอ 2 กรัม/วัน และกลุ่มที่ได้รับการเสริมวิตามินเอ 2 กรัม/วัน ร่วมกับทอรีน 5 กรัม/วัน แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ทางด้านคุณภาพเนื้อพบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าการเสริมวิตามินเอร่วมกับการเสริมทอรีนไม่ส่งผลต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต ค่าพารามิเตอร์ในเลือด ลักษณะซากและคุณภาพเนื้อของโคเนื้อลูกผสมบราห์มัน × ชาร์โรเลส์

คำสำคัญ : วิตามินเอ, ทอรีน, ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต, ค่าพารามิเตอร์ในเลือด, คุณภาพเนื้อ, โคเนื้อ

Title EFFECTS OF DIETARY VITAMIN A AND TAURINE SUPPLEMENTATION ON GROWTH PERFORMANCES CARCASS CHARACTERISTIC AND BEEF QUALITY OF BRAHMAN × CHAROLAIS CROSSBRED FATTENING CATTLE

Author Miss Kunruethai Khamnoi

Degree Master of Science in Animal Science

Advisory Committee Chairperson Assistant Professor Dr. Julakorn Panatuk

ABSTRACT

This research aimed to investigate the effect of dietary vitamin A restriction and taurine supplementation on growth performances, blood parameters, carcass characteristics, and meat quality of fattening beef cattle. Twelve of Brahman × Charolais cross-bred fattening cattle (377 ± 62 kg BW) were allocated into 3 experimental diets with 4 replications per experimental group according to a completely randomized design (CRD). The experimental diets consisted of T1: The control group (basal diet without supplementation), T2: Basal diet with 2 g of Vitamin A per day, and T3; Basal diet with 2 g of Vitamin A and 5 g of Taurine per day. The experiment lasted for 5 months with a 14-day adaptation period. The results found that body weight gain (BWG), average daily gain (ADG), average daily feed intake (ADFI), feed conversion ratio (FCR), and feed cost per gain were not significantly different among treatments (P>0.05). The fattening cattle of the T1 group had higher back fat thickness than that of the T2 and T3 groups but were not significantly different among treatments (P>0.05). Meat quality was not significantly different among treatments (P>0.05). Based on this study, it could be concluded that Vitamin A restriction and taurine supplementation did not affect growth performances, blood parameters, carcass characteristics, and meat quality of the Brahman × Charolais cross-bred fattening cattle.

Keywords : Vitamin A, Taurine, Growth performance, Blood biochemical paramets, Meet quality, Fattening beef cattle

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีโดยได้รับความอนุเคราะห์คำแนะนำและความช่วยเหลือจากบุคลากรหลายฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งขอขอบพระคุณท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฬากร ปานะถึก ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุบรรณ ฝอยกลาง และรองศาสตราจารย์ ดร.อนุสรณ์ เชิดทอง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งได้สละเวลาอันมีค่า ให้ความรู้ คำแนะนำ และคำปรึกษาตลอดจนให้ความดูแลและเอาใจใส่เป็นอย่างดี ขอขอบคุณโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุสาหกรรม (พวอ.) ปริญญาโทรหัสรายโครงการ NRCT5-RRI63013-M27 ภายใต้สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่สนับสนุนทุนในการศึกษาและดำเนินการวิจัย ขอขอบคุณบริษัท แอนนิมัลฟีด อินเตอร์เทรด จำกัด ที่สนับสนุนทุนในการศึกษาวิจัยร่วม ขอขอบคุณสมานฟาร์มที่ให้ความอนุเคราะห์ต่างๆ สำหรับการทำวิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ให้การช่วยเหลือและให้คำแนะนำ ในการดำเนินงานต่างๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี นอกจากนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวเป็นอย่างสูงที่คอยเป็นกำลังใจแก่ข้าพเจ้าตลอดมา ขอขอบคุณรุ่นพี่ เพื่อนและ รุ่นน้องสาขาสัตวศาสตร์ทุกคนที่คอยให้คำปรึกษา ให้กำลังใจ และคอยช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา

กันต์ฤทัย คำน้อย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ 1

ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย 1

วัตถุประสงค์ 2

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

ขอบเขตการวิจัย 3

บทที่ 2 ตรวจเอกสาร 4

สถานการณ์โคขุนของประเทศไทย ณ ปัจจุบัน 4

เกณฑ์การรับซื้อโคขุนคุณภาพสูง 6

กระบวนการเจริญเติบโตและพัฒนาการของเซลล์ไขมัน 9

การสร้างและสะสมไขมันแทรกในเนื้อโค 10

องค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อโค 12

วิตามินเอ (Vitamin A) 13

โครงสร้างและหน่วยย่อยของวิตามินเอ 15

รูปแบบและหน้าที่ของวิตามินเอ 17

การดูดซึมและการเมตาบอลิซึมวิตามินเอ 17

การขาดวิตามินเอ และความต้องการวิตามินเอในสัตว์แต่ละประเภท 18
ความเป็นพิษของวิตามินเอ 18
เบต้าแคโรทีน(β-Carotene) และแคโรทีนอยด์อื่นๆ 20
ชนิดและโครงสร้างของแคโรทีนอยด์ 20
การย่อยและการดูดซึมแคโรทีนอยด์ 21
ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซึมแคโรทีนอยด์ 22
แหล่งที่พบเบต้าแคโรทีน 22
ทอรีน (Taurine) 22
บทบาทของทอรีนต่อการพัฒนาของเซลล์ไขมัน 24
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง 26
สถานที่ทำการวิจัย 26
ระยะเวลาดำเนินการวิจัย 26
อุปกรณ์การดำเนินงานวิจัย 26
สัตว์ทดลอง 27
อาหารทดลอง 28
การเตรียมอาหารทดลอง 28
วิเคราะห์องค์ประกอบเคมีอาหาร 30
การศึกษาสมรรถภาพการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหาร 33
การศึกษาค่าพารามิเตอร์ในเลือดโค 34
การศึกษาลักษณะซากและคุณภาพซาก 34
การศึกษาคุณภาพเนื้อ 35
การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 39
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ 41
องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง 41

ผลการศึกษาสมรรถภาพการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหาร 42
องค์ประกอบทางเคมีในเลือดโค 47
ผลการศึกษาด้านคุณภาพซาก 49
องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อโค 52
ผลการศึกษาคุณภาพของเนื้อโค 54
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 63
สรุปผลการทดลอง 63
ข้อเสนอแนะ 63
ภาคผนวก 64
บรรณานุกรม 72
ประวัติผู้วิจัย 82

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 จำนวนเกษตรกรผู้เลี้ยงโคขุน และจำนวนโคขุนของประเทศไทย 5

ตารางที่ 2 ราคารับซื้อซากโคขุนน้ำหนักซากเย็น ≤ 300 กิโลกรัม 6

ตารางที่ 3 แสดงผลของ Vitamin A ต่อคุณภาพซากในโคขุน 15

ตารางที่ 4 The active substance of vitamin A 16

ตารางที่ 5 Estimated vitamin A requirements and safe upper limits in RE[1]/kg dry matter in animal species 19

ตารางที่ 6 สูตรอาหารและคุณค่าทางโภชนะของอาหารที่ใช้ในการทดลอง 29

ตารางที่ 7 ระยะเวลาดำเนินงาน และ แผนการทำงาน 40

ตารางที่ 8 Ingredients and chemical composition of experimental dietary (kg/DM) 42

ตารางที่ 9 Effect of dietary vitamin A restriction and taurine supplementation on feed intake of fattening beef cattle 43

ตารางที่ 10 Effect of Dietary vitamin A restriction and taurine supplementation on growth performance of fattening beef cattle 47

ตารางที่ 11 Effect of dietary vitamin A restriction and taurine supplementation on blood chemistry parameters of fattening beef cattle (Initial period) 48

ตารางที่ 12 Effect of dietary vitamin A restriction and taurine supplementation on blood chemistry parameters of fattening beef cattle (final period) 49

ตารางที่ 13 Effect of dietary Vitamin A restriction and taurine supplementation on carcass characteristics of fattening beef cattle 51

ตารางที่ 14 Effect of dietary vitamin A restriction and taurine supplementation on carcass composition of fattening beef cattle (kg) 51

ตารางที่ 15 Effect of dietary Vitamin A restriction and taurine supplementation on carcass composition of fattening beef cattle (%) 52

ตารางที่ 16 Effect of dietary vitamin A restriction and taurine supplementation on chemical composition of *Longgisimus dorsi* muscle and *Semimembranosus* muscle of fattening beef cattle 53

ตารางที่ 17 Effect of dietary Vitamin A restriction and taurine supplementation on color of *Longgisimus dorsi* muscle and *Semimembranosus* muscle of fattening beef cattle 56

ตารางที่ 19 Effect of dietary Vitamin A restriction and taurine supplementation on lipid oxidation of meat (mg MDA/kg) 60

ตารางที่ 18 Effect of dietary Vitamin A restriction and taurine supplementation on meat quality of fattening beef cattle 61

ตารางที่ 20 Effect of dietary Vitamin A restriction and taurine supplementation on fatty acid of *Longgisimus dorsi* muscle of fattening beef cattle (% of total fatty acids) 62

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 แผนภูมิร้อยละโคเนื้อของประเทศไทยจำแนกตามประเภท 5

ภาพที่ 2 เกณฑ์การแบ่งเกรดไขมันแทรกในแต่ละประเทศ..... 8

ภาพที่ 3 เกณฑ์การแบ่งเกรดกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (USDA) 8

ภาพที่ 4 แผนผังแสดงการพัฒนาของเซลล์ adipocytes ที่เจริญเต็มที่จากเซลล์ต้นกำเนิด..... 10

ภาพที่ 5 แสดงการขยายตัวของเซลล์ไขมันในกล้ามเนื้อในระยะต่าง ๆ 11

ภาพที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างซีรั่มวิตามินเอ และระดับไขมันแทรกในกล้ามเนื้อ 14

ภาพที่ 7 โครงสร้างทางเคมีของสารที่มีฤทธิ์เป็นวิตามินเอ 16

ภาพที่ 8 กระบวนการเมตาโบลิซึมของวิตามินเอ..... 18

ภาพที่ 9 โครงสร้าง และการสังเคราะห์ทอรีน 23

ภาพที่ 10 ผลของวิตามินเอและทอรีนต่อระดับวิตามินเอในตับ ไตและซีรั่มวิตามินเอในหนู 24

ภาพที่ 11 ผังแสดงบทบาทของทอรีนต่อการขยายตัวของเซลล์ไขมัน 25

ภาพที่ 12 โรงเรือนสำหรับเลี้ยงโคทดลอง 65

ภาพที่ 13 การชั่งน้ำหนักโคก่อนเริ่มการทดลอง และชั่งทุกๆ 1 เดือนตลอดการทดลอง 65

ภาพที่ 14 การเก็บตัวอย่างเลือดก่อนและหลังการทดลอง..... 65

ภาพที่ 15 การเตรียมสัตว์ทดลองก่อนเริ่มการทดลอง (ฉีดยาบำรุง ทำวัคซีนตามโปรแกรม) 66

ภาพที่ 16 การเตรียมอาหารทดลอง 66

ภาพที่ 17 การชั่งน้ำหนักอาหารข้น อาหารหยาบก่อนให้และหลังให้..... 66

ภาพที่ 18 การให้วิตามินเอ และทอรีนโดยวิธีการเสริมบริเวณด้านบนของอาหาร (on top) และคลุกเคล้าให้เข้ากัน 67

ภาพที่ 19 การบดตัวอย่างอาหารเพื่อนำไปวิเคราะห์ส่วนประกอบทางโภชนะ..... 67

ภาพที่ 20 การเก็บตัวอย่างเนื้อเพื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพเนื้อ 67

ภาพที่ 21 การประเมินสีของเนื้อแดงด้วยเครื่อง Minolta Chroma Meter..... 68
ภาพที่ 22 การวัดระดับประเมินค่าความเป็น กรด-ด่าง เนื้อแดงด้วยเครื่อง pH Meter..... 68
ภาพที่ 23 การเตรียมตัวอย่างเนื้อเพื่อนำไปประเมินความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ 68
ภาพที่ 24 ประเมินความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ 69
ภาพที่ 25 การวัดค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (shear force) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส..... 69
ภาพที่ 26 การวิเคราะห์ค่าการเกิดออกซิเดชั่นของไขมันในเนื้อ..... 69
ภาพที่ 27 การเตรียมอุปกรณ์ในการวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีอาหาร และเนื้อ..... 70
ภาพที่ 28 การวิเคราะห์กรดไขมัน..... 70
ภาพที่ 29 การวิเคราะห์พลังงานรวม..... 70

บทที่ 1
บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

การเลี้ยงโคเนื้อเป็นอีกอาชีพทางการเกษตรที่สำคัญอาชีพหนึ่ง ในปัจจุบันมีจำนวนเกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อขยายเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากความต้องการบริโภคเนื้อเพิ่มมากขึ้นปี 2559-2563 การผลิตโคเนื้อของไทยเพิ่มขึ้นในอัตราร้อยละ 11.52 ต่อปี โดยในปี 2563 มีปริมาณการผลิตโคเนื้อ 1.38 ล้านตัว เพิ่มขึ้นจากปี 2562 ร้อยละ 2.22 สำนักงานวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร (2564) คนไทยมีการบริโภคเนื้อโคไม่ต่ำกว่า 2.80 กิโลกรัม/คน/ปี (กรมปศุสัตว์ และสถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์, 2560) และมีแนวโน้มการผลิตเพิ่มสูงขึ้นแต่ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภคทั้งในประเทศ และความต้องการของตลาดต่างประเทศ โดยเฉพาะเนื้อโคคุณภาพสูง (Premium Grade) เนื่องจากคุณภาพของเนื้อโคขุนคุณภาพสูงที่ผลิตในประเทศไทยโดยเฉพาะปริมาณไขมันแทรกในกล้ามเนื้อยังอยู่ในระดับที่ต่ำ จึงทำให้ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค และยังส่งผลเสียถึงเกษตรกรผู้เลี้ยงโคขุนคุณภาพสูงที่จะได้ผลตอบแทนที่ต่ำได้กำไรจากการขุนโคน้อย ถึงขาดทุนเนื่องจากต้นทุนในการผลิตโคเนื้อคุณภาพสูงมีต้นทุนการผลิตสูงเนื่องจากต้องใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงขุนเป็นระยะเวลานาน เกษตรกรยังขาดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการจัดการตลอดไปจนถึงการจัดการด้านอาหาร

การจัดการด้านอาหารถือว่าเป็นปัจจัยหลักและสำคัญต่อการผลิตเนื้อโคขุนคุณภาพสูงโดยตรง การผลิตโคขุนคุณภาพสูงต้องคำนึงถึงการให้อาหารตามความต้องการของโคเพื่อให้สัตว์ได้รับโภชนะหรือสารอาหารที่เหมาะสมต่อการดำรงชีพ การสร้างผลผลิต โดยโคขุนคุณภาพสูงต้องการอาหารข้นพลังงานสูงโดยพลังงานส่วนเกินจะถูกเก็บสะสมในรูปแบบของไขมันและจะถูกเก็บสะสมไว้ในส่วนต่างๆ ของร่างกาย เช่น ไขมันหุ้มซาก (subcutaneous fat) ไขมันมันภายในช่องท้อง (visceral fat) ไขมันระหว่างกล้ามเนื้อ (intermuscular fat) และ ไขมันแทรกในกล้ามเนื้อ (intramuscular fat, marbling) (จตุรสิทธา สัญชัย, 2543) การสะสมไขมันนั้นเป็นผลมาจากกระบวนการ de novo Fatty acid synthesis (De Smet et al., 2004) ซึ่งไขมันที่อยู่บริเวณระหว่างกล้ามเนื้อ และไขมันแทรกในกล้ามเนื้อจะส่งผลที่ดีต่อคุณภาพซากแต่มีการสร้างและสะสมเป็นลำดับสุดท้ายของการสะสมไขมันในร่างกายโค ซึ่งเกษตรกรต้องใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงขุนโคเป็นระยะเวลานานและ ใช้อาหารในการเลี้ยงขุนโคเป็นจำนวนมาก จึงมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวข้องกับการเพิ่มไขมันแทรกในกล้ามเนื้อโดยการจัดการด้านอาหาร ตามการแนะนำของมาตรฐานการให้อาหารสัตว์ของสหรัฐอเมริกา (Nutrient Requirements) แนะนำระดับวิตามินเอที่เหมาะสมต่อโคเนื้ออยู่ที่ระดับ 2,200 IU/kg DM (NRC, 2000) ผลของการศึกษาวิจัยจากหลายแหล่งข้อมูลพบว่าปริมาณระดับของวิตามินเอในอาหารส่งผลต่อระดับของไขมันแทรกในกล้ามเนื้อ ในประเทศญี่ปุ่นนิยมให้

อาหารที่มีระดับของวิตามินเอในระดับที่ต่ำ โดยมีเหตุผลว่าจะทำให้คุณภาพเนื้อสูงขึ้น จากการรายงานของ Torii et al. (1996) พบว่าระดับความเข้มข้นของ Serum retinol มีความสัมพันธ์ในเชิงลบต่อระดับไขมันแทรกในโคขุนระยะสุดท้าย สอดคล้องกับ Gorocica-Buenfil et al. (2007) ที่ได้รายงานว่าระดับของวิตามินเอมีผลต่อระดับของไขมันแทรกโดยวิตามินเอจะไปลดการแสดงออกของ Δ9-desaturase ซึ่งวิตามินเอมีส่วนเกี่ยวข้องกับการยับยั้งกระบวนการทำงานของเอนไซม์ที่มีหน้าที่ควบคุมการเปลี่ยนแปลงเซลล์ไขมัน (Peroxisome Proliferator Activate Receptor; PPAR) และกระบวนการกระตุ้นการสร้างไขมัน (Fatty acid Activate Receptor; FAAR) เรตินอยด์และแคโรทีนอยด์ซึ่งเป็นโปรวิตามินเอโดยทั่วไปจะยับยั้งความแตกต่างของเซลล์อะดิโพไซต์และสามารถลดการเกิดไขมันแทรกในกล้ามเนื้อ (Pyatt and Berger, 2005) นักวิจัยชาวญี่ปุ่นระบุความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างความเข้มข้นของเรตินอลในซีรัมและระดับไขมันแทรกในกล้ามเนื้อเป็นครั้งแรก (Nakai et al., 1992; Oka et al., 1992; Torii et al., 1996) มีการศึกษาวิจัยในหนูพบว่าหนูที่ขาดวิตามินเอเป็นระยะเวลานานมีกระบวนการสร้างเซลล์ไขมัน (adipogenesis) เพิ่มขึ้นโดยเฉพาะเซลล์ไขมันสีน้ำตาล แต่อย่างไรก็ตามในบางรายงานผลว่าการจำกัดระดับวิตามินเอไม่ส่งผลต่อระดับไขมันแทรกในกล้ามเนื้อนั่นอาจมีปัจจัยด้านอื่นเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น อายุของโคส่งผลต่อการสะสมของไขมัน การเข้าถึงโภชนะในอาหารที่มีวิตามินแฝงอยู่ทำให้โคไม่อยู่ในสภาวะขาดวิตามินเอ นอกจากนี้มีการศึกษาวิจัยจากหลายแหล่งข้อมูลพบว่าทอรีนอาจมีบทบาทในการเผาผลาญของ (glutathione; GSH) และป้องกันไขมันต่อการเกิดออกซิเดชั่น (Geoffrey, 1994) ทอรีนเป็นกรดอะมิโนชนิดพิเศษซึ่งมีกลุ่มอะมิโนและกลุ่มซัลโฟเนต การทำงานของทอรีนไปจับตัวกับวิตามินเอและไม่ถูกดูดซึม และถูกขับออกอย่างรวดเร็วมากขึ้น กล่าวอีกนัยหนึ่งคือทำหน้าที่ลดการดูดซึม โดยรวมของวิตามินเอหรือความพร้อมใช้งานภายในเซลล์ของวิตามินเอที่ดูดซึมดังนั้นทอรีนในอาหารอาจมีบทบาทในการลดพิษของวิตามินเอในตับและไตของหนู (Sakamoto et al., 2001)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการพัฒนาสูตรอาหารข้นที่มีการจำกัดระดับวิตามินเอ และมีการเสริมทอรีนในสูตรอาหารเพื่อส่งเสริมการเลี้ยงโคเนื้อคุณภาพสูงของเกษตรกรไทยให้มีระดับไขมันแทรกที่เพิ่มมากขึ้นเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคทดแทนการนำเข้าเนื้อโคจากต่างประเทศและสามารถแข่งขันได้ในตลาดการค้าเสรี อีกทั้งยังช่วยลดต้นทุนในการผลิตโคขุนจากการจัดการด้านอาหาร

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาถึงผลของการเสริมวิตามินเอและการเสริมทอรีนต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต ลักษณะคุณภาพซาก และคุณภาพเนื้อของโคขุนคุณภาพสูง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบข้อมูลผลของการเสริมวิตามินเอร่วมกับการเสริมทอรีนในสูตรอาหารข้นต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตและลักษณะคุณภาพเนื้อของโคขุนคุณภาพสูง

ขอบเขตการวิจัย

ศึกษาถึงผลของการเสริมวิตามินเอและการเสริมทอรีนในอาหารต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต ค่าพารามิเตอร์ในเลือดโค ลักษณะคุณภาพซาก และคุณภาพเนื้อของโคขุนคุณภาพสูง โดยทำการทดลองที่สมานฟาร์มใช้โครุ่นลูกผสมชาร์โลเลส์ (crossbred Charolais) เพศผู้ อายุเฉลี่ย 18 เดือน น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 377± 62 กิโลกรัม จำนวน 12 ตัว โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 กลุ่มๆ ละ 4 ตัว กลุ่มที่ 1 กลุ่มควบคุม (T1) กลุ่มที่ 2 กลุ่มที่ได้รับการเสริม วิตามินเอ 2 กรัม/วัน (T2) กลุ่มที่ 3 กลุ่มที่ได้รับการเสริมวิตามินเอ 2 กรัม/วัน และทอรีน 5 กรัม/วัน (T3) โดยทั้ง 3 กลุ่มการทดลองจะได้รับอาหารข้นพื้นฐาน (Basal diet) สูตรเดียวกัน โดยใช้ระยะเวลาในการทดลองทั้งสิ้นเป็นระยะเวลา 164 วัน

บทที่ 2
ตรวจเอกสาร

สถานการณ์โคขุนของประเทศไทย ณ ปัจจุบัน

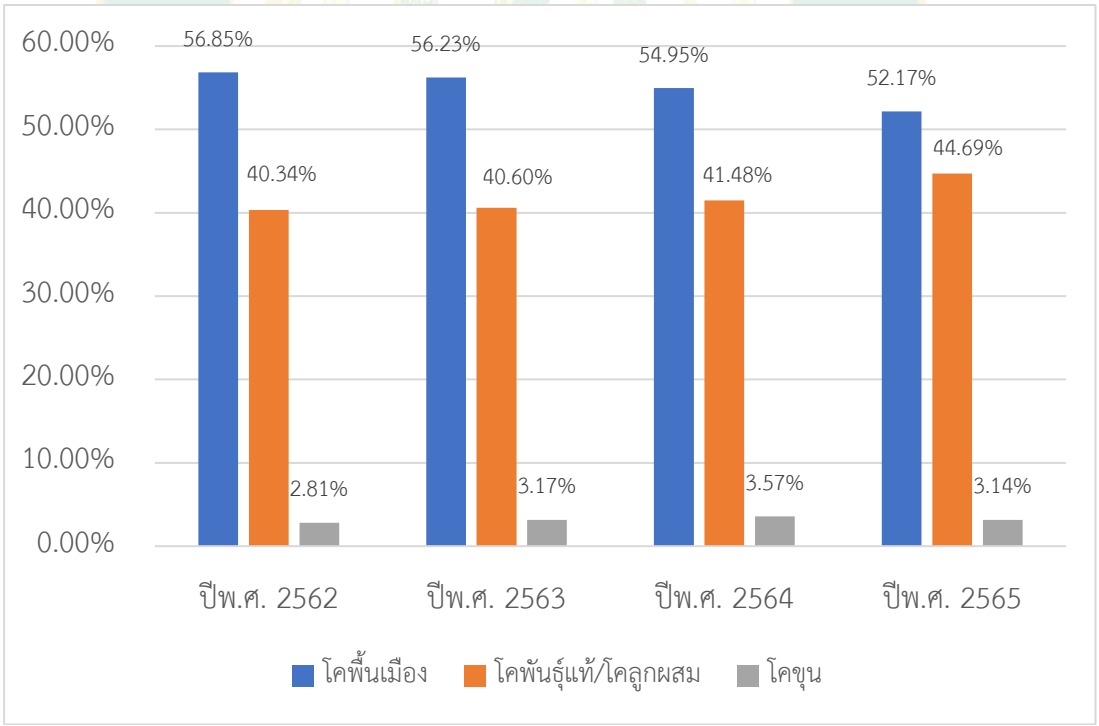
จากข้อมูลกรมปศุสัตว์ตั้งแต่ปี 2562 ถึง ปี 2565 มีเกษตรกรเลี้ยงโคเนื้อ จำนวน 871,508 909,324 1,142,614 และ 1,413,395 รายตามลำดับ มีจำนวนโคเนื้อทั่วประเทศ 5,871,807 6,230,140 7,582,406 และ 9,394,111 ตัวตามลำดับ มีจำนวนโคขุนทั่วประเทศจำนวน 164,764 197,669 270,609 และ 295,239 ตัวตามลำดับ จากข้อมูลตั้งแต่ปี 2562 จะเห็นได้ว่าจำนวนเกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อ และจำนวนโคเนื้อมีแนวโน้มเพิ่มปริมาณขึ้นทุกปี เนื่องจากความต้องการโคเนื้อและเนื้อโคเพิ่มมากขึ้นจากการขยายตัวทางเศรษฐกิจและนักท่องเที่ยวเพิ่มขึ้นประกอบกับที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ของไทยสามารถเป็นศูนย์กลางการค้าโคเนื้อของเอเชีย อีกทั้งประเทศไทยไม่มีข้อขัดแย้งทางการเมืองกับกลุ่มประเทศมุสลิม ทำให้มีโอกาสส่งออกเนื้อโคได้ทั่วโลก รวมถึงผลจากการทำข้อตกลงเขตการค้าเสรีอาเซียน (AFTA) ทำให้ประเทศไทยมีโอกาสส่งโคเนื้อไปจำหน่ายประเทศเพื่อนบ้านและประเทศในเขตอาเซียนเพิ่มมากขึ้น โดยปริมาณจากข้อมูลผลผลิตโคเนื้อที่ผลิตได้ในประเทศประมาณ 1.0 ล้านตัวต่อปี ในขณะที่ความต้องการบริโภค คือ 1.2 ล้านตัวต่อปี โดยทำให้การผลิตโคเนื้อไม่เพียงพอต่อการบริโภคอยู่ 0.2 ล้านตัวต่อปี (กรมปศุสัตว์, 2561) โดยเฉพาะความต้องการบริโภคโคเนื้อคุณภาพสูงในประเทศไทยมีจำนวนและกำลังการผลิตโคเนื้อคุณภาพสูงประมาณปีละ 100,000 ตัว โดยมีเกษตรกรผู้เลี้ยงโคขุนคุณภาพสูงปีละ 10,000 ราย แสดงในตารางที่ 1 มีกำลังการผลิตโคเนื้อคุณภาพสูงไม่เพียงพอต่อความต้องการทั้งในประเทศ และตลาดต่างประเทศ เนื่องจากการผลิตโคเนื้อคุณภาพสูงต้องใช้ระยะเวลาเลี้ยงเป็นเวลานาน ใช้ต้นทุนในการผลิตสูง วัตถุดิบอาหารสัตว์ภายในประเทศมีการปรับขึ้นราคาอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งคุณภาพผลผลิตของโคเนื้อคุณภาพสูงของเกษตรกรไทยยังไม่ได้มาตรฐานมีระดับไขมันแทรกในกล้ามเนื้อในระดับต่ำเกษตรกรได้รับกำไรจากการเลี้ยงโคขุนคุณภาพสูงน้อย ภาพที่ 1 แสดงปริมาณโคขุนคุณภาพสูงกับปริมาณโคเนื้อทั่วประเทศข้อมูลตั้งแต่ปี 2562 ถึง ปี 2565 ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณโคเนื้อของประเทศไทย จะเห็นอัตราการเลี้ยงโคขุนคุณภาพสูงคิดเป็นร้อยละของโคเนื้อทั้งหมดที่เลี้ยงในประเทศไทยมีค่าเท่ากับ 2.81 3.17 3.57 และ 3.14 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ มีอัตราการเลี้ยงโคขุนคุณภาพสูงคิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละของโคเนื้อทั้งหมดมีเพียง 3.17 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ซึ่งถือว่ามีการเลี้ยงโคขุนคุณภาพสูงในประเทศน้อยมากเมื่อเทียบกับจำนวนโคเนื้อทั้งหมดภายในประเทศ และเมื่อเทียบกับความต้องการของผู้บริโภคภายในประเทศ และตลาดต่างประเทศ เช่น สาธารณรัฐประชาชนจีนซึ่งคนจีนบริโภคเนื้อ

โค 9,000,000 ตัน/ปี แต่ผลผลิตภายในประเทศไม่เพียงพอต่อความต้องการคนภายในประเทศจึงต้องการนำเข้าโคมีชีวิตจำนวนมาก

ตารางที่ 1 จำนวนเกษตรกรผู้เลี้ยงโคขุน และจำนวนโคขุนของประเทศไทย

ปี (พ.ศ.)	โคขุน	
	จำนวน (ตัว)	จำนวนเกษตรกร (ราย)
2560	158,222	11,316
2561	159,753	13,634
2562	164,764	14,763
2563	197,669	17,821
2564	270,609	23,296
2565	295,239	24,657

ที่มา: กรมปศุสัตว์ (2565)



ภาพที่ 1 แผนภูมิร้อยละโคเนื้อของประเทศไทยจำแนกตามประเภท

ที่มา: กรมปศุสัตว์ (2565)

เกณฑ์การรับซื้อโคขุนคุณภาพสูง

เนื่องจากเกณฑ์มาตรฐานในการรับซื้อจะพิจารณาจากน้ำหนักมีชีวิต นอกจากนี้ยังมีผลตอบแทนที่เกษตรกรจะได้รับคือระดับเกรดไขมันแทรกในกล้ามเนื้อ ซึ่งการกำหนดระดับปริมาณของไขมันแทรกในซากโคขุนในประเทศไทยได้มีการแบ่งเกณฑ์ราคาในการรับซื้อซากโคเป็น 5 ระดับ ซึ่งไขมันแทรกในกล้ามเนื้อระดับที่ 1 จะมีการสะสมไขมันแทรกในกล้ามเนื้อน้อยที่สุดหรือไม่มีไขมันแทรกเลย และระดับที่มีไขมันแทรกมากที่สุดคือระดับเกรด 5 โดยโคที่มีระดับไขมันแทรกเกรด 1 ราคารับซื้อ 185 บาท/กิโลกรัมซากเย็น ระดับไขมันแทรกเกรด 5 ราคารับซื้อ 235 บาท/กิโลกรัมซากเย็น (สหกรณ์เครือข่ายโคเนื้อ จำกัด, 2563) แต่ค่าเฉลี่ยระดับของไขมันแทรกในกล้ามเนื้อของโคขุนคุณภาพสูงที่เลี้ยงด้วยเกษตรกรไทยยังเลี้ยงโคให้มีไขมันแทรกในระดับที่ต่ำ ซึ่งไขมันแทรกในกล้ามเนื้ออยู่ในช่วงเกรดระดับที่ 1-3 ราคารับซื้อของสหกรณ์โคขุนแต่ละพื้นที่จะรับซื้อในราคาที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับเกณฑ์การรับซื้อของสหกรณ์นั้นๆ ซึ่งส่วนใหญ่จะมีปัจจัยของอายุ สายพันธุ์ น้ำหนักซากเย็น เปอร์เซ็นต์ซากเข้ามาเกี่ยวข้องกับเกณฑ์การรับซื้อโคขุนคุณภาพสูงด้วย ตารางที่ 2 แสดงเกณฑ์ราคารับซื้อโคขุนคุณภาพสูงซึ่งจากข้อมูลราคารับซื้อของสหกรณ์โคขุนพบว่าผลตอบแทนที่เกษตรกรผู้เลี้ยงโคขุนคุณภาพสูงจะได้นั้นถือว่ามีแรงจูงใจในการเลี้ยงสูงเนื่องจากราคาการรับซื้ออยู่ในเกณฑ์ระดับที่สูงกว่าเนื้อตลาดระดับล่างและตลาดระดับกลาง แต่เนื่องจากต้นทุนการผลิตโคขุนคุณภาพสูงนั้นต้องใช้ต้นทุนในการผลิตที่สูงและใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงโคเป็นระยะเวลานานซึ่งสาเหตุดังกล่าวทำให้มีเกษตรกรผู้เลี้ยงโคขุนคุณภาพสูงและจำนวนโคขุนคุณภาพสูงของประเทศไทยต่ำอีกทั้งความต้องการของตลาดภายในประเทศและต่างประเทศมีมากกว่ากำลังการผลิตจึงทำให้จำนวนประกรโคขุนคุณภาพสูงอยู่ในปริมาณที่ต่ำ

ตารางที่ 2 ราคารับซื้อซากโคขุนน้ำหนักซากเย็น ≤ 300 กิโลกรัม

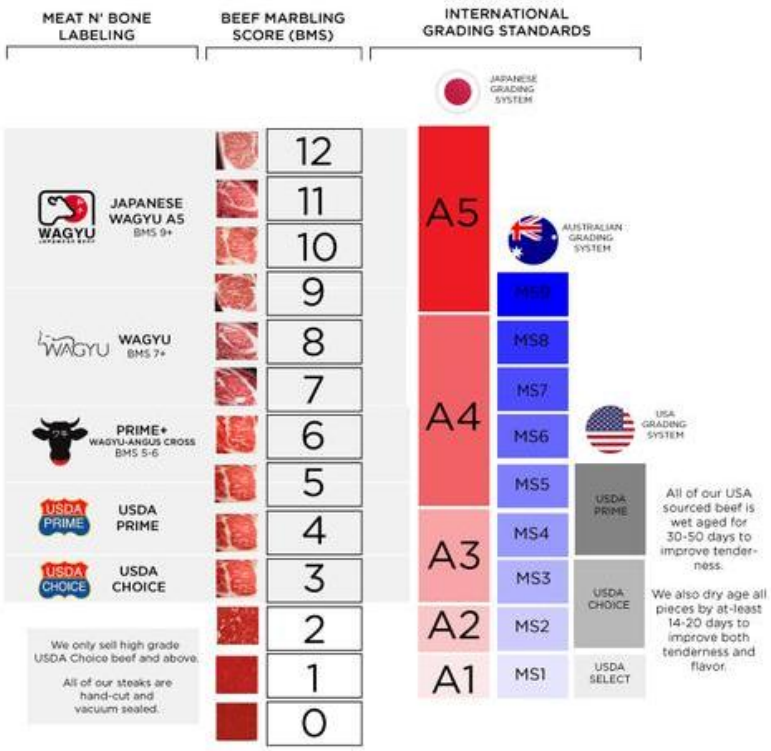
ปริมาณไขมันแทรกในกล้ามเนื้อสันนอก*	**ราคารับซื้อ (บาท/กิโลกรัมซากเย็น)**	
	สหกรณ์[1]	**สหกรณ์[2]**
ระดับไขมันแทรกเกรด 1	175	185
ระดับไขมันแทรกเกรด 2	185	200
ระดับไขมันแทรกเกรด 3	195	212
ระดับไขมันแทรกเกรด 4	200	225
ระดับไขมันแทรกเกรด 5	210	235

*โคเนื้อลูกผสมเลือดยุโรป เช่น ชาร์โลเล่ แองกัส แบรงกัส ฯลฯ

ที่มา: [1]สหกรณ์โคเนื้อมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จำกัด (2558), [2]สหกรณ์เครือข่ายโคเนื้อ จำกัด (2563)

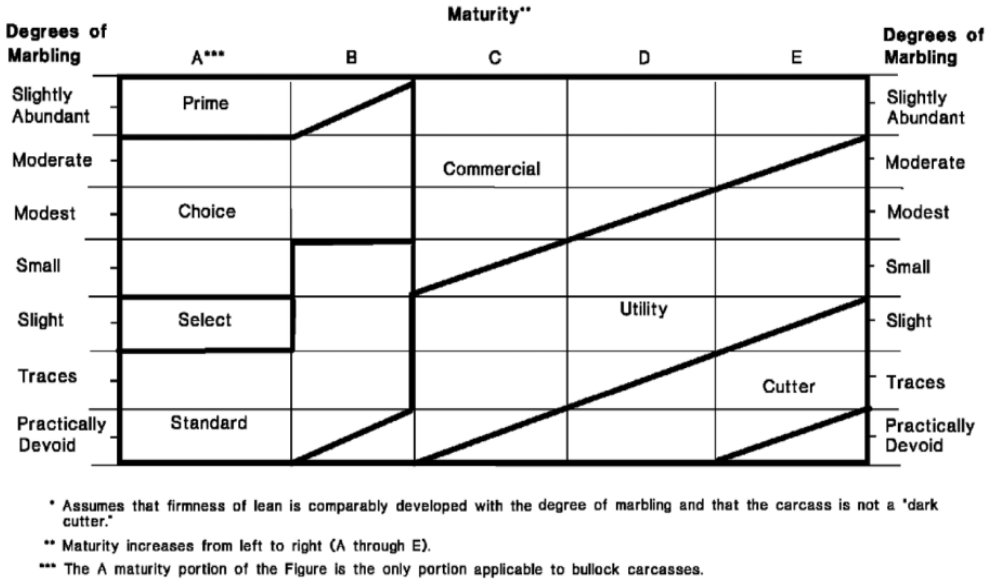
ในต่างประเทศ จะมีการแบ่งเกรดของไขมันแทรกในกล้ามเนื้อที่แตกต่างกันไปในแต่ละประเทศ แต่เกณฑ์ในการแบ่งก็ยังคงมีความคล้ายกันมาก อย่างเช่นการแบ่งเกรดไขมันแทรกในกล้ามเนื้อในสหรัฐอเมริกา การแบ่งเกรดไขมันแทรกในกล้ามเนื้อในประเทศญี่ปุ่น การแบ่งเกรดไขมันแทรกในกล้ามเนื้อในออสเตรเลีย ซึ่งระดับการแบ่งเกรดของแต่ละประเทศจะมีการแบ่งเกรดที่แตกต่างกันออกไปตามกระบวนการวิเคราะห์ระดับไขมันแทรกในกล้ามเนื้อของแต่ละประเทศจะใช้มาตรฐานการวัดไขมันแทรกในเนื้อนั้นเรียกว่า BMS หรือ Beef Marbling Score โดยทั่วไปจะประเมินที่เนื้อสันตำแหน่งระหว่างซี่โครงที่ 12 และ 13 เพื่อวิเคราะห์และประเมินระดับไขมันแทรกในกล้ามเนื้อส่วนริบอาย (ribeye) ซึ่งไขมันแทรกในกล้ามเนื้อจะสามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าโดยระดับเกณฑ์การแบ่งเกรดระดับไขมันแทรกในแต่ละประเทศแสดงในภาพที่ 2

ในประเทศญี่ปุ่นมีจัดการแบ่งเกรดไขมันแทรกในกล้ามเนื้อของโควากิวไว้ 12 ระดับคะแนน ซึ่งตั้งแต่เกรดระดับที่ 9 ถึง ระดับที่ 12 เป็นเกรดที่มีระดับไขมันแทรกสูงที่สุดหรือเรียกอีกอย่างคือระดับ A5 เกรดระดับที่ 5 ถึง ระดับที่ 8 เป็นเกรดที่มีระดับไขมันแทรกปานกลางหรือเรียกอีกอย่างคือระดับ A4 เนื้อที่มีระดับไขมันแทรกในกล้ามเนื้อเพียงเล็กน้อยหรือปราศจากไขมันแทรกในกล้ามเนื้อเลยคือเนื้อที่มีระดับไขมันแทรกในกล้ามเนื้อตั้งแต่ระดับที่ 4 ถึง ระดับที่ 1 คือเนื้อเกรด A3 A2 และ A1 ตามลำดับ ในประเทศออสเตรเลีย (Meat Standard Australia) ได้กำหนดมาตรฐานการวัดระดับไขมันแทรกในกล้ามเนื้อ 10 ระดับ ตั้งแต่ 1 ถึง 9+ ซึ่งเนื้อเกรดพรีเมี่ยมของออสเตรเลียอยู่ที่ระดับ 9 และส่วนของประเทศสหรัฐอเมริกาได้กำหนดมาตรฐานโดยกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (USDA) จะแบ่งตามปริมาณของไขมันที่แทรกอยู่ในกล้ามเนื้อ (degree of marbling) และยังคำนึงถึงปัจจัยอย่างอื่นร่วมด้วยในการแบ่งเกรดเนื้อโคของสหรัฐอเมริกา เช่น อายุของโค (maturity) ซึ่งมีผลต่อความนุ่มและความเหนียวของเนื้อเนื่องจากเส้นใยกล้ามเนื้อ (myofibril) ที่ได้จากสัตว์ที่มีอายุน้อยจะมีขนาดเล็กเมื่อตัดตามขวางกล้ามเนื้อจะมีลักษณะเรียบละเอียด เมื่อสัตว์มีอายุเพิ่มมากขึ้นมัดกล้ามเนื้อจะมีขนาดใหญ่ขึ้น ลักษณะเนื้อหยาบเห็นเป็นเส้นใยชัดเจน และเมื่อสัตว์อายุมากจะมีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันมากขึ้นทำให้เหนียวกว่าเนื้อสัตว์ที่มีอายุน้อย ความแน่นของเนื้อพื้นท้อง (Flank) หรือความแน่นของส่วนผิวหน้าของเนื้อแดง สีของเนื้อสัตว์ และอัตราส่วนของกล้ามเนื้อ กระดูก และไขมันในแต่ละส่วนของซากที่จะตองมีความเหมาะสม โดยกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกาได้จัดการแบ่งเกรดเนื้อโคออกเป็น 7 ระดับ คือ ชั้นดีเยี่ยม (USDA prime) ชั้นดี (USDA choice) ชั้นกลาง (USDA select) ชั้นทั่วไป(USDA standard) ชั้นตลาด (USDA commercial) ชั้นพื้นบ้าน (USDA utility) และชั้นคุณภาพต่ำ (USDA cutter) ภาพที่ 3 แสดงเกณฑ์การแบ่งเกรดของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา แต่เนื้อที่นิยมจำหน่ายในห้างสรรพสินค้าในประเทศสหรัฐอเมริกา และเนื้อนำเข้าจากประเทศสหรัฐอเมริกาที่วางจำหน่ายในต่างประเทศจะเป็นเนื้อที่อยู่ในเกรดระดับ ชั้นดีเยี่ยม ชั้นดี และชั้นกลาง เพียง 3 เกรดระดับนี้เท่านั้น



ภาพที่ 2 เกณฑ์การแบ่งเกรดไขมันแทรกในแต่ละประเทศ

ที่มา: Meat N' Meat N' Bone (2018)



ภาพที่ 3 เกณฑ์การแบ่งเกรดกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (USDA)

ที่มา: Cheng et al. (2015)

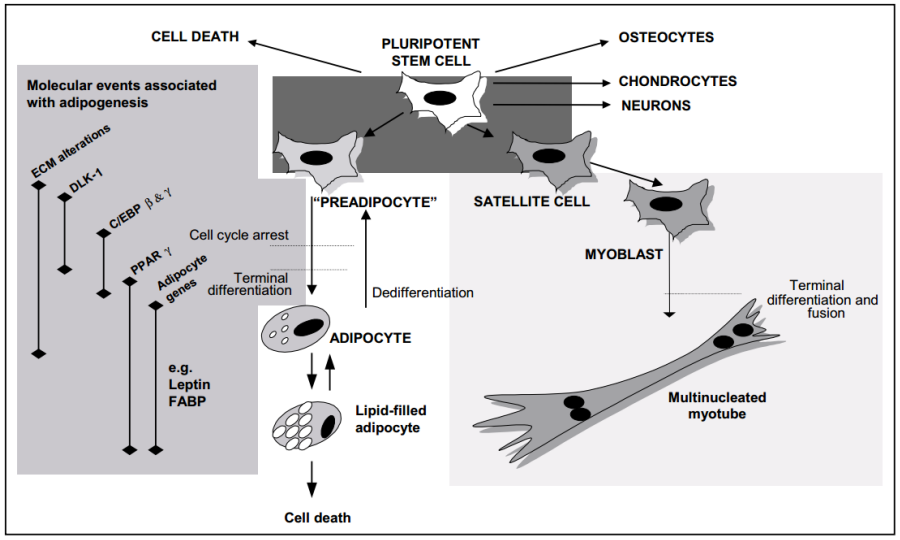
กระบวนการเจริญเติบโตและพัฒนาการของเซลล์ไขมัน

การสร้างไขมันเริ่มที่ระยะตัวอ่อน (embryonic stage) (Cornelius et al., 1994) โดยมีเซลล์กลุ่มหนึ่งแยกตัวแสดงความแตกต่างจากเซลล์ทั่วไป เซลล์ไขมันมีลักษณะสีขาว มีเม็ดไขมันอยู่ภายในเซลล์รูปทรงกลม เมื่อเซลล์ไขมันอยู่ในเซลล์แล้วจะไม่มีการแบ่งเซลล์อีก หลังจากสัตว์คลอดแล้วการสะสมไขมันจะเพิ่มขึ้นโดยการขยายตัวของเซลล์ไขมันและขยายส่วนเก็บไขมันให้ใหญ่ขึ้น จนกลายเป็นเนื้อเยื่อไขมัน (adipose tissue) ต่อไป ไขมันในตัวสัตว์จะเกิดขึ้นเป็นจุด ๆ และขยายตัวออกไปหลายแหล่งทั่วร่างกาย เนื้อเยื่อไขมันจัดเป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue) สามารถเห็นได้ชัดในส่วนต่างๆของร่างกายที่มีการสะสมไขมัน เช่น อยู่ในกล้ามเนื้อ อยู่ใต้ผิวหนัง อยู่ในช่องท้อง ไขมันเป็นแหล่งสะสมของอาหาร เช่น กรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย (essential fatty acid) วิตามิน (vitamin) ที่ละลายได้ในไขมัน ปริมาณไขมันในสัตว์จะขึ้นอยู่กับอาหารที่สัตว์กิน และการจัดการในการดูแลสัตว์ เช่น เนื้อสันโคขุน อาจมีไขมันสูงถึง 40 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ ยังขึ้นอยู่กับว่าเป็นเนื้อส่วนไหนโดยไขมันมีอยู่ในร่างกายประมาณ 5- 40 เปอร์เซ็นต์ ขนาดของไขมันที่อยู่ภายในเซลล์ของไขมันนั้นขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของตัวสัตว์ เมื่อสัตว์อ้วนขนาดของเซลล์ไขมันจะเพิ่มขึ้น สัตว์ที่ผอมขนาดของเซลล์ไขมันจะมีขนาดเล็กลงด้วย ซึ่งปัจจัยที่เกี่ยวเนื่องกับการสร้างไขมันในกล้ามเนื้อจะขึ้นอยู่กับ สายพันธุ์ เพศ อายุ ของสัตว์ ตลอดจนกระบวนการเลี้ยงสัตว์ (Chilliard and Robelin, 1985; Hood, 1982; Vernon, 1986)

การสร้างเซลล์ไขมัน (Adipogenesis) เซลล์ไขมันหรืออดิโพไซต์มีการสร้างจากเซลล์ต้นกำเนิด (precursor cells) หรือที่เรียกว่าพรีอดิโพไซต์ (preadipocyte) โดยอาศัยการกระตุ้น peroxisome proliferator-activated receptor (PPAR) ในรูปของแกมมา (PPARγ) ที่อยู่ภายในนิวเคลียสของพรีอดิโพไซต์ทำให้มีการเจริญของเซลล์และพัฒนาขึ้นเป็นเซลล์ไขมัน (ภาพที่ 4) ซึ่ง PPAR เป็นตัวรับ (receptor) ที่อยู่ในกลุ่มของ steroid/retinoid nuclear receptor superfamily ซึ่งแยกได้เป็น 3 รูป (isoform) ได้แก่แอลฟา (PPARα) บีตา (PPARβ) หรือเดลต้า (PPARα) และรูปแกมมา (PPARγ) โดย PPARγ พบมากที่สุดภายในเซลล์ไขมันมีบทบาทหน้าที่สำคัญในการเปลี่ยนสภาพของเซลล์ไขมัน (differentiation)

การสร้างไขมันในเนื้อเยื่อไขมัน (Adipose tissue lipogenesis) การสร้างไขมันในร่างกายสัตว์เป็นการสังเคราะห์ไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) โดยการรวมกันระหว่างกรดไขมัน (fatty acid) กับกลีเซอรอล-3-ฟอสเฟต (glycerol-3-phosphate) กรดไขมันได้จากสาร Acetyl-CoA หรือได้จากกระบวนการไฮโดรไลซิสของไลโพโปรตีน (lipoprotein) หรือไคโลไมครอน (chylomicron) โดยอาศัยเอนไซม์ไลโพโปรตีนไลเพส (lipoprotein lipase) ส่วน glycerol-3-phosphate ได้จากกระบวนการไกลโคไลซิส (glycolysis) เป็นกระบวนการหลักในการสังเคราะห์ไขมันในร่างกายเรียกว่ากระบวนการ glycerol phosphate pathway การสะสมไขมันในเนื้อเยื่อไขมันจะขึ้นอยู่กับปริมาณ

ของกรดไขมันในกระแสเลือดที่นำเข้าสู่เซลล์ไขมัน และจะเกิดกระบวนการเอสเทอริฟิเคชันอีกครั้ง (reesterification) เป็นกระบวนการสำคัญที่ทำให้มีการสะสมไขมันไว้ในรูปของไตรกรีเซอไรด์ อินซูลินมีบทบาทสำคัญในการชักนำให้เกิดการทำงานของเอนไซม์หลายชนิดที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างไขมัน ได้แก่ fatty acid synthase (FAS), acetyl CoA carboxylase (ACC) และ malic enzyme (ME) (Vázquez-Vela et al., 2008)



ภาพที่ 4 แผนผังแสดงการพัฒนาของเซลล์ adipocytes ที่เจริญเต็มที่จากเซลล์ต้นกำเนิด
ที่มา: Harper and Pethick (2004)

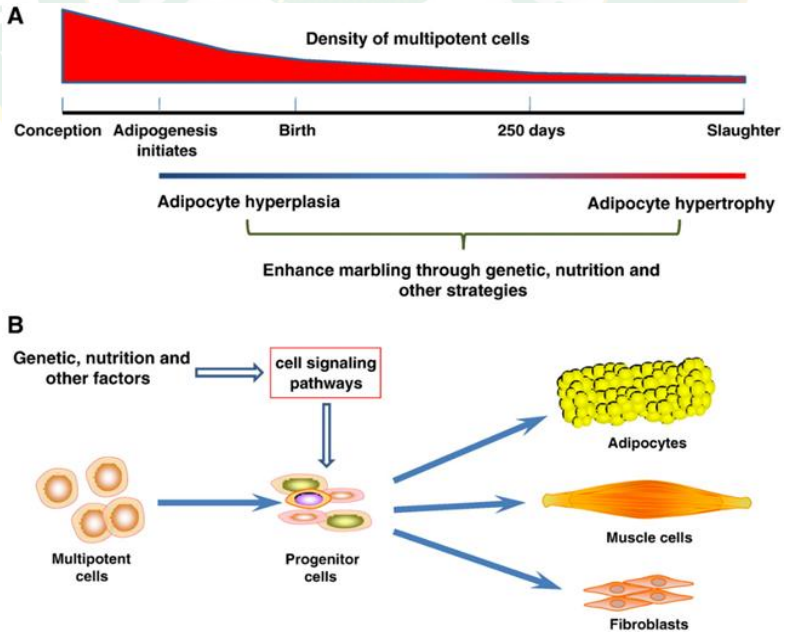
การสร้างและสะสมไขมันแทรกในเนื้อโค

ปริมาณไขมันที่สะสมในซาก (Carcass) และปริมาณไขมันแทรกในกล้ามเนื้อ (Intramuscular fat; IMF) เป็นผลมาจากปัจจัยภายนอก (Phenotypic) และพันธุกรรม (Genetic) (De Smet et al., 2004) การสะสมไขมันนั้นเป็นผลมาจากกระบวนการ *de novo* Fatty acid synthesis และการดูดซึมจากกรดไขมัน (Exogenous fatty acid) นอกจากนี้ปริมาณกรดไขมันที่สะสมในเนื้อยังขึ้นอยู่กับสายพันธุ์และ เพศอีกด้วย (Nürnberg et al., 1998) การสะสมของไขมันในกล้ามเนื้อเกิดจากการพัฒนาของ Myofibers ซึ่งเป็นส่วนของ Perimysial connective tissues โดยการสะสมนั้นเกิดจากกระบวนการสังเคราะห์ Triacylglycerol ซึ่งจะสังเคราะห์ Triacylglycerolpalmiticacid จะรวมตัวกับกรดไขมันอื่น ๆ สะสมอยู่ในรูป Triacylglycerol แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการสะสมไขมันในใต้ผิวหนังเกิดขึ้นมากกว่าการสะสมในไขมันแทรก (Smith and Crouse, 1984) การสะสมไขมันในกล้ามเนื้อนั้นกลูโคสมีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์

กรดไขมัน มากกว่าไขมันใต้ผิวหนังโดยการให้คาร์บอนอะตอมในการสังเคราะห์กรดไขมันดังนั้นไขมัน 2 ตำแหน่งนี้มีความแตกต่างกันทั้งในด้านการสังเคราะห์

เนื้อเยื่อไขมัน (Adipose tissue) จะมีความเกี่ยวข้องกับระบบต่อมไร้ท่อซึ่งจะทำการหลั่งฮอร์โมน Leptin มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโต กระบวนการเมแทบอลิซึมและพฤติกรรม เช่นในสัตว์ที่มีไขมันที่สูงจะมีการกินได้ที่ต่ำเนื่องจาก Leptin ส่งผลต่อความอยากอาหารของสัตว์ องค์ประกอบของเนื้อเยื่อไขมันมีหลายชนิด แต่ที่เป็นองค์ประกอบหลัก คือ Triacylglycerol ที่ถูกเก็บสะสมเอาไว้ในเซลล์ซึ่งจะนำเอาออกมาใช้ในยามที่พลังงานขาดแคลน เช่น การอดอาหารเป็นเวลานานๆ

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 Belta-adrenergic receptors ของ Adipocytes ส่วน Insulin จะทำการไปยับยั้งกระบวนการ Lipolysis หรือกระบวนการสลายไขมัน (Garcia-Escobar et al., 2008) จึงทำให้มีการสร้างเม็ดไขมันจากการเพิ่มจำนวนเซลล์ (Hyperplasia) ของ Fibroblasts ให้เป็น Preadipocytes จากนั้น Preadipocytes จะขยายตัว (Hypertrophy) เป็นในรูปของเม็ดไขมันที่เราสามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าหรือที่เรียกกันว่า Mature adipocytes ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แสดงการขยายตัวของเซลล์ไขมันในกล้ามเนื้อในระยะต่าง ๆ

ที่มา: Dodson et al (2010)

จากภาพที่ 5 แสดงให้เห็นถึงระยะของการเปลี่ยนแปลงเซลล์ไขมันในกล้ามเนื้อโดย Adipocytes ลดลงเมื่อสัตว์มีอายุเพิ่มมากขึ้น ในทางกลับกัน Adipocytes จะขยายตัวเพิ่มมากขึ้นเมื่อสัตว์มีอายุมาก ขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงเวลาขุนพบว่าโคในประเทศไทยจะเริ่มทำการขุนที่ 12 เดือนเป็นอย่างต่ำซึ่งเป็นช่วงที่ Adipocytes มีการเพิ่มจำนวนที่ช้าลงแต่มีการขยาย Adipocytes ที่สูง โดยการขยายตัวของไขมันนั้นมีการควบคุมโดย Stearoyl-CoA desaturase (SCD) (Martin et al., 1999)

องค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อโค

องค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อโคประกอบด้วย Individual fatty acids มากกว่า 20 ชนิด แต่อย่างไรก็ตามกรดไขมันหลักมีเพียง 6 ชนิดที่มีปริมาณรวมกันมากถึง 92 เปอร์เซ็นต์ ของกรดไขมันทั้งหมด ได้แก่ Oleic Palmitic Stearic Linoleic Palmitoleic และ Myristic acids องค์ประกอบของกรดไขมันในไขมันแทรกในกล้ามเนื้อประกอบด้วย 44 เปอร์เซ็นต์ Saturated fatty acids (SFA) 5 เปอร์เซ็นต์ Odd-chain fatty acids (OCFA) 45 เปอร์เซ็นต์ Monounsaturated fatty acids (MUFA) และ 5 เปอร์เซ็นต์ Polyunsaturated fatty acids (PUFA) (Duckett et al., 1993)

องค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อโคสามารถปรับเปลี่ยนได้โดย Time on feed Finishing diet และ Breed type ปัจจัย 3 ประการนี้มีอิทธิพลอย่างมากต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในกล้ามเนื้อโค ทั้งปริมาณของไขมันแทรกและความเข้มข้นของ Monounsaturated fatty acids (MUFA) เพิ่มขึ้นตาม Time on feed กรดไขมันที่ทำให้เนื้อโคนุ่ม คือ Oleic acid (C18:1n-9) ความเข้มข้นของ oleic acid จะมีความสัมพันธ์กับความน่ากินโดยรวมของเนื้อโค (Waldman et al., 1968; Westerling and Hedrick, 1979) ในเนื้อเยื่อสัตว์จะมี Fatty desaturases 3 ชนิด คือ Δ5 Δ6 และ Δ9-Desaturase จากเอนไซม์เหล่านี้มีเพียง Δ9-Desaturase ที่กระทำต่อ Saturated fatty acids (SFA) เพื่อเปลี่ยนไปเป็น Monounsaturated fatty acids (MUFA) ในขณะที่ fatty acid ที่มีมากที่สุดในเนื้อโค คือ Oleic acid ที่ถูกผลิตโดย Δ9-Desaturation ของ Stearic acid เอนไซม์ Δ9-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 5เปอร์เซ็นต์ ของกรดไขมันทั้งหมดในเนื้อโคประกอบด้วย Polyunsaturated fatty acids (PUFA) ซึ่งที่มีมากที่สุด คือ Linoleic acid ทำนองเดียวกันกับกรณีของ MUFA และ *Cis*-9, *trans*-11 CLA กรดไขมัน PUFA ประกอบด้วยพันธะคู่ที่ Δ9 Position

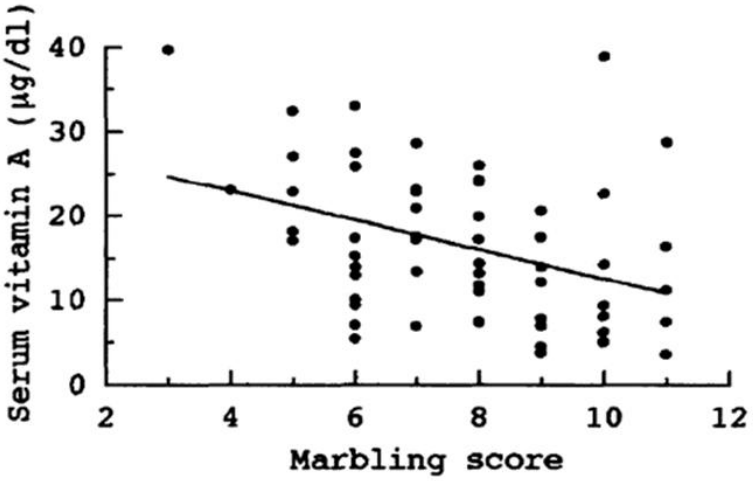
ปกติจะพบ MUFA : SFA ratio สูงสุดในโคเนื้อที่มีอายุมากที่สุด แต่ในปัจจุบันเป็นที่ทราบแล้วว่า ใน Neutral lipid ของกล้ามเนื้อ และ Total adipose tissue lipid ในเนื้อโคจะมีการยกระดับของ MUFA และพร้อมกันนั้นจะมีการลดลงของ SFA เมื่อระยะเวลาของการขุนด้วยธัญพืชนานขึ้น (Smith et al., 2006) ส่วนหนึ่งของการเพิ่มขึ้นของ MUFA ตลอดระยะเวลาของการขุนใน Subcutaneous adipose tissue นั้นเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของ SCD gene expression และพร้อมกับการเกิด Catalytic activity ใน Corn-fed steers การให้โคได้รับหญ้าสดจะลด SCD gene expression อย่างมาก (Chung et al., 2007; Duckett et al., 2009) เป็นผลให้มีการเพิ่มขึ้นของ SFA ในเนื้อโค ส่งผลให้ระดับไขมันแทรกในกล้ามเนื้อลดลง (Lunt et al., 2005)

วิตามินเอ (Vitamin A)

วิตามินเอเป็นวิตามินที่จำเป็นและเป็นวิตามินที่มีประโยชน์ต่อการดำรงชีวิตของสัตว์มีกระดูกสันหลังทุกชนิด ซึ่งสัตว์สามารถรับวิตามินเอจากการกินอาหารโดยวิตามินเอที่สัตว์จะได้รับนั้นมีอยู่ 2 ประเภทคือในรูปแบบวิตามินเอที่พร้อมใช้งาน (proformed Vitamin A) หรือเรียกว่าเรตินอล (retinol) และอีกรูปแบบหนึ่งคือในรูปแบบของโปรวิตามินเอ (provitamin A) หรือเรียกว่าแคโรทีน (carotene) เป็นสารที่เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกเปลี่ยนให้เป็นวิตามินเอ มักพบในพืชทั่วไป เช่น ข้าวโพด แครอท ผักโขม เป็นต้น ความต้องการวิตามินเอของสัตว์นั้นขึ้นอยู่กับปริมาณวิตามินที่สะสมในร่างกายซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญหลายปัจจัย เช่น ปริมาณอาหารและองค์ประกอบในสูตรอาหารที่สัตว์ได้รับ การดูดซึมสารอาหารของลำไส้เล็ก ความสามารถในกระบวนการเมตาบอริซึมเพื่อเปลี่ยนโปรวิตามินเอให้เป็นเรตินอล ซึ่งสัตว์แต่ละประเภทต้องการวิตามินในระดับที่แตกต่างกันระดับวิตามินเอที่โคเนื้อควรจะได้รับอยู่ที่ระดับ 2,200 IU/Kg DM แม่โคต้องการวิตามินเอที่ 2,800 IU / kg DM และ 3,900 IU / kg DM สำหรับโคให้นมและโคพันธุ์ (NRC, 2000)

มีรายงานก่อนหน้า (Daniel et al., 2004) ว่ามีเอ็นไซม์ 3 ชนิดที่เกี่ยวข้องในการสังเคราะห์กรดไขมันได้แก่ Δ6 Δ9 และ Δ12-desaturases แต่มีเพียง Δ9-desaturase ที่ทำหน้าที่เติมพันธะคู่ให้กับกรดไขมันอิ่มตัว (C18:0) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 9 และ 10 นับจากปลายด้านหมู่คาร์บอกซิล โดย Stearoyl-CoA desaturase มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการสะสมไขมันในเซลล์ไขมันการทำงานของวิตามินเอต่อการควบคุมการสร้างเซลล์ไขมัน แสดงให้เห็นว่าเมื่อวิตามินถูก Retinal binding protein เป็นตัวลำเลียงวิตามินเอที่อยู่ในรูปเรตินอลเข้ามาจะถูก Retinal Acid Receptor (RAR) เป็นตัวรับ ซึ่ง RAR มีหน้าที่เป็นตัวรับเรตินอลเข้าสู่เนื้อเยื่อเป้าหมายเมื่อ RAR ทำงานร่วมกันกับ Retinal X Receptor (RXR) โดยปกติการทำงานในเชิงบวกของ Peroxisome Proliferator Activate Receptor (PPAR) และ Fatty acid Activate Receptor (FAAR) ที่เป็นเอนไซม์ควบคุมการเปลี่ยนแปลงเซลล์ไขมัน และตัวกระตุ้นการสร้างกรดไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งทั้ง PPAR และ FAAR คือ

กระบวนการทำงานที่สำคัญต่อระดับไขมันแทรก มีรายงานก่อนหน้าของ Kawada et al. (1996) ว่า เมื่อ RXR ทำงานร่วมกันกับ RAR จะไปยับยั้งกระบวนการทำงานของ PPAR และ FAAR ดังนั้น จากภาพที่ 6 จึงแสดงให้เห็นว่าวิตามินเอมีส่วนเกี่ยวข้องกับการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เป็นตัวควบคุมการเปลี่ยนแปลงเซลล์ไขมัน และการตัวกระตุ้นการสร้างกรดไขมัน



ภาพที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างซีรั่มวิตามินเอ และระดับไขมันแทรกในกล้ามเนื้อ
ที่มา: Oka et al. (1998)

จากภาพที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างซีรั่มวิตามินเอ และระดับไขมันแทรกในกล้ามเนื้อพบว่าการศึกษาระดับซีรั่มวิตามินเอในเลือดมีความสัมพันธ์ในเชิงลบต่อระดับไขมันแทรกในกล้ามเนื้อ จึงสันนิษฐานได้ว่าโคที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมวิตามินเอส่งผลให้ระดับความเข้มข้นของซีรั่มวิตามินเออยู่ในระดับที่สูงส่งผลให้ระดับไขมันแทรกในกล้ามเนื้ออยู่ในระดับที่ต่ำ แสดงดังตารางที่ 3

ในตารางที่ 3 จะแสดงผลของวิตามินเอต่อคุณภาพซากของขุน ในการทดลองก่อนหน้าของ Oka et al. (1998) และ Gorocica-Buenfil et al. (2008) แสดงผลการทดลองที่สอดคล้องกันในการเสริมวิตามินเอทำให้ระดับไขมันแทรกในกล้ามเนื้อลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) จากวิตามินเอเข้าไปยับยั้งกระบวนการทำงานของเอนไซม์ที่ควบคุมการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ไขมัน PAAR และกระบวนการกระตุ้นการสร้างกรดไขมัน FAAR แต่ในการทดลองของ Gorocica-Buenfil et al. (2008) แสดงผลของการเสริมวิตามินเอต่อระดับไขมันแทรกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยยะสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ซึ่งอาจเกิดจากโคที่นำมาทำการทดลองมีอายุมากโดยคนเหล่านี้จะมีกระบวนการสร้างเซลล์ไขมันในกล้ามเนื้อที่ลดลงแตกต่างจากโคที่มีอายุน้อย

ตารางที่ 3 แสดงผลของ Vitamin A ต่อคุณภาพซากในโคขุน

Treatment	Level (IU/Kg)	ADG (Kg/d)	Back fat (cm)	LM area (cm^2)	MS*	References
Low VitA	0	1.70	1.35	80.5	556[a]	Gorocica-Buenfil et
High VitA	2,200	1.72	1.37	80.6	525[b]	al. (2007)
Low VitA	0	0.59	1.83[a]	-	9.8***	Oka et al. (1998)
High VitA	**	0.60	2.28[b]	-	7.4[b]	
Low VitA	0	1.92	1.48	79.3	574	Gorocica-Buenfil et
High VitA	2,200	2.04	1.40	81.1	568	al. (2008)

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

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

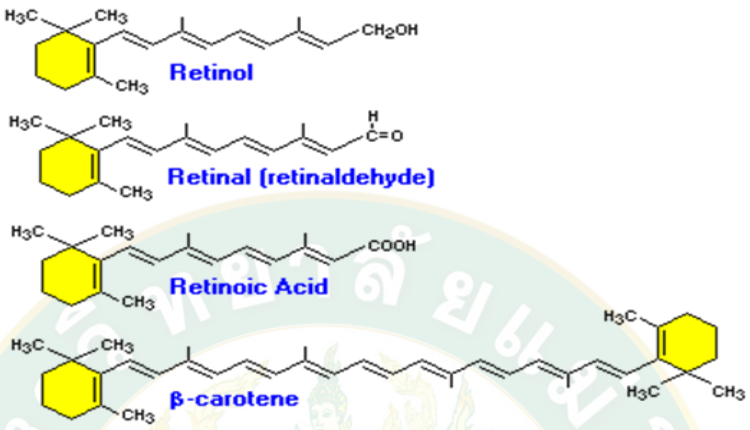
***represent 12 grades in Japanese wagyu

ในประเทศญี่ปุ่นนิยมให้อาหารที่มีระดับของวิตามินเอในระดับที่ต่ำ โดยให้เหตุผลว่าจะทำให้คุณภาพซากสูงขึ้น ซึ่งเมื่อนำไปอธิบายทางวิทยาศาสตร์ Torii et al. (1996) และ Adachi et al. (1999) ระดับความเข้มข้นของซีรั่มวิตามินเอมีความสัมพันธ์ในเชิงลบต่อระดับไขมันแทรกในเนื้อโคขุนระยะสุดท้าย ($P<0.001$) เช่นเดียวกับ Gorocica-Buenfil et al. (2007) รายงานว่าระดับของวิตามินเอมีผลต่อระดับของไขมันแทรกโดยวิตามินเอจะไปลดการแสดงออกของ Δ9-desaturase

โครงสร้างและหน่วยย่อยของวิตามินเอ

วิตามินเอมีโครงสร้างเป็น long chain primary alcohol มีพันธะคู่ 5 คู่และเชื่อมต่อกับวงแหวน β-ionone ที่มีรูปแบบของไอโซเมอร์ (isomeric from) ได้หลายรูปแบบ (ภาพที่ 7) มีลักษณะเป็นผลึกสีเหลืองอ่อน ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์และไขมัน ในธรรมชาติส่วนใหญ่อยู่ในรูปทรานซ์เรตินอล (trans-retinol) สารที่มีฤทธิ์เป็นวิตามินเอ (ตารางที่ 4) แบ่งได้เป็น 2 กลุ่มคือ เรตินอยด์ และโปรวิตามินเอ ได้แก่ พวกแคโรทีนอยด์ (carotenoids) สมทรง (2543) โดยวิตามินเอจะถูกสะสมไว้ที่ตับในรูปของเรตินอล (Frey et al., 1947) มีการรายงานของ Food and Agriculture Organization (FAO) และ World Health Organization (WHO), Food Nutrition Board of the United States, (1980) เกี่ยวกับฤทธิ์การทำงานของวิตามินเอที่ใช้หน่วย International Units (IU) เป็นหน่วยของวิตามินเอที่ไม่ได้นับวิตามินเอที่อยู่ในรูปของโปรวิตามินเอที่ร่างกายได้รับเข้าไป จึงได้นิยามหน่วยของวิตามินเอที่ร่างกายต้องการขึ้นใหม่เป็น retinol

equivalent (RE) ซึ่งหมายถึงปริมาณเรตินอลโดยน้ำหนัก และแคโรทีนอยด์ที่ถูกเปลี่ยนไปเป็นเรตินอลในร่างกาย retinol equivalent (RE) ซึ่งหมายถึงปริมาณเรตินอลโดยน้ำหนัก และแคโรทีนอยด์ที่ถูกเปลี่ยนไปเป็นเรตินอลในร่างกาย



ภาพที่ 7 โครงสร้างทางเคมีของสารที่มีฤทธิ์เป็นวิตามินเอ

ที่มา: WHO (2009)

ตารางที่ 4 The active substance of vitamin A

Recommended term	Synonyms
Retinol	Vitamin A1 alcohol, axerophthol
Retinal, retinaldehyde	Vitamin A1 aldehyde, retinene
Retinoic acid	Vitamin A1 acid
3-Dehydroretinol	Vitamin A2
11-cis-Retinaldehyde	11-cis or neo b vitamin A aldehyde
5,6-Eproxyretinol	5,6-Eproxy Vitamin A alcohol
Anhydroretinol	Anhydro Vitamin A
4-Ketoretinol	4-Keto Vitamin A alcohol
Retinoyl beta-glucuronide	Vitamin A1 acid beta-glucuronide
Retinyl phosphate	Vitamin A phosphate
Retinyl palmitate	Vitamin A palmitate
Retinyl acetate	Vitamin A acetate

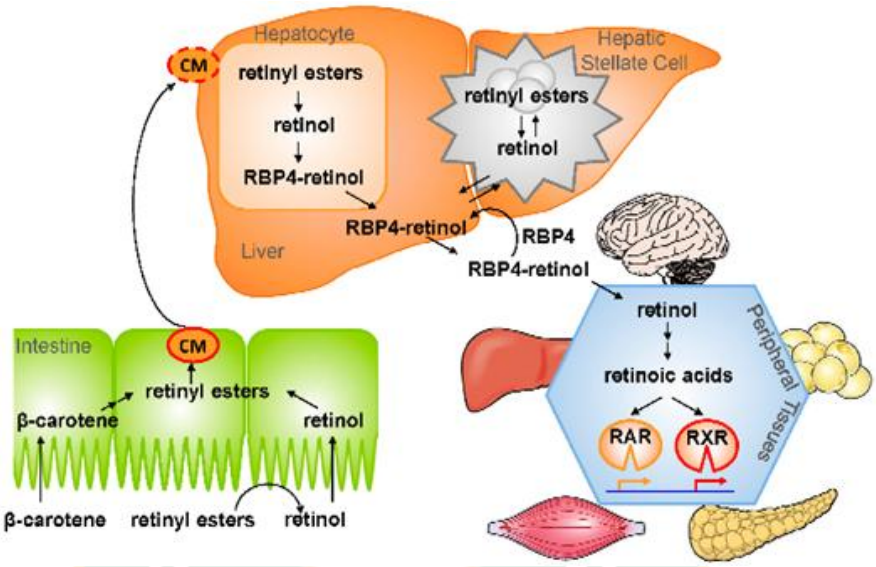
Source: Machin (1991)

รูปแบบและหน้าที่ของวิตามินเอ

วิตามินเอที่ออกฤทธิ์ทางสรีรวิทยามากที่สุดคือ เรติโนอิก แอซิตและเรตินอลโดยกรดเรติโน-อิกทำปฏิกิริยากับตัวรับเรตินอยด์ในนิวเคลียส (RAR และ RXR) เพื่อควบคุมการแสดงออกของยีน ด้วยกลไกนี้จำเป็นต้องใช้วิตามินเอสำหรับการสร้างความแตกต่างของเซลล์การพัฒนาและการทำงาน ของระบบภูมิคุ้มกันให้ทำงานตามปกติ (Chambon, 1996) เรตินอลและเรตินอยด์สามารถ เปลี่ยนเป็นกรดเรติโนอิกได้ ร่างกายสามารถนำกรดเรติโนอิกไปใช้แทนวิตามินเอได้ในกระบวนการ ต่างๆ ของร่างกายแต่ในกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการมองเห็นและการทำงานของระบบสืบพันธุ์ ร่างกายไม่สามารถใช้กรดเรติโนอิกแทนวิตามินเอในกระบวนการนั้นๆ ได้ (Wellik et al., 1997)

การดูดซึมและการเมตาบอลิซึมวิตามินเอ

การดูดซึมเรตินอยด์ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของเรตินิลเอสเทอร์ของกรดไขมันสายยาวเรติลเอส เทอร์จะถูกย่อยสลายด้วยไลเพส (lipase) และเอสเทอเรส (esterase) จากตับอ่อนที่บริเวณลำไส้เล็ก การย่อยและการดูดซึมเรตินอลต้องอาศัยน้ำดี และน้ำย่อยจากตับอ่อน แต่ในปัจจุบันได้มีการศึกษา พบว่าการย่อยสลายเรตินิลเอสเทอร์ไม่จำเป็นต้องอาศัยน้ำย่อยที่หลังจากตับอ่อน แต่ใช้เอนไซม์ที่มีอยู่ บน brush border membrane (BBM) โดยเอนไซม์ไลเพสจากตับอ่อนจะไปย่อยเรตินิลเอสเทอร์ที่มี ไขมันโซ่สั้นๆ ส่วนเอนไซม์ที่อยู่ภายใน BBM ทำหน้าที่ย่อยเรตินิลเอสเทอร์ที่มีกรดไขมันโซ่ยาวเรตินิล เอสเทอร์ในอาหารที่ร่างกายได้รับเข้าไปจะถูกเปลี่ยนไปเป็นเรตินอลในลำไส้ และจะถูกดูดซึมเข้าสู่ ระบบเลือดผ่านเส้นเลือดฝอยบริเวณลำไส้เล็ก ส่วนแคโรทีนอยด์จะถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายพร้อมกับ อาหารที่เป็นไขมัน และเปลี่ยนไปเป็นเรตินอลที่ผนังลำไส้ไปรวมตัวกับกรดปาลมิติกเป็นเอสเทอร์ จากนั้นจึงรวมตัวกับไคไมครอน (chylomicron) ซึ่งเป็นเม็ดไขมันในเลือด การทำงานของวิตามินเอ ส่วนใหญ่ในร่างกายจะมาจากแคโรทีนอยด์เป็นสารตั้งต้น เมื่อเรตินิลเอสเทอร์เข้ามาสู่ตับจะถูกเก็บไว้ ในส่วนของเฮ็พพาโตไซส์ (hepatocytes) ซึ่งเป็นเซลล์พาเร็นไคมา (parenchyma cell) ในตับ และ ถูกสลายโดยไลโซไซม์ (lysozyme) จากนั้นเรตินิลเอสเทอร์ไฮโดรเลส (retinyl ester hydrolase) ได้เรตินอลอิสระผ่านจากเซลล์พาเรนไคมาเข้าสู่เซลล์สเตลเลท เซลล์ (stellate cell) ภายในเซลล์นี้ เรตินอลจะถูกเปลี่ยนเป็นเอสเทอร์อีกครั้งโดยกลไกคล้ายๆ กับการเกิดภายในไมโครโซมอล (microsomal) และเอนไซม์เรตินอลเอซิลทรานส์เฟอเรส retinol acyltransferase (ARAT) ของ ลำไส้เล็กในการเปลี่ยนเป็นรูปของเอสเทอร์ ร่างกายจะเก็บสำรองวิตามินเอไว้ในร่างกายประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์จะอยู่ในรูปเรตินิลเอสเทอร์ซึ่งจะเก็บไว้ในตับอีก 10 เปอร์เซ็นต์จะเก็บไว้ในอวัยวะอื่นๆ ภายในร่างกาย และอยู่ในกระแสเลือด เมื่อร่างกายต้องการใช้วิตามินเอจะถูกปล่อยออกมาจากตับใน รูปของเรตินอล การเคลื่อนย้ายและขนส่งวิตามินเอจากแหล่งสำรองคือตับจะต้องมีการรวมตัวกับ โปรตีนซึ่งเรียกว่า retinol-binding protein (RBP) (Machin, 1991; สมทรง เลขะกุล, 2543)



ภาพที่ 8 กระบวนการเมตาโบลิซึมของวิตามินเอ

ที่มา: Saeed et al. (2017)

การขาดวิตามินเอ และความต้องการวิตามินเอในสัตว์แต่ละประเภท

การขาดวิตามินเอส่งผลให้เกิดความแตกต่างของเยื่อบุผิวตาผิดปกติ ความผิดปกติของเซลล์เกิดอาการเบื่ออาหาร และการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันถูกทำลาย เกิดอาการตาบอดสีในช่วงกลางคืน เกิดความผิดปกติของการเจริญเติบโต ระบบสืบพันธุ์ และกระบวนการอื่นๆ ในร่างกาย (Ross and Harrison, 2007) ซึ่งปริมาณความต้องการ และระดับของวิตามินเอสูงสุดที่ไม่ส่งผลเสียต่อสัตว์แสดงดังตารางที่ 5 จากตารางจะเห็นได้ว่าสัตว์ต่างชนิดต้องการวิตามินเอเพื่อกระบวนการทำงานต่างๆ ของร่างกายต่างกันทั้งระดับความต้องการและระดับที่รับได้ถ้าสัตว์ได้รับวิตามินเอในระดับที่สูงกว่าความต้องการของร่างกายจะเกิดความเป็นพิษขึ้นแก่ตัวสัตว์

ความเป็นพิษของวิตามินเอ

ความเป็นพิษเฉียบพลันของวิตามินเอของมนุษย์ และสัตว์จะส่งผลทำให้มีอาการวิงเวียน เบื่ออาหาร คลื่นไส้อาเจียน ผิวหนังอักเสบ กล้ามเนื้ออ่อนแรง ชัก เกิดอัมพาตและอาจเสียชีวิตได้ (NRC, 1987) ความเป็นพิษของวิตามินเอแบบเรื้อรังจะผลต่อความผิดปกติของเซลล์กระดูกทำให้เกิดกระดูกพรุนและหักได้ การขาดวิตามินเอและความเป็นพิษของวิตามินเอส่งผลต่อการพัฒนาของตัวอ่อนในครรภ์ สัตว์เคี้ยวเอื้องมีความทนทานต่อความเป็นพิษของวิตามินเอสูงกว่าสัตว์กระเพาะเดี่ยวที่กินพืชเป็นอาหารเนื่องจากจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถทำลายวิตามินในอาหารได้มากถึง 40-70 เปอร์เซ็นต์ สัตว์ที่กินเนื้อเป็นอาหาร เช่น แมวพบว่าสามารถรับวิตามินเอได้ใน

ระดับสูงกว่าสัตว์เคี้ยวเอื้องและสัตว์ที่กินพืชเป็นอาหารเนื่องจากแมวมีอัตราการเผาผลาญ ขับวิตามินเอออกจากร่างกาย และรักษาระดับวิตามินเอหมุนเวียนในเลือดเมื่อแมวได้รับวิตามินเอในระดับสูง วิตามินจะถูกขับถ่ายออกมากับปัสสาวะ ซึ่งระดับวิตามินเอในระดับที่สัตว์แต่ละชนิดรับได้และไม่เกิดการเป็นพิษแสดงดังตารางที่ 5 วิตามินส่วนเกินจะถูกสะสมไว้ที่ตับ

ตารางที่ 5 Estimated vitamin A requirements and safe upper limits in RE[1]/kg dry matter in animal species

Species	Physiological state	Requirement (IU)	Upper limit (IU)	References
Cow, beef	Feedlot	660	19800	NRC (2000)
	Pregnant heifers and cows	840	19800	
	Lactating cows and bulls	1170	19800	
Cow, dairy	Growth	1014	19800	NRC (2001)
	Lactating cows and bulls	840	19800	
Goat	Maintenance	1500	13500	NRC (2007)
	Lactation	1750	13500	
Horse	Maintenance	549	4800	NRC (1989)
	Growth, working	450-690	4800	
	Pregnancy and lactation	825-1110	4800	
Human	Adult male	1200	6000	Furr et al. (2005); NRC (1987)
Pig	Growing, 5–10 kg	660	6000	NRC (1998)
	Growing, 20–120 kg	390	6000	
	Pregnant swine and boars	1200	12000	
	Lactating	600	12000	
Rabbit	Growth, maintenance	174	4800	NRC (1987)
	Gestation	497	4800	
Sheep	Replacement ewes, 60 kg	470	13500	NRC (1987)
	Pregnancy, 70 kg	992	13500	
	Lactation, 70 kg	714	13500	

[1]retinol equivalent (RE) = 1 μg retinol.

ที่มา: Green and Fascetti (2016)

เบต้าแคโรทีน(β-Carotene) และแคโรทีนอยด์อื่นๆ

เบต้าแคโรทีนอยด์เป็นแคโรทีนอยด์ชนิดหนึ่งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติที่มีมากกว่า 600 ชนิดแคโรทีนอยด์ เป็นอนุพันธ์ของไขมัน ไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ในตัวทำละลายไขมัน เช่น อะซิโตน (acetone) แอลกอฮอล์ (alcohol) ไดเอทิลอีเทอร์ (dietyl ether) และ คลอโรฟอร์ม (chloroform) เป็นต้น (Fox and Vevers, 1960) มีรายงานเพิ่มว่าแคโรทีนอยด์ชนิดที่เป็นแคโรทีน จะละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น ปิโตรเลียม อีเทอร์ (petroleum ether) และ เฮกเซน (hexane) ขณะที่ชนิดที่เป็นแซนโทฟิลล์ จะละลายได้ดีในตัวทำาละลายที่มีขั้ว เช่น แอลกอฮอล์ แคโรทีนอยด์มีความคงทนต่อความเป็นกรดและด่าง แต่ไวต่อแสงแดด และความร้อน ซึ่งจะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นโดยเฉพาะสภาวะที่มีโลหะเปอร์ออกไซด์ปนอยู่ (Simpson et al., 1989)

ชนิดและโครงสร้างของแคโรทีนอยด์

โครงสร้างโมเลกุลของแคโรทีนอยด์ประกอบด้วยหน่วยไอโซพรีน (isoprene unit) จำนวน 8 หน่วย ที่เกิดพันธะโควาเลนต์กัน และทำให้เกิดคอนจูเกชันของพันธะคู่เป็นสายยาว (extensive conjugated double bond) ซึ่งระบบคอนจูเกชันนี่เองที่ทำให้แคโรทีนอยด์สามารถดูดกลืนพลังงานแสงอัลตราไวโอเลต และแสงสีขาว และทำให้แคโรทีนอยด์เป็นสารที่มีสีและมีคุณสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโมเลกุลของแคโรทีนอยด์อาจเป็นเส้นตรง ดังที่พบในไลโคพีน (lycopene) หรือเป็นวงแหวน (ring) ที่ปลายโซ่ของโมเลกุล ดังที่พบในเบตาแคโรทีน (beta-carotene) สามารถจำแนกแคโรทีนอยด์เป็น 2 กลุ่ม คือ hydrogenated และ oxygenated carotenoid derivatives โดยกลุ่ม hydrogenated carotenoid derivatives หรือกลุ่มแคโรทีน (carotene) เป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยสายไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) ทำาให้เป็นสารไม่มีขั้วและละลายได้ในไขมัน ตัวอย่างแคโรทีนอยด์ในกลุ่มนี้ ได้แก่ เบตาแคโรทีน และ ไลโคพีน เป็นต้น ส่วนกลุ่มที่ 2 คือกลุ่ม oxygenated carotenoid derivatives หรือกลุ่มแซนโทฟิล (xanthophyll) นั้นมีอะตอมของออกซิเจนอยู่ในโมเลกุล จึงมีขั้วมากกว่าและละลายในไขมันได้น้อยกว่าแคโรทีนอยด์กลุ่มแรก ตัวอย่างแคโรทีนอยด์ในกลุ่มนี้ได้แก่ ลูทีน (lutein) ซีแซนทิน (zeaxanthin) และแอสตาแซนทิน

แคโรทีนอยด์เป็นรงควัตถุ หรือสารสี (pigment) ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ พบได้ในพืช เช่น ข้าวโพด ฟักทอง ใบกระถิน กลีบดาวเรือง พริก และสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว หญ้าขน มันฝรั่ง และพริก (ขรรค์ชัย, 2524) และในสัตว์ทะเล เช่น กุ้ง หอยเม่น ปลิงทะเล และปลาดาว (Bauernfeind, 1981)

Simpson et al. (1989) ศึกษาพบว่าแคโรทีนอยด์แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ตามสูตรโครงสร้างทางเคมีโดยกลุ่มแรกคือ แคโรทีน ซึ่งมีสูตรโครงสร้างเป็นไฮโดรคาร์บอน มีชื่อเรียกนำหน้าด้วยตัวอักษรกรีก เช่น เอปสิลอน เบตา และแคปปา ซึ่งจะใช้อักษรใดขึ้นอยู่กับเอนด์-กรุ๊ป (end-group) ของแต่ละ

โครงสร้าง ตามหลังด้วยคำว่า แคโรทีน อีกกลุ่มคือแคโรทีนที่มีออกซิเจนมาเกาะ (oxygenated hydrocarbon) ที่วงแหวน เรียกว่า แซนโทฟิลล์ (xanthophyll) แคโรทีนอยด์ ประกอบไปด้วยธาตุไฮโดรเจน และคาร์บอน ประกอบเป็นหน่วยโครงสร้างที่เรียกว่า ไอโซปรีน (isoprene, C_5H_8) โดยอะตอมคาร์บอนเชื่อมต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยว และปลายด้านหนึ่ง หรือทั้งสองด้านมีคาร์บอนต่อกันเป็นวงแหวน (Fox and Vevers, 1960) เมื่อไอโซปรีนเชื่อมต่อกันเป็นไฮโดรคาร์บอนสายยาว (สูตรโครงสร้าง ,$C_{40}H_{56}$) ซึ่งเป็นโครงสร้างหลักของแคโรทีนโดยการเชื่อมต่อหน่วยโครงสร้างไอโซปรีน แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ ลักษณะแรกมีการเชื่อมต่อแบบหัวต่อหาง เกิดขึ้นบริเวณปลายทั้งสองด้านของโมเลกุล ส่วนบริเวณภายในโมเลกุลจะมีการเชื่อมต่อกันอีกลักษณะ คือแบบหางต่อหางจึงทำให้โมเลกุลมีลักษณะสมมาตรโดยที่บริเวณกึ่งกลางของสายโมเลกุลมีหมู่เมทิลมาเกาะ (ตำแหน่ง C19 และ C20) (Palozza and Krinsky, 1992)

การย่อยและการดูดซึมแคโรทีนอยด์

แคโรทีนอยด์ชนิดเบตาแคโรทีน ประกอบไปด้วยโมเลกุลของเรตินอล (retinol) 2 โมเลกุล ซึ่งเมื่ออาหารตกลงมาถึงบริเวณลำไส้เล็กส่วนต้น พบว่าเอนไซม์เอสเทอร์ ไฮโดรเลส (ester hydrolase) จากตับอ่อนจะทำการย่อยพันธะเอสเทอร์ของเรตินิลเอสเทอร์ได้เป็นเรตินอลและกรดไขมันอิสระ หลังจากนั้นเรตินอลจะเข้าไปอยู่ในกรดไขมันเล็กๆ หรือ ไมเซลล์ (micell) เพื่อเข้าสู่กระบวนการดูดซึม และเข้าสู่เซลล์ดูดซึมของลำไส้เล็กเรตินอลจะแพร่กระจายเข้าสู่ไซโทพลาซึม (cytoplasm) ของเซลล์ดูดซึมเรตินอลในเซลล์ดูดซึม จะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของเรตินิล เอสเทอร์อีกครั้ง โดยการทำงานของเอนไซม์เอซิล โคเอ เรตินอล เอซิลทรานเฟอเรส (acyl-coA-retinol acyltransferase) โดยที่เรตินอลจะรวมตัวกับกรดไขมันโดยเฉพาะกับกรดพาลมิติค (palmitic acid) และ กรดสเตียริก (stearic acid) ได้เป็นเรตินิล เอสเทอร์ หรือเรตินอลจะรวมตัวกับเอซิลโคเอนไซม์เอ (acyl coenzyme A หรือ acyl co-A) ได้เป็นเรตินิล เอสเทอร์ก็ได้ จากนั้นเรตินิลเอสเทอร์ จะเข้าไปอยู่ในไคโลมัยครอน (chylomicron) และเคลื่อนเข้ากระแสโลหิตต่อไปถ้าหากเบตาแคโรทีนแพร่เข้าสู่ไซโทพลาสซึมของเซลล์ดูดซึมโดยตรง จะถูกย่อยโดยเอนไซม์เบตา-แคโรทีน-15,15-ไดออกซิจีเนส (β-carotene-15,15-dihydroxygenase) ได้เป็นเรตินัล (retinal) 2 โมเลกุล จากนั้นเรตินัลจะถูกเปลี่ยนเป็นเรตินอล โดยเอนไซม์รีดักเตส (reductase) สุดท้ายจะได้เรตินิลเอสเทอร์และเข้าสู่คัยโลมัยครอนโดยเรตินิลเอสเทอร์จะอยู่ในบริเวณแกน (lipid core) ของคัยโลมัยครอน ซึ่งคัยโลมัยครอนจะถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสโลหิตและถูกย่อยด้วยเอนไซม์ไลโปโปรตีนไลเปส (lipo protein lipase) ได้เป็นกากคัยโลมัยครอน (chylomicron remnants) ซึ่งกากคัยโลมัยครอนส่วนใหญ่จะเคลื่อนเข้าสู่ตับ เนื่องจากเซลล์ตับมีตัวรับกากคัยโลมัยครอนในขณะที่กากคัยโลมัยครอนเคลื่อนผ่านผนังเซลล์ตับพบว่าเรตินิล เอสเทอร์ จะถูกย่อยโดยเอนไซม์ เรตินิล เอสเทอร์ ไฮโดรเลส ที่อยู่บริเวณ

ผนังเซลล์ตับได้เป็น เรตินอล จากนั้นเรตินอล จะเคลื่อนที่เข้าไปยังบริเวณ เอนโดพลาสมิค เรติคิวลัม (endoplasmic reticulum) เพื่อจะจับกับตัวรับเรตินอล(retinol binding protein, RBP) ได้เป็น retinol-RBPcomplex และหลังจากนั้นสารประกอบนี้จะถูกเคลื่อนเข้าสู่ กอลไจ (golgi) เพื่อการหลั่งออกนอกเซลล์ตับต่อไป

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซึมแคโรทีนอยด์

ความร้อนมีผลทำให้เกิดการสูญเสียแคโรทีนอยด์ แต่ก็ทำให้แคโรทีนอยด์ออกมาจากเนื้อเยื่อของอาหารได้มากขึ้นดังนั้น ร่างกายจะดูดซึมแคโรทีนอยด์จากอาหารที่ผ่านการปรุงให้สุกแล้วได้มากกว่าอาหารที่ยังไม่ปรุงให้สุก และความสามารถในการดูดซึมของแอลฟาแคโรทีนมีมากกว่าเบตาแคโรทีนจากอาหารแหล่งเดียวกัน เบตาแคโรทีนปริมาณสูงลดการดูดซึมของแคโรทีนอยด์ชนิดอื่น เพราะแคโรทีนอยด์แต่ละชนิดมีกลไกในการดูดซึมคล้ายคลึงกัน โดยงานวิจัยพบว่าการดูดซึมของลูทีจะลดลงถ้ารับประทานร่วมกับเบตาแคโรทีนบริสุทธิ์ (Micozzi et al., 1992)

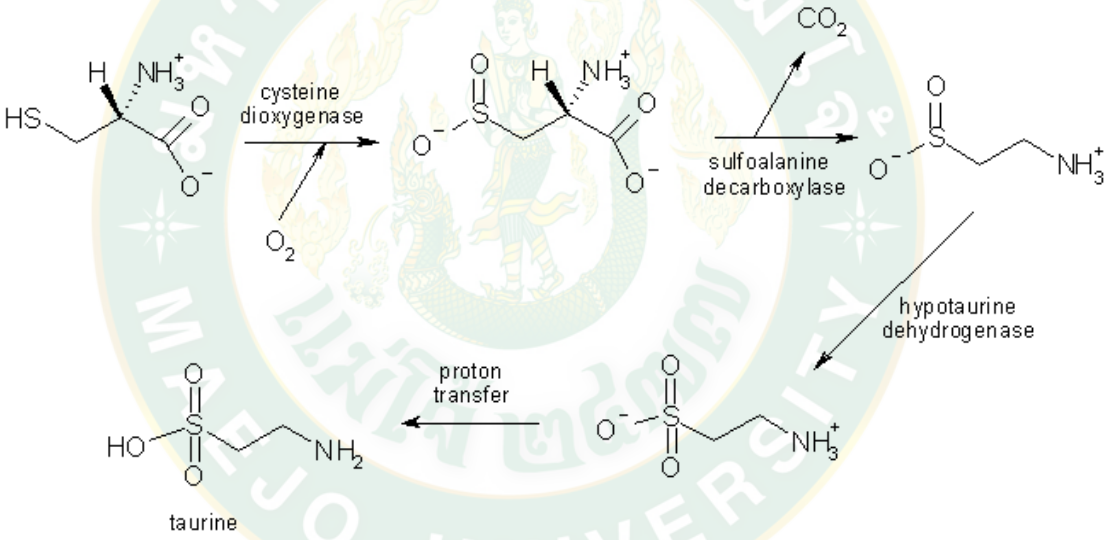
แหล่งที่พบเบต้าแคโรทีน

วีระศักดิ์ (2550) รายงานว่าเบตาแคโรทีนพบมากในพืชที่มีสีเหลืองและสีส้ม เช่น แครอท หัวผักกาดแดง มะเขือเทศ เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบในตับเครื่องในสัตว์ กุ้งและผักใบเขียว เช่น บรอคโคลี่ พริก ตำลึง ผักบุ้ง โดยเฉพาะผลไม้ที่มีสีเหลืองจัดเขียวจัดและสีสดจะมีวิตามินเอ สูงมาก เช่น มันเทศ แครอท ลูกพีช มะละกอ กล้วย สับปะรด ละมุด ขนุน ส้มสดๆ มะม่วงและทุเรียน ซึ่งเบตาแคโรทีนเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์วิตามินเอ โดยร่างกายสามารถเปลี่ยน 9-*cis*-beta-carotene ไปเป็นวิตามินเอ ที่ตับและลำไส้ด้วยเอนไซม์ 15,15-beta-carotenoid dioxygenase ซึ่งวิตามิน เอเป็นสารที่มีความสำคัญต่อการมองเห็น การสร้างสเปิร์ม การสร้างกระดูกและฟัน การซ่อมแซมเนื้อเยื่อ และสุขภาพของผิวพรรณ เบตาแคโรทีนตามธรรมชาติ มี 2 ไอโซเมอร์ คือ alltrans isomers และ cis-isomers และพบว่าเฉพาะ 9-*cis* betacarotene ที่สามารถเปลี่ยนแปลงเป็นเรตินอล หรือวิตามินเอ ได้

ทอรีน (Taurine)

ทอรีน ถูกค้นพบครั้งแรกในน้ำดีของโคโดย Tiedemann และ Gmelin ในช่วงคริสต์ศักราชที่ 1827 และต่อมาถูกค้นพบในสัตว์เกือบทุกชนิด อีกทั้งยังถูกค้นพบในพืช เชื้อรา และแบคทีเรีย อีกด้วย โดยทอรีนมีสูตรโครงสร้างคือ 2-aminoethane – sulfonic acid ออสโมไลต์อินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมปริมาตรของเซลล์ เป็นสารตั้งต้นสำหรับการสร้างเกลือของน้ำดีและมีหน้าที่ควบคุมความเข้มข้นของแคลเซียมอิสระภายในเซลล์ (Lombardini, 1983) ทอรีนเป็นกรดอะมิโนที่มีอยู่มาก

ที่สุดชนิดหนึ่งในสมอง ไขสันหลัง เม็ดเลือดขาว และเซลล์เนื้อเยื่อทั่วไป โครงสร้างทางเคมีของทอรีนที่แสดงในภาพที่ 7 ซึ่งจะเห็นได้ว่าโครงสร้างของทอรีนไม่มีหมู่คาร์บอกซิล เหมือนกับกรดอะมิโนอื่น ๆ แต่มีกลุ่มซัลโฟเนต การสังเคราะห์ทางชีวภาพของทอรีนที่แสดงในภาพที่ 9 มาจาก methionine และ cysteine ผ่าน cysteinesulfinic acid decarboxylase (CSD) และโดยทั่วไปต้องใช้การออกซิเดชันของ hypotaurine และเปลี่ยนเป็นทอรีนในขั้นตอนสุดท้าย โดยทั่วไปสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมจะได้รับทอรีนจากการกินอาหาร และจากการสังเคราะห์ขึ้นเองในร่างกาย มีงานวิจัยก่อนหน้าของ Yeh et al. (2008) ได้รายงานการทำงานของทอรีนจะไปจับตัวกับวิตามินเอจะไม่ถูกดูดซึม และจะถูกขับออกอย่างรวดเร็วมากขึ้น กล่าวอีกนัยหนึ่งก็อาจทำหน้าที่โดยลดการดูดซึมโดยรวมของวิตามินเอหรือความพร้อมใช้งานภายในเซลล์ของวิตามินเอที่ดูดซึมดังนั้นทอรีนในอาหารอาจมีบทบาทในการลดพิษของวิตามินเอในตับและไตของหนู

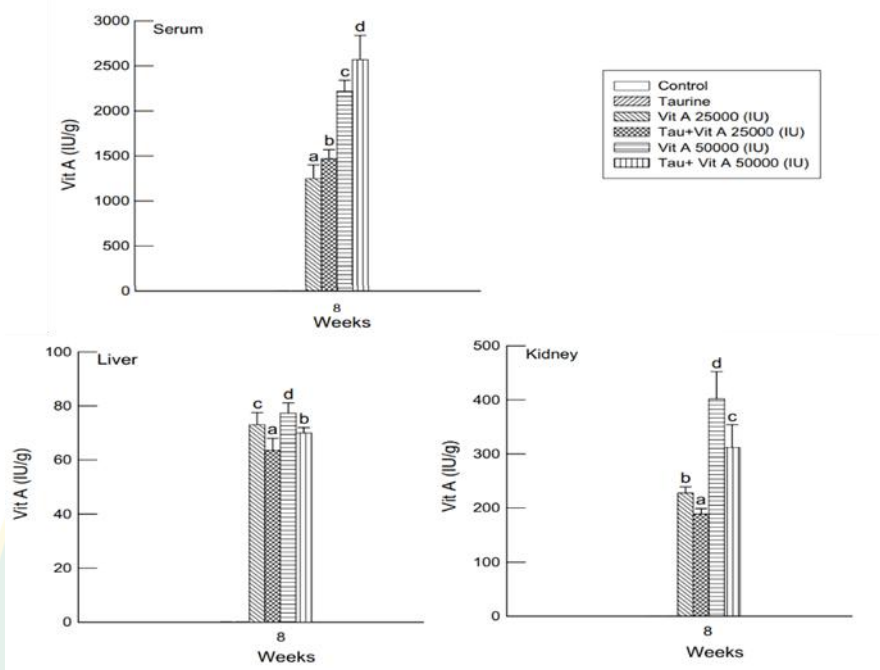


ภาพที่ 9 โครงสร้าง และการสังเคราะห์ทอรีน

ที่มา: Ripps and Shen (*2012)*

จากการศึกษาก่อนหน้าของ Yeh et al. (2008) ถึงผลของทอรีนและวิตามินเอต่อระดับวิตามินเอในตับไตและซีรั่มของหนูหลังจากได้รับอาหารทดลองครบ 8 สัปดาห์ ดังแสดงในภาพที่ 8 ระดับของวิตามินเอในตับ ไตและซีรั่มจะสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในหนูกลุ่มที่รับอาหารที่มีการเสริมวิตามินเอมากกว่ากลุ่มควบคุม ($P<0.05$) โดยระดับวิตามินเอในตับไตและซีรั่มเพิ่มขึ้นตามปริมาณวิตามินเอที่เพิ่มขึ้นในอาหาร แต่อย่างไรก็ตามพบว่าเมื่อหนูได้รับอาหารเสริมด้วยทอรีนระดับของ

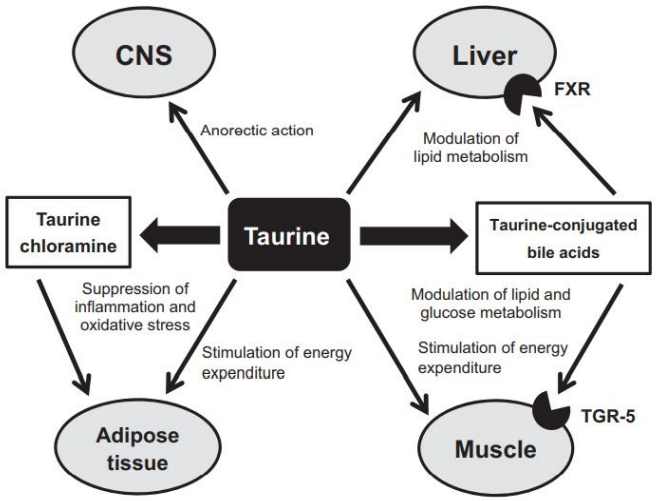
วิตามินเอในตับและไตมีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P <0.05) ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าความเป็นพิษของวิตามินเอที่เกิดขึ้นนั้นเหล่านี้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อทำการเสริมด้วยทอรีนในสูตรอาหาร



ภาพที่ 10 ผลของวิตามินเอและทอรีนต่อระดับวิตามินเอในตับ ไตและซีรั่มวิตามินเอในหนู
ที่มา: Yeh et al. (2008)

บทบาทของทอรีนต่อการพัฒนาของเซลล์ไขมัน

Murakami (2015) ได้รายงานแผนผังบทบาทของทอรีนในการทำให้เกิดการสะสมไขมันและทำให้เกิดโรคอ้วน ทอรีนช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด และเนื้อเยื่อโดยไปกระตุ้นการสังเคราะห์กรดน้ำดีจากคอเลสเตอรอล และกำจัดออกจากร่างกาย ทอรีนเพิ่มไมโทคอนเดรียในตับ ทำให้เกิดการออกซิเดชันของกรดไขมัน และด้วยเหตุนี้จึงช่วยปรับปรุงการสะสมของไตรกลีเซอไรด์ในเลือด และเนื้อเยื่อ นอกจากนี้ทอรีนยังปรับเมแทบอลิซึมของไขมันผ่านการกระตุ้นตัวรับในนิวเคลียร์กรดน้ำดีคอนจูเกตทอรีนเป็นลิแกนด์สำหรับตัวรับโปรตีนคู่รีเซพเตอร์ TGR-5 การเปิดใช้งาน TGR-5 นำไปสู่การเพิ่มการผลิตพลังงาน การควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดที่เพิ่มขึ้น และมีฤทธิ์ต้านการอักเสบ ทอรีนกระตุ้นการผลิตพลังงานในเซลล์ไขมัน ในเซลล์ไขมันที่มีการอักเสบ ทอรีนจะถูกแปลงเป็นทอรีนคลอรามีนโดยเซลล์ที่มีการอักเสบ รวมทั้งแมคโครฟาจ และแสดงฤทธิ์ต้านการอักเสบและต้านอนุมูลอิสระ ในระบบประสาทส่วนกลาง ทอรีนจะมีบทบาทต่อความอยากอาหารในไฮโปทาลามัสโดยเพิ่มเส้นทางการส่งสัญญาณอินซูลิน



ภาพที่ 11 ผังแสดงบทบาทของทอรีนต่อการขยายตัวของเซลล์ไขมัน

ที่มา: Murakami (2015)

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

สถานที่ทำการวิจัย

1. สมานฟาร์ม ตั้งอยู่ที่ 230 หมู่ 1 ต.เชียงบาน อ.เชียงคำ จ.พะเยา 56110
2. ห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์ คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่
3. ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพเนื้อสัตว์ คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่

ระยะเวลาดำเนินการวิจัย

- เริ่มดำเนินการทดลอง กรกฎาคม 2564
- สิ้นสุดการทดลอง ธันวาคม 2564

อุปกรณ์การดำเนินงานวิจัย

1. โรงเรือนพร้อมไฟฟ้าภายในอาคาร
2. อุปกรณ์ในการทำความสะอาดโรงเรือน
3. อุปกรณ์ให้น้ำและอาหาร
4. อุปกรณ์การผสมอาหารข้น
    - เครื่องผสมอาหารแนวนอน
    - ตราชั่ง
    - ถังใส่อาหาร
    - พลั่ว
    - ถุงพลาสติก
    - ที่ตักวัตถุดิบอาหาร
    - รถเข็น
    - กระสอบใส่อาหาร
5. อุปกรณ์ชั่งน้ำหนัก ได้แก่ เครื่องชั่งน้ำหนักโค ตราชั่ง และเครื่องชั่งดิจิตอล
6. ไซโครมิเตอร์
7. อุปกรณ์สำหรับการจดบันทึกข้อมูล
8. อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างอาหาร

- ที่ตักอาหาร
- ถุงซิปล็อค

9. อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างเลือด
    - หลอดเก็บเลือดชนิดมีสารกันเลือดแข็งตัวหลอด EDTA K2 หลอดจุกสีม่วง
    - หลอดเก็บเลือด Serum Clot Activator หลอดจุกสีแดง
    - ไซริงค์ขนาด 10 ml
    - เข็มฉีดยาเบอร์ 18 ยาว ½ นิ้ว
    - สำลีแอลกอฮอล์
    - ถุงมือทางการแพทย์
10. อุปกรณ์วิเคราะห์องค์ประกอบเคมีของอาหารและ เนื้อในห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์
11. อุปกรณ์วิเคราะห์คุณภาพเนื้อในห้องปฏิบัติการเนื้อ
    - อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างเนื้อ ตู้เย็น ตู้แช่แข็ง
    - เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่างเนื้อสัตว์ Meart pH Meter (Portable) ยี่ห้อ HANNA รุ่น HI99163
    - เครื่องวัดสีเนื้อ รุ่น Minolta Chroma (Model CR-400, Mimolta Camera., LTD., Osaka, Japan)
    - เครื่องวัดพื้นที่ชนิดอิเล็กทรอนิกส์ (Planimeter) ยี่ห้อ KOIZUMI รุ่น Placom KP-90N
    - เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส INSTRON Series 3340 (INSTRON, USA)

สัตว์ทดลอง

ใช้โครุ่นลูกผสมชาร์โลเลส์ × บราห์มัน (Charolais × Brahman crossbred) เพศผู้ อายุเฉลี่ย 18 เดือน น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 377± 62 กิโลกรัม จำนวน 12 ตัว โดยเป็นโคที่ได้รับความอนุเคราะห์จากสมานฟาร์ม โดยงานวิจัยนี้ได้รับการอนุมัติให้ดำเนินการใช้ สัตว์ทดลองเพื่องานทดลองทางวิทยาศาสตร์จากคณะกรรมการกำกับดูแลการเลี้ยงและใช้สัตว์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ใบอนุญาตการใช้สัตว์ทดลอง เลขที่ MACUC201A/2564 โดยมีระยะเวลาการทดลอง 164 วัน แบ่งเป็น 2 ระยะ คือ ระยะปรับตัว (preliminary period) 14 วัน ตามด้วย 150 วันเป็นระยะทดลอง (experiment period) หรือระยะการขุนโค โดยมีการจัดการสัตว์ทดลองแต่ละระยะดังนี้

ระยะปรับตัว (preliminary period) ก่อนเข้าการทดลองทำการจัดการสุขภาพสัตว์ โดยโคทุกตัวจะได้รับการถ่ายพยาธิภายนอก พยาธิภายใน ฉีดวัคซีนป้องกันโรคปากเท้าเปื่อย (Foot and

mouth disease) และวัคซีนป้องกันโรคลัมปีสกิน (Lumpy skin disease) ระยะปรับตัว 14 วัน ก่อนเริ่มการทดลองเพื่อให้โคคุ้นเคยกับคอกทดลองและอาหารที่ใช้ในการทดลอง

ระยะทดลอง (experiment period) หลังสิ้นสุดระยะปรับตัวทำการอดอาหารโคอย่างน้อย 16 ชั่วโมง เพื่อเก็บตัวอย่างเลือดโคเพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์เลือด และทำการชั่งน้ำหนักโค เพื่อสุ่มจัดกลุ่มโคทดลองออกเป็น 3 กลุ่มๆ ละ 4 ตัวตามแผนการแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomized Design; CRD) ให้ได้รับอาหารทดลอง 3 ทรีทเมนต์ คือ กลุ่มควบคุม (T1) กลุ่มที่ได้รับการเสริมวิตามินเอ 2 กรัม/วัน (T2) และ กลุ่มที่ได้รับการเสริมวิตามินเอ 2 กรัม/วัน และทอรีน 5 กรัม/วัน (T3) โดยวิธีการเสริมบริเวณด้านบนของอาหาร (on top) และทำการคลุกเคล้าให้เข้ากับอาหารข้น โคทุกกลุ่มได้รับอาหารข้นวันละ 1.25 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัว และได้รับฟางข้าวแบบเต็มที่ (*ad libitum*) มีน้ำสะอาด และแร่ธาตุก้อนให้กินตลอดเวลา โคแต่ละตัวกินอาหารตามกลุ่มการทดลองอย่างเป็นอิสระต่อกันระยะเวลาการทดลอง (ระยะขุนโค) 150 วัน หรือ 5 เดือน และในระยะการทดลองจะดำเนินการบันทึกข้อมูลปริมาณการกินได้ตลอดระยะการทดลอง ชั่งน้ำหนักโคทุกหนึ่งเดือนตลอดการทดลอง และเมื่อสิ้นสุดการทดลองจะทำการเก็บตัวอย่างเลือดโคอีกครั้งเพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์เลือด

อาหารทดลอง

โคแต่ละตัวได้รับฟางข้าวเป็นแหล่งอาหารหยาบให้กินแบบเต็มที่ตลอดการทดลอง ให้อาหารหยาบและอาหารข้น 2 เวลา คือ 8.00 น. และ 16.30 น. มีน้ำสะอาดและแร่ธาตุก้อนให้กินตลอดเวลาอาหารข้นที่ใช้ในการทดลองทั้ง 3 กลุ่มการทดลองเป็นอาหารสูตรเดียวกันโดยในระยะต้นของการขุน (ช่วงน้ำหนัก 250 – 400 ก.ก.) ใช้อาหารข้นที่มีระดับโปรตีน 16 เปอร์เซ็นต์ และในระยะปลายของการขุน (ช่วงน้ำหนัก 400 – 600 ก.ก.) ใช้อาหารข้นระดับโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ โดยอาหารทั้ง 2 สูตรมีคุณค่าทางโภชนะตามความต้องการของโคเนื้อ (NRC, 2000)

การเตรียมอาหารทดลอง

จะทำการเตรียมอาหารข้นพื้นฐาน (Basal diet) โดยทำการผสมอาหารข้นทุกสัปดาห์ วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่นำมาใช้จะเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่หาได้ในพื้นที่ประกอบด้วย กากปาล์ม กากถั่วเหลือง รำละเอียด มันเส้น กากน้ำตาล น้ำมันรำข้าว ยูเรีย เกลือ กำมะถัน ผงฟู ไดแคลเซียมฟอสเฟส แร่ธาตุรวม โดยมีส่วนประกอบของสูตรอาหารและคุณค่าทางโภชนะแสดงใน ตารางที่ 6 ทำการชั่งน้ำหนักวัตถุดิบอาหารสัตว์ตามสัดส่วนจากนั้นผสมวัตถุดิบอาหารสัตว์ทั้งหมดเข้าด้วยกันด้วยเครื่องผสมอาหารแบบแนวนอนหลังจากนั้นจ่ายอาหารจากเครื่องผสมอาหารใส่กระสอบอาหาร จะทำการ

ผสมอาหารสัปดาห์ละ 3 ครั้งๆ ละ 100 กิโลกรัม เพื่อป้องกันการเกิดเชื้อราในอาหาร และการเกิดการเหม็นหืนในอาหาร เนื่องจากในสูตรอาหารมีน้ำมันรำข้าว และกากน้ำตาลเป็นองค์ประกอบ

ตารางที่ 6 สูตรอาหารและคุณค่าทางโภชนะของอาหารที่ใช้ในการทดลอง

Item	Rice straw	Growing	Finishing
Ingredient	----------% of DM ----------		
Cassava chip	-	52.00	52.00
Soybean meal (44 % CP)	-	16.00	14.20
Palm kernel meal	-	18.00	18.00
Rice bran	-	8.00	8.00
Molasses	-	2.00	2.00
Rice bran oil	-	-	2.00
Urea	-	1.40	1.00
Salt	-	0.5	0.3
Sulfur	-	0.1	0.1
Premix*	-	1.00	1.00
Dicalcium phosphate	-	1.00	1.00
Sodium bicarbonate	-	-	0.2
Total (kg.)	-	100	100
Calcutated nutrients	----------% of DM ----------		
Total digestible nutrients (TDN)	-	72.46	74.44
Crude protein (CP)	-	15.96	14.00
Metabolizable energy (ME)	-	2.61	2.68
Ether extract (EE)	-	2.26	4.26
Calcium	-	0.51	0.51
Phosphorus	-	0.21	0.21
Cost (Bath/kg)	3	9.94	10.68

Premix* (copper 14 g, manganese 45g, iron 47g, zinc 65g, iodine 0.45 g, cobalt 0.2 g, carrier 50 %)

วิเคราะห์องค์ประกอบเคมีอาหาร

สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารข้นที่พึ่งผสมเสร็จโดยสุ่มเก็บอาหารข้นจากหลายๆจุด และสุ่มเก็บฟางข้าวซึ่งเป็นอาหารหยาบโดยสุ่มเก็บหลายๆตำแหน่งจากที่เก็บฟาง เพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางโภชนะในอาหารโดยวิธี ProximateAnalysis ได้แก่ วัตถุแห้ง (dry matter, DM), เถ้า (ash) โปรตีนหยาบ (crude protein, CP) ไขมัน (Ether Extract, EE) และ เยื่อใย (Crude fiber, CF) ตามวิธีมาตรฐานของ AOAC (1998) วิเคราะห์หาผนังเซลล์หรือเยื่อใยที่ละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง (neutral detergent fiber; NDF) และเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกรด (acid detergent fiber, ADF) ตามวิธีการ Goering and Van Soest (1970) และวิเคราะห์หาเถ้าที่ไม่ละลายในกรด (acid insoluble ash, AIA) ตามวิธีของ Van Keulen and Young (1977) โดยมีวิธีการวิเคราะห์ดังนี้

การวิเคราะห์ความชื้น (Drying method หรือ Indirect method) อบในตู้อบแห้ง (Air oven method) โดยการให้ความร้อนสม่ำเสมอที่อุณหภูมิ 103 –105 องศาเซลเซียส เพื่อให้ความชื้นที่มีในวัตถุดิบอาหารหายไปจนได้น้ำหนักคงที่โดยมีขั้นตอนต่อไปนี้ เตรียมตัวอย่างอาหารโดยการบดตัวอย่างผ่านตะแกรง ขนาด 1 มิลลิเมตร เตรียมถ้วยอลูมิเนียมโดยอบในตู้อบ (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 103 –105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ทำให้เย็นใน desiccator ทิ้งไว้ให้เย็น 30 นาที นำไปชั่งและบันทึกน้ำหนัก (A) ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 2-5 กรัม (W) ใส่ในถ้วยอลูมิเนียมจดบันทึกน้ำหนักตัวอย่าง นำถ้วยอลูมิเนียมและตัวอย่างไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 –105 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง ทำให้เย็นใน desiccator ทิ้งไว้ให้เย็น 30 นาที นำไปชั่งและบันทึกน้ำหนัก (B) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นจากสูตร

$$\text{ปริมาณความชื้น} = \frac{\boldsymbol{W-(B-A)\times 100}}{\mathbf{W}}$$

เมื่อ A = น้ำหนักถ้วยอลูมิเนียม(กรัม)

B = น้ำหนักถ้วยอลูมิเนียม และตัวอย่างน้ำหนักหลังอบ (กรัม)

W = ตัวอย่างอาหารก่อน (กรัม)

% วัตถุแห้ง (dry matter) = 100 - % moisture

การวิเคราะห์ปริมาณเถ้าทั้งหมด (total ash) เผา crucible ในเตาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ทำให้เย็นใน desiccator ชั่งและบันทึกน้ำหนัก (A) ชั่งตัวอย่าง 2-5 กรัม ใส่ใน crucible จดบันทึกน้ำหนักตัวอย่าง (W) เผาไร่ควันจนหมดบน hot plate จนหมดควัน นำ crucible พร้อมตัวอย่างไปเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จะได้เถ้าสีขาวหรือเกือบขาวจากนั้นนำ crucible ออกมาตั้งทิ้งให้เย็นสักครู่บนแผ่นกระเบื้องเคลือบแล้วนำเอาไปตั้งทิ้งให้เย็นใน desiccator ก่อนนำเอาไปชั่งน้ำหนักและจดบันทึกไว้ (B) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์เถ้าจากสูตร

$$\text{ปริมาณเถ้าทั้งหมด} = \frac{(B-A)\times 100}{W}$$

เมื่อ A = น้ำหนัก crucible (กรัม)

B = น้ำหนัก crucible และตัวอย่างหลังเผา (กรัม)

W = ตัวอย่างอาหาร (กรัม)

การวิเคราะห์หาโปรตีน (crude protein, CP) โดยดัดแปลงวิธีการจาก Kjeldahl method เพื่อหาปริมาณของไนโตรเจนทั้งหมดที่มีอยู่ในอาหารโดยย่อยตัวอย่างอาหารในกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) เข้มข้นจนสมบูรณ์ซึ่งจะได้สารกลุ่ม อะมิน (NH_2) และกรดอะมิโนอิสระ โดยการเปลี่ยนไนโตรเจนที่มีในอาหารให้กลายเป็นแอมโมเนียมซัลเฟต $(NH_4)_2SO_4$) แล้วนำไปทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดร็อกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์ แอมโมเนียมซัลเฟตจะถูกกลั่นออกมาในรูปของก๊าซแอมโมเนียแล้วจับไว้ด้วยกรดมาตรฐาน (standard acid) เมื่อนำ standard acid + NH_4^+ มาไตเตรท ด้วยสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนให้ทำปฏิกิริยากัน ค่าที่นำมาคำนวณปริมาณไนโตรเจน แล้วคูณด้วยค่า factor คือ N × 6.25 จะทำให้ทราบปริมาณโปรตีนในอาหาร โดยมีสูตรคำนวณหาค่าไนโตรเจนดังนี้

$$\%\ \text{ไนโตรเจน} = \frac{(V_2-V_1)\times N\times F\times 1.4}{W}$$

เมื่อ N = ความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟูริกที่ใช้ (0.1 N)

F = factor ของกรดซัลฟูริก ได้จากการ standardization กับ Tris-buffer

V_1 = ปริมาณของกรดซัลฟูริกที่ใช้ไตเตรท blank

V_2 = ปริมาณของกรดซัลฟูริกที่ใช้ไตเตรทตัวอย่าง

W = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ (กรัม)

การวิเคราะห์ไขมัน (ether extract) เป็นการสกัดไขมันด้วยตัวทำละลายอินทรีย์เพื่อให้ส่วนประกอบที่เป็นไขมันในอาหารประเภทลิฟท์ปิดถูกสกัดออกด้วยอีเธอร์ โดย petroleum ether หรือ di-ethyl ether สารที่สกัดได้เรียกว่า ether extract หรือ crude fat ดังนั้นในการหาปริมาณสารกลุ่มนี้จึงใช้สารสกัดด้วยตัวทำละลายคือ อีเธอร์ ให้ได้ไขมันที่ต้องการออกมาพร้อมตัวทำละลาย จากนั้นจึงระเหยอีเธอร์ออกไปให้หมดส่วนที่เหลืออยู่ได้แก่ สารอินทรีย์ที่ต้องการทราบปริมาณไขมันหรือสารอินทรีย์ที่ได้จาก ether extraction มีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้ อบ extraction beaker ในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้นชั่งน้ำหนักและจดบันทึก (A) ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม (W) ห่อด้วยกระดาษกรอง ใส่ตัวอย่างใน cellulose thimbles แล้วนำเข้าประกอบเครื่อง กดให้ thimble ลงอยู่ในตำแหน่งพร้อมสกัด เติม petroleum ether ลงใน

extraction beaker 125 ml ประกอบเข้าเครื่องสกัดไขมันรอจนเครื่องจะหยุดทำงาน นำ extraction beaker ที่มีไขมันไปอบในตู้อบอุณหภูมิ105 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้นชั่งน้ำหนักและจดบันทึก (B) มีสูตรการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไขมันดังนี้

$$\% \text{ ไขมัน} = \frac{(B-A)\times 100}{W}$$

เมื่อ W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

A = น้ำหนัก extraction beaker

B = น้ำหนัก extraction beaker และ ไขมันที่สกัดได้

การวิเคราะห์หาเยื่อใย (Crude fiber) โดยการต้มด้วยกรดอ่อนน (H_2SO_4 1.25% V/V) แ และด่างอ่อน (NaOH หรือ KOH 1.25 % W/V) สารอินทรีย์ต่างๆและคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำ (NFE) ที่สัตว์สามารถย่อยได้จะถูกย่อยจากตัวอย่าง ส่วนที่เหลือคือสารอินทรีย์ที่ย่อยไม่ได้คือ กลุ่มเยื่อใยหยาบ (Crude fiber : CF) ได้แก่ cellulose, hemicellulose และ lignin เป็นต้น และสารอนินทรีย์ แร่ธาตุชนิดต่างๆ ที่เหลือเท่านั้นดังนั้นน้ำหนักที่หายไปจากการเผาความร้อนสูงคือปริมาณเยื่อใยในตัวอย่าง มีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้ นำตัวอย่างมาชั่งน้ำหนัก 0.25-0.30 กรัม (W_1) ใส่ใน crucible นำไปวางบน crucible stand crucible ใส่ในเครื่องย่อย (hot extraction unit) เติมกรด H_2SO_4 1.25% (กรดที่เติมต้องต้มให้ร้อนก่อน) หลอดละ 150 มิลลิลิตร เติม n - Octanol antifoam 3-5 หยด ป้องกันการเกิดฟอง ตมตัวอย่างจนเดือดแล้วจับเวลาประมาณ 45 นาที กรองสารจนแห้งโดยเปิดสวิตช์เครื่องดูดสุญญากาศแล้วเปิดวาล์วเพื่อถ่ายกรดออกจากตัวอย่าง แล้วล้างด้วยน้ำร้อน 3 ครั้งกรองจนแห้ง เติม KOH 1.25% ที่ต้มจนร้อนหลอดล่ะ150 มิลลิลิตร เติม n - Octanol antifoam 3-5 หยด ป้องกันการเกิดฟอง ต้มตัวอย่างจนเดือดแล้วจับเวลาประมาณ 45 นาที กรองสารจนแห้งโดยเปิดสวิตช์เครื่องดูดสุญญากาศแล้วเปิดวาล์วเพื่อถ่ายกรดออกจากตัวอย่าง ล้างด้วย Acetone อีก 2-3 ครั้ง ๆ ละ25 มิลลิลิตร นำ crucible ออกจากเครื่องย่อยไปอบที่ 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่ว โมง ทิ้งให้เย็นใน desiccator ชั่งน้ำหนัก (W_2) จะได้ค่าไฟเบอร์ที่รวมเถ้าอยู่ด้วย นำตัวอย่างใน crucible ไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในเตาเผา นำมาใส่ desiccator จนเย็น ชั่งน้ำหนัก (W_3) จะได้น้ำหนักของเถ้าที่เหลือ มีสูตรการคำนวณหาเยื่อใยดังนี้

$$\% \text{ เยื่อใย} = \frac{W_2-W_3}{W_1} \times 100$$

เมื่อ W_1 = น้ำหนักตัวอย่าง

W_2 = น้ำหนัก crucible หลังอบ

W_3 = น้ำหนัก crucible หลังเผา

การศึกษาสมรรถภาพการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหาร

บันทึกปริมาณการกินได้โดยทำการศึกษาค่าปริมาณการกินได้ของอาหารหยาบ อาหารข้น และปริมาณการกินได้ทั้งหมดใช้เวลาทำการทดลอง 150 วัน โดยให้อาหารหยาบ และอาหารข้น วันละ 2 เวลา คือ 8.00 น. และ 16.30 น. ก่อนให้ทำการชั่งน้ำหนักอาหารก่อน และทำการชั่งอาหารที่เหลือ (feed refusal) ในตอนเช้าของวันถัดไปก่อนให้อาหารใหม่ แล้วทำการจดบันทึก เพื่อนำมาคำนวณหาปริมาณอาหารได้กินได้ต่อวัน ปริมาณการกินได้ของอาหารเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว (% BW) และปริมาณการกินได้ของอาหารต่อน้ำหนักเมแทบอลิก (g/kg BW $^{0.75}$)

$$\text{ปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อวัน} = \frac{\text{ปริมาณอาหารทั้งหมดที่กิน}}{\text{จำนวนวันทดลอง}}$$

$$\text{ปริมาณการกินได้ของอาหารเมื่อคิดเป็น \% BW} = \frac{\text{ปริมาณอาหารที่กิน}}{\text{น้ำหนักตัว (BW)}} \times 100$$

$$\text{ปริมาณการกินได้ของอาหารต่อน้ำหนักเมแทบอลิก} = \frac{\text{ปริมาณอาหารที่กิน}}{BW^{0.75}} \times 100$$

บันทึกการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโคเนื้อ ทำการชั่งน้ำหนักโครายตัวด้วยเครื่องชั่ง ก่อนการชั่งน้ำหนักโคทุกครั้งจะทำการอดอาหารโคเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 16 ชั่วโมงก่อนชั่งและทำการชั่งในช่วงเช้าก่อนการให้อาหารเช้า โดยจะทำการชั่งน้ำหนักโคเมื่อเริ่มการทดลอง ทุกเดือนหลังจากเริ่มทำการทดลองและเมื่อสิ้นสุดการทดลอง การชั่งน้ำหนักโค จะอ่านตัวเลขจากตราชั่งเมื่อตัวเลขหยุดนิ่งโดยจะอ่านตัวเลขจาก ตราชั่งและจดบันทึกตัวเลข 3 ค่าเพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย นำข้อมูลน้ำหนักตัวไปวิเคราะห์หาการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (Average daily gain; ADG) ปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อวัน (Average Daily Feed Intake; ADFI) ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (Feed conversion ratio; FCR) ต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักตัว (Feed Conversion per Gain; FCG) และ ประสิทธิภาพการใช้อาหาร (Gain/Feed; G/F)

$$ADG = \frac{\text{น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \text{น้ำหนักเมื่อเริ่มการทดลอง}}{\text{จำนวนวันที่ทดลอง}}$$

$$ADFI = \frac{\text{ปริมาณอาหารทั้งหมดที่กิน}}{\text{จำนวนวันที่ทดลอง}}$$

$$FCR = \frac{\text{ปริมาณอาหารทั้งหมดที่กิน}}{\text{น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง}}$$

$$G/F = \frac{\text{อัตราการเติบโตเฉลี่ยต่อวัน}}{\text{ปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อวัน}}$$

FCG = อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (FCR) × ราคาอาหารต่อกก. (บาท)

การศึกษาค่าพารามิเตอร์ในเลือดโค

การวิเคราะห์ค่าทางชีวเคมีของเลือดโค โดยเก็บตัวอย่างเลือดในวันแรกของการทดลอง และวันสุดท้ายของการทดลองโดยอดอาหารโคอย่างน้อย 16 ชั่วโมง ก่อนเก็บตัวอย่างเลือดจากเส้นเลือดใหญ่บริเวณคอ (jugular vein) ทำการเก็บตัวอย่างเลือดจำนวน 2 หลอด ในปริมาตร 6 มิลลิลิตร ใส่หลอดที่มีเฮพพารีน (heparinized) ป้องกันการแข็งตัวของเลือดเพื่อนำมาวิเคราะห์จำนวนเม็ดเลือดชนิดต่าง ๆ และ ความเข้มข้นของไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) และ คลอเรสเตอรอล (cholesterol) และเก็บตัวอย่างเลือดในปริมาตร 4 มิลลิลิตร นำมาปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ที่ความเร็วรอบ 3,500 รอบต่อนาที ใช้เวลา 15 นาที และเก็บส่วนซีรั่มในหลอดทึบแสง เพื่อวิเคราะห์หาระดับวิตามินเอ โดยใช้ High performance liquid chromatography (HPLC) ดัดแปลงจากวิธีการของ Weiss et al. (1995)

การศึกษาลักษณะซากและคุณภาพซาก

การศึกษาคุณภาพซาก และคุณภาพเนื้อเมื่อครบกำหนดระยะเวลาขุนทำการชั่งและบันทึกน้ำหนักมีชีวิต (Live weight) ที่ผ่านการอดอาหารมาแล้วอย่างน้อย 16 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำโคทุกกลุ่มการทดลอง กลุ่มการทดลองละ 2 ตัวเข้าเชือดซึ่งดำเนินตามหลักจริยธรรมของสัตว์ทดลองและโรงฆ่าสัตว์ที่ได้มาตรฐานเพื่อทำการประเมินข้อมูลเปอร์เซ็นต์ซาก (ตัดส่วนหัว ขา ลอกหนัง และนำอวัยวะภายในออกทั้งหมด) เป็นตัวบ่งชี้ผลผลิตแบบหยาบๆ เนื่องจากน้ำหนักซึ่งเป็นน้ำหนักรวมของเนื้อแดง ไขมัน พังผืด กระดูก เอ็น ข้อมูลจึงผันแปรมากขึ้นอยู่กับระดับของการระเหยน้ำออกจากตัวสัตว์ขณะชั่งก่อนฆ่า และปริมาณอาหารหรือสิ่งบรรจุอื่น ๆ ในท่อทางเดินอาหาร การคำนวณเปอร์เซ็นต์ซากสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ซากอุ่น (hot carcass)} = \frac{\text{น้ำหนักซากอุ่น}}{\text{น้ำหนักมีชีวิต}} \times 100$$

น้ำหนักมีชีวิต หมายถึง น้ำหนักที่ชั่งก่อนฆ่าหลังจากอดอาหารเป็นเวลาอย่างน้อย 16 ชั่วโมง โดยมีน้ำสะอาดให้กินตลอดเวลา

เปอร์เซ็นต์องค์ประกอบซากตัดแต่งโดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์จากน้ำหนักซากและเปอร์เซ็นต์ของอวัยวะภายในโดยคิดต่อน้ำหนักมีชีวิตโดยใช้สูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนตัดแต่ง} = \frac{\text{น้ำหนักชิ้นส่วน}}{\text{น้ำหนักซาก}} \times 100$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์อวัยวะภายใน} = \frac{\text{น้ำหนักอวัยวะภายใน}}{\text{น้ำหนักมีชีวิต}} \times 100$$

การวัดพื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน และความหนาไขมันสันหลัง

ขนาดพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันนอก และความหนาไขมันสันหลังโดยใช้แผ่นพลาสติกใสทาบ วางลงบนชิ้นส่วนสันนอกที่อยู่ติดกับกระดูกซี่โครงระหว่างซี่ที่ 12 และ 13 แล้วใช้ปากกากันน้ำวาดไปตามรอยเส้นแบ่งระหว่างชั้นกล้ามเนื้อและไขมัน นำแผ่นใสที่ได้วัดขนาดพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันนอกด้วยเครื่องมือวัดขนาดพื้นที่ (planimeter) ซึ่งมีหน่วยเป็นตารางเซนติเมตร จากนั้นนำไปวัดหาหาความหนาไขมันสันหลังบริเวณเหนือกล้ามเนื้อสันนอก ณ จุด $^{3}/_{4}$ ของความยาวกล้ามเนื้อสันนอกและตั้งฉากกับผิวชั้นนอกของไขมันโดยใช้ Vernier caliper ในการวัดมีหน่วยเป็นเซนติเมตร

การศึกษาคุณภาพเนื้อ

การวัดระดับ pH หลังการฆ่าชำแหละโค

ใช้เครื่องวัดกรด-ด่างเนื้อสัตว์ pH Meter (Model HI 99163, HANNA. Instruments. Romania) โดยสอดแทงปลาย electrode เข้าที่บริเวณกล้ามเนื้อประมาณ 1.5 นิ้ว บริเวณตำแหน่งกล้ามเนื้อสันนอก (*Longissimus dosri*) และกล้ามเนื้อสะโพก (*Semimembranosus*) วัดค่า pH ที่เวลา 45 นาทีหลังจากการฆ่าชำแหละ และ 24 ชั่วโมงหลังจากฆ่าชำแหละ (จตุรสิทธา สัญชัย, 2547)

การวัดพื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน และความหนาไขมันสันหลัง

ขนาดพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันนอก และความหนาไขมันสันหลังโดยใช้แผ่นพลาสติกใสทาบ วางลงบนชิ้นส่วนสันนอกที่ติดกับกระดูกซี่โครงที่ 12 และ 13 แล้วใช้ปากกากันน้ำวาดไปตามรอยเส้นแบ่งระหว่างชั้นกล้ามเนื้อและไขมัน นำแผ่นใสที่ได้วัดขนาดพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันนอกด้วยเครื่องมือวัดขนาดพื้นที่ (planimeter) ซึ่งมีหน่วยเป็นตารางเซนติเมตร จากนั้นนำไปวัดหาหาความหนาไขมันสันหลังบริเวณเหนือกล้ามเนื้อสันนอก ณ จุด $^{3}/_{4}$ ของความยาวกล้ามเนื้อสันนอกและตั้งฉากกับผิวชั้นนอกของไขมันโดยใช้ Vernier caliper ในการวัดมีหน่วยเป็นเซนติเมตร

การประเมินสีของเนื้อแดง

สำหรับการประเมินสีใช้ตัวอย่างจากเนื้อส่วนสันนอก (*Longgisimusdorsi*) และเนื้อสะโพก (*Semimembranosus*) โดยตัวอย่างเนื้อตัดจากซี่โครงที่ 12 ใส่ใน Vacuum package เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 0 – 4 องศาเซลเซียส โดยจะวัดค่าสีของเนื้อ (Meat color) ที่ 45 นาทีหลังการฆ่า และ 24 ชั่วโมงหลังการฆ่า เมื่อครบเวลานำตัวอย่างออกจากถุงที่บรรจุที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 60 นาที เพื่อให้เนื้อได้รับออกซิเจน จากนั้นทำการวัดค่าสี (L*, a*, b*) วัดค่าความอิ่มตัวของสี (Chroma; c*) และวัดเฉดสี (Hue angle; h*) ด้วยเครื่อง Minolta Chroma Meter (Model CR- 400, Mimolta Camera., LTD., Osaka, Japan) โดยวัดค่าสีของเนื้อตัวอย่าง 3 ตำแหน่ง และทำการบันทึกค่าความสว่าง (lightness, L*) ค่าสีแดง (redness, a*) ค่าสีเหลือง (yellowness, b*) ค่าความอิ่มตัวของสี (Chroma, c*) และค่าเฉดสี (Hue angle, h*) โดยค่าความอิ่มตัวของสี และค่าเฉดสีสามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$\text{Chroma} = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{Hue angle} = \tan^{-1}(b^*/a^*)$$

การประเมินความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ

ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ (water holding capacity) เพื่อหาค่าสูญเสียน้ำหนักระหว่างการทำให้สุกจากการต้ม การแช่เย็น และการแช่แข็ง สามารถปฏิบัติได้ดังนี้

ค่าการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการทำปรุงสุก (cooking loss) ใช้ตัวอย่างเนื้อสันนอกและเนื้อสะโพก โดยการตัดเนื้อตัวอย่างให้มีความหนาประมาณ 2.5 เซนติเมตรหรือ 1 นิ้ว ขนาดประมาณ 20 ถึง 100 กรัม แล้วแต่ความเหมาะสมของชิ้นเนื้อที่จะนำมาวิเคราะห์ ชั่งน้ำหนักก่อน (W1) จากนั้นนำเนื้อไปบรรจุถุงปิดถุงโดยวิธีการสุญญากาศเพื่อไม่ให้น้ำที่ใช้ในการต้มเข้าไปสัมผัสกับเนื้อตัวอย่าง จากนั้นนำไปต้มทำการวัดอุณหภูมิภายใน โดยใช้แท่งเหล็กที่ใช้วัดอุณหภูมิเนื้อเสียบคาไว้กับเนื้อตัวอย่าง แล้วจึงนำไปต้มในเครื่องอบไอน้ำความดัน ทำการตั้งอุณหภูมิเครื่องที่ 80 องศาเซลเซียส รอให้เนื้อมีอุณหภูมิใจกลาง 75 องศาเซลเซียส จึงนำตัวอย่างเนื้อออก ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วจึงนำไปชั่งน้ำหนัก (W2) บันทึกข้อมูลคิดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำจากการปรุงสุก (จตุรสิทธา สัญชัย, 2550) โดยมีสูตรการคำนวณหา ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ของ cooking loss} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100$$

W_1 คือ น้ำหนักเนื้อก่อนต้ม

W_2 คือ น้ำหนักเนื้อหลังต้ม

ค่าการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการเก็บรักษา (drip loss) ใช้ตัวอย่างเนื้อสันนอกและเนื้อสะโพก โดยการตัดเนื้อตัวอย่างให้มีความหนาประมาณ 2.5 เซนติเมตรหรือ 1 นิ้ว ชั่งน้ำหนักก่อน (W_1) ห่อหุ้มชิ้นส่วนตัวอย่างเนื้อด้วยผ้าขาวบาง (ผ้าก๊อต) เพื่อใช้ในการซับน้ำของเนื้อที่สูญเสียออกมาจะทำให้ได้ค่าที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น จากนั้นบรรจุชิ้นเนื้อโดยใช้เชือกมัดเนื้อให้แน่นแขวนในถุงพลาสติกให้สูงจากก้นถุงประมาณ 1.5 - 2 นิ้ว ปิดปากถุงให้แน่น นำไปเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลานำตัวอย่างชิ้นเนื้อออกจากถุงโดยซับเอาของเหลวที่ติดกับตัวอย่างเนื้อด้วยผ้าขาวบาง (ผ้าก๊อต) แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก (W_2) คิดค่าสูญเสียน้ำหนักได้โดยวิธีการของ จตุรสิทธา สัญชัย (2550) คิดเป็นเปอร์เซ็นต์จากสูญเสียน้ำหนักจากการแช่เย็นก่อนและหลัง โดยมีสูตรการคำนวณหา ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ของ drip loss} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100$$

W_1 คือ น้ำหนักเนื้อก่อนแขวนแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

W_2 คือ น้ำหนักเนื้อหลังแขวนแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

ค่าการสูญเสียน้ำหนักจากการแช่แข็ง (Freezing loss) นำเนื้อตัวอย่างทำการชั่งน้ำหนัก (W_1) เรียบร้อยแล้วนำไปใส่ในตู้แช่แข็งที่ -20 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 เดือน จากนั้นนำตัวอย่างเนื้อที่ผ่านการแช่แข็งที่ -20 องศาเซลเซียส ออกมาละลายที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนกว่าตัวอย่างเนื้อจะนุ่ม จากนั้นทำการซับน้ำและชั่งน้ำหนัก (W_2) บันทึกข้อมูลคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักจากการแช่แข็งก่อนและหลัง จตุรสิทธา สัญชัย (2550) โดยมีสูตรการคำนวณหา ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ Freezing loss} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100$$

W_1 คือ น้ำหนักเนื้อก่อนแช่เย็นที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

W_2 คือ น้ำหนักเนื้อหลังแช่เย็นที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

การวิเคราะห์ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ

ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (shear force) นำเนื้อตัวอย่างที่ผ่านการวัดการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการทำให้สุก (cooking loss) นำมาตัดแต่งเตรียมตัวอย่างให้ได้ขนาดสี่เหลี่ยมลูกเต๋า เพื่อหาการวัดค่าแรงตัดผ่านโดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส INSTRON Series 3340 (INSTRON, USA) ความเร็ว 500 mm/ min ตามวิธีของ (วัชราภรณ์ และคณะ, 2555)

การวิเคราะห์ค่าการเกิดออกซิเดชั่นของไขมันในเนื้อ

การวิเคราะห์ค่าการการเกิดออกซิเดชั่นของไขมันในเนื้อ (thiobarbituric acid; TBA) ตามวิธีของ (Prommachart et al., 2021) ใช้ตัวอย่างจากกล้ามเนื้อสันนอก และกล้ามเนื้อสะโพกของวันที่ 0 3 และวันที่ 7 ของการแช่เย็น โดยสุ่มตัดแบ่งตัวอย่างเนื้อประมาณ 100 กรัม จากนั้นนำเนื้อสันนอก และเนื้อสะโพกบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดเนื้อ นำเนื้อที่บดได้ชั่งน้ำหนักตัวอย่างละ 5 กรัม เติมสารละลาย TBA stock ปริมาณ 25 มิลลิลิตร แล้วนำไปปั่นกับเครื่อง Homogenized ประมาณ 10 วินาที จนเป็นเนื้อเดียวกัน นำไปบ่มในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง Centrifuge ที่ 12,000 rpm ตั้งอุณหภูมิที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาทีจนแยกชั้นกัน หรือกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 (Whatman #1) นำสารละลายใสที่ได้ปริมาณ 3 มิลลิลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 538 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer (Model UV- 1900, Shimadzu, Japan) นำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ 3 ค่าไปหาค่าเฉลี่ยแล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงของ Blank โดยวัดค่า Blank จากสารละลาย TBA stock โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

TBARS number (mg MDA/kg) = sample A532 × [(1MTBA chromagen)/156,000] × [(1 mol/L/M] × (0.030 L/5 g meat) × (72.07 g MDA/mol MDA) × 1000mg/g) × 1000 g/kg)

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อ

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อ ใช้ตัวอย่างจากกล้ามเนื้อสันนอก และกล้ามเนื้อสะโพก โดยสุ่มตัดแบ่งตัวอย่างกล้ามเนื้อประมาณ 100 - 200 กรัม จากนั้นนำตัวอย่างเนื้อสันนอกและเนื้อสะโพก มาบดปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น และนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปบดผ่านตะแกรง 2 mm อีกครั้ง และทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีโดยวิธี Proximateanalysis (AOAC, 1990) เช่นเดียวกับการวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีของอาหาร ได้แก่ เปอร์เซ็นต์ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และพลังงานรวมในเนื้อ

การศึกษาด้านองค์ประกอบและปริมาณของ Fatty acids ในเนื้อโค

การวิเคราะห์ปริมาณ Fatty acids ในเนื้อโคจะใช้เนื้อโคส่วนสันนอกปริมาณประมาณ 100 กรัมในการวิเคราะห์โดยเครื่อง Gas chromatography (Hewlett Packard GC system HP 6890) ซึ่งตัวอย่างเนื้อนำมาสกัดน้ำมันดัดแปลงจากวิธีของ AOAC (2001) และการทำ Methylation ดัดแปลงจากวิธีของ Ostrowska et al. (2000) หลังจากนั้นนำตัวอย่าง Fatty acids methyl ที่ได้

ไปวิเคราะห์ปริมาณ Free fatty acids ต่อไป ซึ่งในกระบวนการการศึกษาด้านองค์ประกอบและปริมาณของ Fatty acids ในงานวิจัยนี้จะทำการส่งตัวอย่างเนื้อไปวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการกลางอุทยานวิทยาศาสตร์ภาคเหนือ (จ.เชียงใหม่) NSP Central Laboratory

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ Analysis of Variance (ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete randomized design; CRD) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan Multiple Range Test (DMRT หรือ DUNCAN) ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($P < 0.05$) ด้วยโปรแกรม Statistical Analysis System (SAS, 1998)

ตารางที่ 7 ระยะเวลาดำเนินงาน และ แผนการทำงาน

แผนการดำเนินงาน	**เดือนที่**											
	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4
เตรียมอุปกรณ์การทดลอง	✓	✓										
ดำเนินการทดลอง - ชั่งน้ำหนักโคก่อนเริ่มการทดลอง และทุกๆเดือน จนสิ้นสุดการทดลอง - เก็บตัวอย่างอาหาร			✓	✓	✓	✓	✓	✓				
- เก็บตัวอย่างเลือดก่อนการทดลอง - เก็บตัวอย่างเนื้อเพื่อนำมาวิเคราะห์ - เก็บตัวอย่างเลือดก่อนการและเมื่อสิ้นสุดการทดลองทดลอง												
วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ									✓	✓		
รวบรวมข้อมูล สรุปผล รายงานผล ตีพิมพ์เผยแพร่										✓	✓	✓

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิจารณ์

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารข้น และฟางข้าว ที่ใช้ในการทดลองแสดงดังตารางที่ 8 โดยโค ลูกผสมชาร์โรเล่ทั้ง 3 กลุ่มการทดลองจะได้รับอาหารข้นสูตรเดียวกันโดยในระยะต้นของการขุน (ช่วงน้ำหนัก 200 – 350 กิโลกรัม) ใช้อาหารข้นที่มีระดับโปรตีน 16 % ในระยะปลายของการขุน (ช่วงน้ำหนัก 350 – 600 กิโลกรัม) ใช้อาหารข้นระดับโปรตีน 14 % และฟางข้าวที่มีโภชนะที่เหมือนกัน ซึ่งได้แก่วัตถุแห้ง (dry matter, DM) มีค่าเท่ากับ 91.76 95.61 และ 94.72 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โปรตีนหยาบ (crude protein, CP) ในอาหารข้นทั้ง 2 สูตรมีค่าเท่ากับ 16.76 และ 14.11 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โปรตีนในฟางข้าวมีค่าเท่ากับ 3.49 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน (ether extract, EE) ในอาหารข้นทั้ง 2 สูตร และฟางข้าวมีค่าเท่ากับ 1.98 3.20 และ 1.58 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับซึ่งพบว่าระดับไขมันในอาหารระยะปลายของการขุนมีระดับปริมาณไขมันที่สูงกว่า และมีต้นทุนค่าอาหารสูงกว่าสูตรที่ใช้ในระยะต้นของการขุนเนื่องจากสูตรปลายของการขุนมีน้ำมันรำข้าวเป็นองค์ประกอบในสูตรด้วย ในอาหารข้นทั้ง 2 สูตร และฟางข้าวมีค่าเยื่อใยที่ย่อยสลายในสารละลายที่เป็นกลาง (Neutral detergent fiber, NDF) เท่ากับ 17.53 16.21 และ 65.72 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ มีค่าเยื่อใยที่ย่อยสลายในสารละลายที่เป็นกรด (Acid detergent fiber, ADF) เท่ากับ 9.84 9.46 และ 48.84 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ มีค่าเยื่อใยรวม (Crude fiber, CF) เท่ากับ 2.70 4.16 เถ้า (ash) มีค่าเท่ากับ 5.02 5.23 และ 13.01 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ อาหารข้นทั้ง 2 สูตรมีระดับพลังงานรวมมีค่าเท่ากับ 3883.7 และ 3976.7 กิโลแคลอรี่ ตามลำดับ

อาหารข้นที่ใช้ในการทดลองทั้ง 2 สูตร มีระดับโปรตีนตามการแนะนำของ NRC (2000) และตามการแนะนำของกรมปศุสัตว์ (2564) โคช่วงเจริญเติบโตสูตรอาหารควรมีระดับโปรตีนอยู่ในช่วง 15-16 เปอร์เซ็นต์ มีพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ 10.5–11.4 MJ/kg DM มีผนังเซลล์ (NDF) มากกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ มีไขมัน น้อยกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ มีแป้งและน้ำตาล น้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ มีแคลเซียม 0.8 เปอร์เซ็นต์ โคช่วงขุนตามคำแนะนำของ NRC และกรมปศุสัตว์ ควรมีระดับของโปรตีนหยาบอยู่ในช่วง 12–15 เปอร์เซ็นต์ มีพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้มากกว่า 12.2 MJ/kg.DM มีผนังเซลล์ (NDF) มากกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ มีเส้นใยขนาดยาว 6-8 เปอร์เซ็นต์ ระดับไขมันในสูตรอาหารควรมีน้อยกว่า 6 เปอร์เซ็นต์ มีแป้งและน้ำตาล 33 เปอร์เซ็นต์ และมีแคลเซียม 0.6 เปอร์เซ็นต์ อาหารสำหรับช่วงโคขุนต้องให้อาหารธัญพืชที่มีพลังงานสูง ระดับแป้งสูง สามารถส่งเสริมการเพิ่มของน้ำหนักตัวของโคได้อย่างรวดเร็ว และเพิ่มการเปลี่ยนอาหารให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเฉพาะในสัตว์ที่มีขนาดใหญ่สิ่งสำคัญในการขุนโคช่วงนี้คือ ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนอาหาร (FCE) ที่ได้จากการคงปริมาณการกินอาหารระดับสูง รวมทั้งการเพิ่มน้ำหนักตัวอย่างรวดเร็ว

ตารางที่ 8 Ingredients and chemical composition of experimental dietary (kg/DM)

Item	Rice straw	Growing	Finishing
Dry matter	91.76	95.61	94.72
Crude protein	3.49	16.76	14.11
Ether extract	1.58	1.98	3.20
Neutral detergent fiber	65.72	17.53	16.21
Acid detergent fiber	48.84	9.84	9.46
Crude fiber	31.30	2.70	4.16
Ash	13.01	5.02	5.23
Gross energy (Kcal / kgDM)	NA	3883.70	3976.70
Cost (Bath/kg)	3	9.94	10.68

NA= Not Analyzed

ผลการศึกษาสมรรถภาพการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหาร

ปริมาณการกินได้ของโคเนื้อต่อตัวต่อวันเมื่อเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 3 กลุ่มทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 9 พบว่ามีปริมาณการกินได้ของอาหารข้นเมื่อคิดเป็นกิโลกรัม (kg/d) มีค่าเท่ากับ 5.69 6.86 และ 6.90 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน ตามลำดับซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ในทุกกลุ่มการทดลอง ปริมาณการกินได้ของอาหารข้นเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว (% BW) มีค่าเท่ากับ 1.29 1.48 และ 1.52 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) อย่างไรก็ตามเมื่อคำนวณปริมาณการกินได้ของอาหารข้นต่อน้ำหนักเมแทบอลิก (g/kg BW $^{0.75}$) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 59.32 68.79 และ 67.65 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิก ตามลำดับซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ในทุกกลุ่มการทดลอง

ปริมาณการกินได้ของอาหารหยาบต่อตัวต่อวัน ที่โคได้รับเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มการทดลองทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.27 2.39 และ 2.34 กิโลกรัมของวัตถุแห่งต่อวันตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.05) โดยกลุ่มที่ได้รับการเสริมวิตามินเอ 2 กรัม/วัน (T2) มีปริมาณการกินได้ของอาหารหยาบต่อตัวต่อวันสูงกว่ากลุ่มควบคุม และ กลุ่มที่ได้รับการเสริมวิตามินเอ 2 กรัม/วัน ร่วมกับทอรีน 5 กรัม/วัน (T3) ส่วนปริมาณการกินได้ของอาหารหยาบเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว (% BW) มีค่าเท่ากับ 0.53 0.52 และ 0.51 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และปริมาณการกินได้ของอาหารหยาบเมื่อคิดเป็นกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิก (g/kg BW $^{0.75}$) มีค่าเท่ากับ 24.08 23.93 และ 23.15 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิกตามลำดับ ซึ่งปริมาณการกินได้

ของอาหารหยาบเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวและเมื่อคิดเป็นกรัมต่อกิโลกรัมเมแทบอลิก ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ในทุกกลุ่มการทดลอง

ปริมาณการกินได้ของอาหารทั้งหมดต่อตัวต่อวัน ที่โคได้รับเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มการทดลอง ทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง พบว่าปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.96 9.25 และ 9.20 กิโลกรัมของวัตถุแห้งต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ส่วนปริมาณการกินได้ของอาหารหยาบเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว (% BW) มีค่าเท่ากับ 1.82 2.00 และ 2.03 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และปริมาณการกินได้ของอาหารทั้งหมดเมื่อคิดเป็นกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิก (g/kg BW $^{0.75}$) มีค่าเท่ากับ 83.39 92.71 และ 90.79 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเมแทบอลิก ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ในทุกกลุ่มการทดลอง

ตารางที่ 9 Effect of dietary vitamin A restriction and taurine supplementation on feed intake of fattening beef cattle

Items	Dietary treatments			SEM	*P-value*
	T1	T2	T3		
Concentrate intake					
kg/d	5.69	6.86	6.90	0.29	0.18
%BW	1.29	1.48	1.52	0.05	0.14
g/kg $BW^{0.75}$	59.32	68.79	67.65	2.35	0.21
Roughage intake					
kg/d	2.27	2.39	2.34	0.02	0.10
%BW	0.53	0.52	0.51	0.02	0.97
g/kg $BW^{0.75}$	24.08	23.93	23.15	0.63	0.80
Total intake					
kg/d	7.96	9.25	9.20	0.30	0.14
%BW	1.82	2.00	2.03	0.06	0.34
g/kg $BW^{0.75}$	83.39	92.71	90.79	2.48	0.29

[1]Standard error of the means T1 Control group (Diet with no supplementation), T2 Basal diet supplementation with vitamin A, and T3 Basal diet supplementation with vitamin A and taurine

จากการศึกษาประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของโคเนื้อพบว่าโคแต่ละกลุ่มการทดลองมีสมรรถนะการเจริญเติบโตได้แก่ น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (BWG) อัตราการเจริญเติบโต (ADG) อัตราการกินอาหารได้เฉลี่ยต่อวัน (ADFI) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (FCR) ประสิทธิภาพการใช้อาหาร (Gain/Feed; G/F) และต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตเนื้อ 1 กก. (FCG) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ดังแสดงใน ตารางที่ 10 พบว่าน้ำหนักตัวและการเติบโตของโคเนื้อกลุ่มควบคุม (T1) กลุ่มที่ได้รับการเสริมวิตามินเอ 2 กรัม/วัน (T2) และ กลุ่มที่ได้รับการเสริมวิตามินเอ 2 กรัม/วัน และทอรีน 5 กรัม/วัน (T3) ระยะเวลา 150 วัน น้ำหนักตัวของโคก่อนการทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 367.00 377.25 และ 376.25 กิโลกรัมตามลำดับ น้ำหนักสุดท้ายก่อนเริ่มเข้าสู่ระยะปลายของการขุนโคมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 443.50 437.75 และ 438.75 กิโลกรัมตามลำดับ ระยะต้นของการขุนโคมีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 76.50 60.50 และ 62.50 กิโลกรัมตามลำดับ ระยะปลายของการขุนโคมีน้ำหนักสุดท้ายมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 515.00 522.75 และ 539.00 กิโลกรัมตามลำดับ ช่วงปลายของการขุนโคมีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 71.00 85.00 และ 100.25 กิโลกรัมตามลำดับ ซึ่งจากการทดลองพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P> 0.05) ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Pickworth et al. (2012) และ Oka et al. (1998) ที่ได้ทำการทดลองในลูกผสมแองกัสเพศผู้ และโคเนื้อพันธุ์ทาจิมะวากิว โดยการจำกัดระดับวิตามินเอในสูตรอาหารพบว่า การจำกัดวิตามินในอาหารไม่ส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโต โดยโคในการทดลองครั้งนี้มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย 0.97 กิโลกรัม/ตัว/วัน มีปริมาณการกินได้รวมเฉลี่ย 8.80 กิโลกรัมต่อวัน มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวเฉลี่ย 8.03 กิโลกรัม โดยพบว่าอัตราการเจริญเติบโต ปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อวัน และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว ของโครุ่นลูกผสมชาร์โลเลส์เพศผู้ในงานทดลองนี้ใกล้เคียงกับการรายงานก่อนหน้าของ กัลยา และคณะ (2559) ที่ได้ทำศึกษาสมรรถภาพการเจริญเติบโต และลักษณะซากของโคเนื้อลูกผสมชาร์โรเล่ส์โดยมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย 0.95 กิโลกรัม/ตัว/วัน และมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวเฉลี่ย 10.79 และการรายงานของ Bunmee et al. (2017) ที่ได้ทำศึกษาเปรียบเทียบสมรรถภาพการขุน คุณภาพซาก และเนื้อของโคลูกผสมระหว่างพันธุ์พื้นเมืองกับชาร์โรเลส์แบล็คแองกัส และ บราห์มัน โดยโคเนื้อลูกผสมชาร์โรเล่ส์มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย 0.87 กิโลกรัม/ตัว/วัน

อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ADG) ของโคเนื้อทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง พบว่าในระยะต้นของการขุนโคมีอัตราการเติบโตเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 0.90 1.24 และ 1.31 กิโลกรัมต่อตัวต่อวันตามลำดับ ระยะปลายของการขุนมีอัตราการเติบโตเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 0.86 1.20 และ 1.24 จากการทดลองพบว่าโคกลุ่มควบคุม (T1) มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันต่ำที่สุดซึ่งต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับการเสริมวิตามินเอ 2 กรัม/วัน (T2) และ กลุ่มที่ได้รับการเสริมวิตามินเอ 2 กรัม/วัน และทอรีน 5 กรัม/วัน (T3) แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ในทุกกลุ่มการทดลอง ซึ่ง

สอดคล้องกับการรายงานก่อนหน้าของ Pickworth et al. (2012) ที่ได้ทำการศึกษาผลของระยะเวลาในการขุน และระดับวิตามินเอในอาหารต่อคุณภาพซากโคขุนโดยได้ทำการทดลองในโคลูกผสมแองกัสซึ่งพบว่าอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ADG) ของโคทั้ง 4 กลุ่มการทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.61 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ของโคที่ได้รับวิตามินเอระดับปกติตามคำแนะนำของ (NRC, 2000) ที่ระดับ 2,700 IU / kg DM และโคที่ได้รับการจำกัดระดับวิตามินเอในสูตรอาหารต่ำกว่า 1,100 IU/ kg DM และยังสอดคล้องกับการรายงานของ Harris et al. (2018) ที่ได้รายงานว่าการเสริมวิตามินเอให้โคลูกผสมแองกัสตั้งแต่แรกเกิดไม่ส่งผลต่อ อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันในช่วงขุนโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ระดับ 1.98 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) แต่พบว่าในช่วงแรกเกิดอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันของลูกโคที่ได้รับการเสริมวิตามินเอที่ระดับ 300,00 IU มีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่ากลุ่มที่มีการจำกัดวิตามินเอ

อัตราการกินอาหารได้เฉลี่ยต่อวัน (ADFI) ของโคเนื้อทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง พบว่ามีอัตราการกินอาหารได้เฉลี่ยต่อวันมีค่าเท่ากับ 7.82 8.36 และ 7.90 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ โดยพบว่ากลุ่มควบคุม (T1) มีอัตราการกินอาหารได้เฉลี่ยต่อวันต่ำที่สุดซึ่งต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับการเสริมวิตามินเอ 2 กรัม/วัน (T2) และ กลุ่มที่ได้รับการเสริมวิตามินเอ 2 กรัม/วัน และทอรีน 5 กรัม/วัน (T3) แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกกลุ่มการทดลอง (P>0.05)

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (FCR) ของโคเนื้อทั้ง 3 กลุ่มการทดลองในระยะต้นของการขุนโคพบว่ามีอัตราการกินอาหารได้เฉลี่ยต่อวันมีค่าเท่ากับ 9.33 7.18 และ 7.73 กิโลกรัมต่อตัวต่อวันตามลำดับ ระยะปลายของการขุนโคพบว่ามีอัตราการกินอาหารได้เฉลี่ยต่อวันมีค่าเท่ากับ 10.61 12.74 และ 9.66 ตามลำดับ ซึ่งจากการทดลองพบไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกกลุ่มการทดลอง (P>0.05)

ประสิทธิภาพการใช้อาหาร (Gain/Feed; G/F) ของโคเนื้อทั้ง 3 กลุ่มการทดลองระยะต้นของการขุนโคพบว่ามีประสิทธิภาพการใช้อาหารมีค่าเท่ากับ 0.11 0.14 และ 0.18 ตามลำดับ ระยะปลายของการขุนโคมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.11 0.09 และ 0.10 ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกกลุ่มการทดลอง (P>0.05)

อัตราต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนัก (FCG) 1 กิโลกรัม ของโคเนื้อทั้ง 3 กลุ่มการทดลองพบว่าระยะต้นของการขุนมีอัตราต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนัก 1 กิโลกรัม มีค่าเท่ากับ 92.70 71.40 และ 76.79 บาท ในระยะปลายของการขุนมีค่าเท่ากับ 113.27 136.09 และ 103.14 บาท ตามลำดับซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกกลุ่มการทดลอง (P>0.05)

จากการศึกษาผลของประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของโคเนื้อในการทดลองนี้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้าของ Bryant et al. (2010) ที่ได้ทำการเสริมวิตามินเอที่ระดับ 0 1103

2205 4410 และ 8820 IU/kg of DM พบว่าอัตราการเจริญเติบโตไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P< 0.05) ในทุกกลุ่มการทดลอง ในขณะที่ Harris et al. (2018) ได้ทำการเสริมวิตามินเอที่ระดับ 0 150,000 300,000 IU/ตัว/ครั้ง พบว่าอัตราการเจริญเติบโตในช่วงอายุแรกเกิดถึงช่วงหย่านม มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) โดยพบว่าโคที่ได้รับการเสริมวิตามินเอที่ระดับ 150,000 และที่ระดับ 300,000 IU/ตัว/ครั้ง มีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่าโคกลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริมวิตามินเอ ต่างจากช่วงโครุ่น และช่วงขุนอัตราการเจริญเติบโตไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P< 0.05) ในทุกกลุ่มการทดลอง ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการเสริม หรือการจำกัดวิตามินเอมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของโค โดยให้เหตุผลว่าปัจจัยของช่วงอายุโคที่ได้รับการเสริมหรือจำกัดวิตามินเอ และระดับของการเสริมวิตามินเอส่งผลต่อการพัฒนาต่อเซลล์ไขมัน โดย Harris et al. (2018) สรุปได้ว่าการเสริมวิตามินเอตั้งแต่ช่วงแรกเกิดมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของโคช่วงหลังหย่านม และ สามารถเพิ่มระดับไขมันแทรกในกล้ามเนื้อโค ดั้งนั้นการเสริมวิตามินเอจึงเป็นวิธีการสำหรับการเพิ่มระดับไขมันแทรกในกล้ามเนื้อ และสามารถเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของโคในระยะแรกของโคเนื้อ

ตารางที่ 10 Effect of Dietary vitamin A restriction and taurine supplementation on growth performance of fattening beef cattle

Items	T1	T2	T3	SEM[1]	*P-value*
Growing (250-400 kg)					
Initial body weight (kg)	367.00	377.25	376.25	21.43	0.99
Final body weight (kg)	443.50	437.75	438.75	10.62	0.98
Body weight gain (kg)	76.50	60.50	62.50	13.12	0.91
Average daily gain; ADG (kg/day)	0.90	1.24	1.31	0.14	0.61
Average daily feed intake; ADFI (kg DM)	8.42	8.66	7.68	0.50	0.72
Feed conversion ratio; FCR	9.33	7.18	7.73	1.05	0.80
Gain/Feed (G/F)	0.11	0.14	0.18	0.02	0.49
Feed conversion per gain; FCG	92.70	71.40	76.79	10.42	0.80
Finishing (400-600 kg)					
Initial body weight (kg)	443.50	437.75	438.75	10.57	0.98
Final body weight (kg)	515.00	522.75	539.00	18.27	0.90
Body weight gain (kg)	71.00	85.00	100.25	10.33	0.62
Average daily gain; ADG (kg/day)	0.86	1.20	1.24	0.19	0.80
Average daily feed intake; ADFI (kg DM)	8.99	13.34	11.43	1.35	0.55
Feed conversion ratio; FCR	10.61	12.74	9.66	1.15	0.53
Gain/Feed (G/F)	0.11	0.09	0.10	0.01	0.58
Feed conversion per gain; FCG	113.27	136.09	103.14	12.29	0.53

[a,b]Means within the same row with different superscripts differ significantly (P<0.05)

[1]Standard error of the means, T1 Control group (Diet with no supplementation), T2 Basal diet supplementation with vitamin A, and T3 Basal diet supplementation with vitamin A and taurine

องค์ประกอบทางเคมีในเลือดโค

ค่าพารามิเตอร์ในเลือดของโคทั้งสามกลุ่มในช่วงเริ่มต้นการทดลองแสดงในตารางที่ 12 โดยค่าปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง เซลล์เม็ดเลือดขาว ความเข้มข้นของไตรกลีเซอไรด์ คลอเรสเตอรอล และ วิตามินเอในซีรัม ไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละกลุ่มการทดลอง (P>0.05) ยกเว้นปริมาณเซลล์เม็ดเลือดขาวชนิด eosinophils ในกลุ่มควบคุมมีปริมาณที่สูงกว่ากลุ่มที่มีการเสริมวิตามินเอ และ

กลุ่มที่เสริมด้วยวิตามินเอและทอรีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) แต่อย่างไรก็ตามปริมาณเม็ดเลือดขาวชนิด eosinophils รวมถึงปริมาณเม็ดเลือดขาวและเม็ดเลือดแดงในการศึกษาครั้งนี้อยู่ในระดับช่วงปกติ (reference value) ตามเกณฑ์ของ Wark et al. (2000)

ตารางที่ 11 Effect of dietary vitamin A restriction and taurine supplementation on blood chemistry parameters of fattening beef cattle (Initial period)

Items	T1	T2	T3	SEM[1]	*P-value*
Red Blood Cell (x10^6 cells/mm^3)	8.28	7.93	8.40	0.20	0.64
Hemoglobin (g/dl)	10.68	10.36	10.53	0.25	0.91
Hematocrit (%)	34.50	33.50	34.75	0.99	0.89
White Blood Cell (cells/mm^3)	11500	13200	14650	825.25	0.33
Neutrophils (%)	74.50	73.75	73.75	1.17	0.96
Eosinophils (%)	2.50[b]	0.75[a]	0.50[a]	0.31	0.01
Lymphocytes (%)	20.50	24.25	23.50	1.29	0.50
Monocytes (%)	2.50	1.25	2.25	0.37	0.38
Triglyceride (mg/dl)	39.50	41.25	40.75	0.86	0.73
Cholesterol (mg/dl)	103.75	109.00	117.25	4.35	0.49
Serum Vitamin A (µg/L)	273.50	258.50	231.00	36.71	0.93

[a,b]Means within the same row with different superscripts differ significantly (P<0.05)
[1]Standard error of the means T1 Control group (Diet with no supplementation), T2 Basal diet supplementation with vitamin A, and T3 Basal diet supplementation with vitamin A and taurine

สำหรับค่าพารามิเตอร์ในเลือดของโคทั้งสามกลุ่มเมื่อสิ้นสุดการแสดงในตารางที่ 12 พบว่าจำนวนเซลล์เม็ดเลือดแดงในกลุ่มที่มีการเสริมวิตามินเอและกลุ่มที่เสริมวิตามินเอร่วมกับกรดอะมิโนทอรีนมีปริมาณสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยอาหารพื้นฐานที่ใช้ในงานทดลองเป็นอาหารที่มีการจำกัดวิตามินเอให้ต่ำกว่าความต้องการของโคเนื้อที่ระดับต่ำกว่า 2,200 IU/kg DM ซึ่งอาจทำให้โคในกลุ่มควบคุมอยู่ในสภาวะขาดวิตามินเอ มีการรายงานก่อนหน้าของ Semba and Bloem (2002) ได้รายงานว่าวิตามินเออาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตและสร้างความแตกต่างของเซลล์ต้นกำเนิดเม็ดเลือดแดง การเปลี่ยนแปลงระดับของวิตามินเอในซีรัม ในการศึกษาครั้งนี้มีความแตกต่างในแต่ละกลุ่มการทดลอง โดยระดับของวิตามินเอในซีรัมช่วงท้ายของการทดลองในกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เสริมวิตามินเอร่วมกับทอรีนมีต่ำกว่ากลุ่มที่มีการเสริมเฉพาะวิตามินเอใน

อาหารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Pickworth et al. (2012) และ Oka et al. (1998) ซึ่งโคที่ได้รับการจำกัดวิตามินเอมีระดับซีรัมวิตามินเอที่ระดับ 214 µg/L ส่วนในการทดลองของ Pickworth et al. (2012)โคกลุ่มที่มีการจำกัดระดับวิตามินเอมีซีรัมวิตามินเอที่ระดับ 138 µg/L โดยกลุ่มที่มีการจำกัดระดับวิตามินเอมีซีรัมวิตามินเอต่ำลงด้วย ซึ่งระดับวิตามินเอในอาหารมีความสัมพันธ์กับระดับวิตามินเอในซีรัมโดยตรง จากการศึกษาในครั้งนี้จะเห็นได้ว่ากลุ่มที่มีการเสริมวิตามินเอจะมีระดับวิตามินเอในซัมสูงกว่ากลุ่มการทดลองอื่น

ตารางที่ 12 Effect of dietary vitamin A restriction and taurine supplementation on blood chemistry parameters of fattening beef cattle (final period)

Items	T1	T2	T3	SEM[1]	*P-value*
Red Blood Cell (x10^6 cells/mm^3)	6.40[a]	7.40[b]	7.76[b]	0.23	0.02
Hemoglobin (g/dl)	9.57	10.23	10.86	0.33	0.29
Hematocrit (%)	31.33	33.75	36.00	1.12	0.25
White Blood Cell (cells/mm^3)	12100	12350	7900	1050.21	0.12
Neutrophils (%)	67.33	71.50	57.75	3.75	0.34
Eosinophils (%)	24.25[b]	4.50[a]	8.25[a]	3.34	0.02
Lymphocytes (%)	20.50	21.50	30.75	2.46	0.18
Monocytes (%)	3.75	2.50	3.25	0.61	0.74
Triglyceride (mg/dl)	8.33	8.00	16.25	0.86	0.51
Cholesterol (mg/dl)	89.67	121.25	120.25	7.04	0.11
Serum Vitamin A (µg/L)	20.50[a]	102.50[b]	89.00[a]	17.31	0.03

[a,b]Means within the same row with different superscripts differ significantly (P<0.05) [1]Standard error of the means, T1 Control group (Diet with no supplementation), T2 Basal diet supplementation with vitamin A, and T3 Basal diet supplementation with vitamin A and taurine

ผลการศึกษาด้านคุณภาพซาก

การศึกษาคุณภาพซากโคเนื้อในงานทดลองนี้จะเป็นการตัดแต่งซากแบบไทย จากการศึกษาผลของการเสริมวิตามินเอในสูตรอาหารต่อคุณภาพซากของโคเนื้อทั้ง 3 กลุ่ม คือ กลุ่มควบคุม (T1) กลุ่มที่ได้รับการเสริมวิตามินเอ 2 กรัม/วัน (T2) และ กลุ่มที่ได้รับการเสริมวิตามินเอ 2 กรัม/วัน และทอรีน 5 กรัม/วัน (T3) โดยผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 13 – 15 โดยมีรายละเอียดดังนี้

น้ำหนักมีชีวิตก่อนฆ่าของโคเนื้อทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง พบว่าน้ำหนักมีชีวิตก่อนฆ่าเท่ากับ 534.00 583.25 และ 603.50 กิโลกรัมตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ในทุกกลุ่มการทดลอง

น้ำหนักซากอุ่นของโคเนื้อทั้ง 3 กลุ่มทดลอง พบว่าน้ำหนักซากอุ่นมีค่าเท่ากับ 292.30 352.48 และ 362.07 กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งน้ำหนักซากอุ่นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกกลุ่มการทดลอง (P>0.05) แต่พบว่าโคเนื้อกลุ่มควบคุม (T1) มีน้ำหนักซากอุ่นน้อยกว่าโคกลุ่มอื่น

เปอร์เซ็นต์ซากอุ่นของโคเนื้อทั้ง 3 กลุ่มทดลอง พบว่าเปอร์เซ็นต์ซากอุ่นมีค่าเท่ากับ 55.91 61.45 และ 60.24 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งเปอร์เซ็นต์ซากอุ่นของโคเนื้อทั้ง 3 กลุ่มทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกกลุ่มการทดลอง (P>0.05) แต่พบว่าโคเนื้อกลุ่มที่ได้รับการเสริมวิตามินเอ 2 กรัม/วัน (T2) มีเปอร์เซ็นต์ซากอุ่นสูงกว่ากลุ่มควบคุม (T1) และ กลุ่มที่ได้รับการเสริมวิตามินเอ 2 กรัม/วัน

ความหนาของไขมันสันหลัง และ พื้นที่หน้าตัดเนื้อสันของโคเนื้อทั้ง 3 กลุ่มทดลอง พบว่าความหนาของไขมันสันหลังมีค่าเท่ากับ 17.83 15.11 และ 14.20 มิลลิเมตร โดยกลุ่มควบคุม มีความหนาไขมันสันหลังสูงกว่ากลุ่มอื่น พื้นที่หน้าตัดเนื้อสันมีค่าเท่ากับ 139.80 137.13 และ 125.38 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกกลุ่มการทดลอง (P>0.05)

เปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนต่างๆ ที่ได้จากการตัดแต่งซากของโคเนื้อทั้ง 3 กลุ่มทดลอง พบว่าเปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนของกระดูกมีค่าเท่ากับ 15.09 12.24 และ 16.13 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนของไขมัน และเอ็นมีค่าเท่ากับ 7.05 8.16 และ 9.49 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนเนื้อแดง 81.74 83.07 และ 76.22 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกกลุ่มการทดลอง (P>0.05)

เปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนอวัยวะภายในและภายนอกที่ได้จากการตัดแต่งซากของโคเนื้อทั้ง 3 กลุ่มทดลอง พบว่าเปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนอวัยวะภายในประกอบด้วย หัวใจ ตับ ปอด ม้าม กระเพาะ ลำไส้เล็ก ลำไส้ใหญ่ มีค่าเท่ากับ 6.81 5.62 และ 5.16เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนอวัยวะภายนอกประกอบด้วย หัวและเขา หนัง แข้งและกีบ หาง ลิ้น มีค่าเท่ากับ 14.80 10.62 และ 14.66เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนของอวัยวะสืบพันธุ์ (ลึงค์ และลูกอัณฑะ) มีค่าเท่ากับ 3.20 2.46 และ 2.95 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จากการศึกษาเปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนอวัยวะภายในและภายนอกที่ได้จากการตัดแต่งซากของโคเนื้อทั้ง 3 กลุ่มทดลอง พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกกลุ่มการทดลอง (P>0.05)

ตารางที่ 13 Effect of dietary Vitamin A restriction and taurine supplementation on carcass characteristics of fattening beef cattle

Carcass characteristics	T1	T2	T3	SEM[1]	*P*-value
Slaughter weight (kg)	534.00	580.00	606.75	23.26	0.54
Hot carcass weight (kg)	298.79	355.25	365.35	17.40	0.29
Dressing percentage (%)	55.90	61.46	60.23	1.76	0.51
Back fat thickness, mm	17.83	15.11	14.20	1.02	0.40
Loin eye area, cm^2	139.80	137.13	125.38	5.75	0.67

[a,b]Means within the same row with different superscripts differ significantly (P<0.05)

[1]Standard error of the means, T1 Control group (Diet with no supplementation), T2 Basal diet supplementation with vitamin A, and T3 Basal diet supplementation with vitamin A and taurine

ตารางที่ 14 Effect of dietary vitamin A restriction and taurine supplementation on carcass composition of fattening beef cattle (kg)

Carcass composition (kg)	T1	T2	T3	SEM[1]	P-value
Red meat					
Fat[2] and Tendon	20.88	28.61	34.41	4.04	0.49
Bone	44.89	43.18	58.98	3.99	0.23
Internal organ (% of live weight)	35.85[a]	32.60[b]	31.30[b]	0.91	0.04
head, horn, skin, shin, hoof, tail	79.45	62.05	88.90	6.99	0.35
penis and testicle	1.75	1.50	1.75	0.17	0.85

[1]Standard error of the means, T1 Control group (Diet with no supplementation), T2 Basal diet supplementation with vitamin A, and T3 Basal diet supplementation with vitamin A and taurine; [2]subcutaneous fat, visceral fat, intermuscular fat; [3]heart, liver, spleen, gastric, small intestine, large intestine

ตารางที่ 15 Effect of dietary Vitamin A restriction and taurine supplementation on carcass composition of fattening beef cattle (%)

Carcass composition (%)	T1	T2	T3	SEM[1]	P-value
Red meat					
Fat[2] and tendon	7.05	8.16	9.49	1.09	0.76
Bone	15.09	12.24	16.13	1.00	0.31
Internal organ (% of live weight)	6.81	5.62	5.16	0.37	0.16
Head, horn, skin, shin, hoof, tail	14.80	10.62	14.66	1.00	0.13
Penis and testicle	3.20	2.46	2.95	0.31	0.74

[1]Standard error of the means, T1 Control group (Diet with no supplementation), T2 Basal diet supplementation with vitamin A, and T3 Basal diet supplementation with vitamin A and taurine; [2]subcutaneous fat, visceral fat, intermuscular fat; [3]heart, liver, spleen, gastric, small intestine, large intestine

องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อโค

จากการทดลองพบว่าองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อโคส่วนกล้ามเนื้อสันนอกของทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง ค่าเปลี่ยนแปลงความชื้นวัตถุแห้ง เถ้า โปรตีนหยาบ ไขมัน และ พลังงานรวมของทั้ง 3 กลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ซึ่งมีความชื้นเท่ากับ 92.39 90.42 และ 91.26 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักวัตถุแห้ง มีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 23.05 24.45 และ 23.50 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักวัตถุแห้ง ปริมาณเถ้าเท่ากับ 5.18 4.48 และ 4.71 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักวัตถุแห้ง มีปริมาณไขมันเท่ากับ 15.70 12.17 และ 14.01 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักวัตถุแห้ง และมีระดับพลังงาน 5318.70 5128.85 และ 5314.88 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง

สำหรับกล้ามเนื้อสะโพกไม่มีการเปลี่ยนแปลงของความชื้นในเนื้อ ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) โดยมีค่าความชื้นในเนื้อสะโพกเท่ากับ 91.38 89.31 และ 92.21 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักวัตถุแห้ง มีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 24.76 26.25 และ 25.85 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักวัตถุแห้งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ปริมาณเถ้าเท่ากับ 4.66 3.34 และ 4.30 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักวัตถุแห้ง มีปริมาณไขมันเท่ากับ 11.32 11.68 และ 13.79 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักวัตถุแห้ง และมีระดับพลังงาน 5643.46 5225.85 และ 5415.33 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง ซึ่งเนื้อสะโพกมีปริมาณความชื้นเถ้า และไขมัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ทุกกลุ่มการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 15

เปอร์เซ็นต์โปรตีนและเปอร์เซ็นต์ไขมันในเนื้อโค มีความสัมพันธ์กันในเชิงลบ (Bonilha et al., 2011; Van Koevering et al., 1995) นั่นคือ หากเนื้อโคมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนสูงก็จะมี เปอร์เซ็นต์ไขมันต่ำลง ซึ่งการทดลองนี้สอดคล้องกับรายงานดังกล่าวโดยเปอร์เซ็นต์โปรตีนและ เปอร์เซ็นต์ไขมันมีความสัมพันธ์ในลักษณะตรงข้ามกัน

ตารางที่ 16 Effect of dietary vitamin A restriction and taurine supplementation on chemical composition of *Longgisimus dorsi* muscle and *Semimembranosus* muscle of fattening beef cattle

Chemical composition	T1	T2	T3	SEM[1]	*P-value*
Longgisimus dorsi					
Moisture, %	92.39	90.42	91.26	0.55	0.44
Protein, %	23.05	24.45	23.50	0.49	0.60
Fat, %	15.70	12.17	14.01	0.94	0.39
Ash, %	5.18	4.48	4.71	0.41	0.85
Gross energy (kcal. / kg.DM)	5318.70	5128.85	5314.88	80.11	0.66
Semimembranosus					
Moisture, %	91.38	89.31	92.21	1.09	0.65
Protein, %	24.76	26.25	25.85	0.60	0.68
Fat, %	11.32	11.68	13.79	0.71	0.38
Ash, %	4.66	3.34	4.30	0.34	0.31
Gross energy (kcal. / kg.DM)	5643.46	5225.85	5415.33	100.72	0.28

[a,b]Means within the same row with different superscripts differ significantly (P<0.05)

[1]Standard error of the means, T1 Control group (Diet with no supplementation), T2 Basal diet supplementation with vitamin A, and T3 Basal diet supplementation with vitamin A and taurine

ผลการศึกษาคุณภาพของเนื้อโค

จากการศึกษาผลของการเสริมวิตามินเอและการเสริมทอรีนในอาหารต่อคุณภาพเนื้อของโคเนื้อลูกผสมชาร์โรเล่ทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง คือกลุ่มควบคุม (T1) กลุ่มที่ได้รับการเสริมวิตามินเอ 2 กรัม/วัน (T2) และ กลุ่มที่ได้รับการเสริมวิตามินเอ 2 กรัม/วัน และทอรีน 5 กรัม/วัน (T3) โดยผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 16 17 และ 18 โดยมีรายละเอียดดังนี้

ค่าสีของเนื้อ

ค่าสีของเนื้อโคทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง จะทำการวัดที่กล้ามเนื้อสันนอก และกล้ามเนื้อสะโพกหลังจากการเชือด 45 นาที และที่ 24 ชั่วโมงหลังการเชือด โดยมีรายละเอียดดังนี้

ค่าสีของเนื้อสันนอกหลังการเชือด 45 นาที ค่าความสว่าง (Lightness, L*) ของโคเนื้อทั้ง 3 กลุ่มทดลอง พบว่าเนื้อสันนอกมีค่าความสว่างเท่ากับ 35.76 34.67 และ 35.02 ตามลำดับ ค่าความเป็นสีแดงของเนื้อ (redness, a*) มีค่าเท่ากับ 48.61 39.80 และ 43.50 ตามลำดับ ค่าความเป็นสีเหลือง (yellowness, b*) ของเนื้อมีค่าเท่ากับ 0.69 0.82 และ 1.04 ตามลำดับ ค่าความอิ่มตัวของสี (Chroma, c*) มีค่าเท่ากับ 18.05 17.27 และ 17.52 ตามลำดับ และค่าเฉดสี (Hue angle, h*) มีค่าเท่ากับ 2.17 2.80 และ 3.31 ตามลำดับ ซึ่งค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดง ค่าความเป็นสีเหลือง ค่าความอิ่มตัวของสี และค่าเฉดสี ของเนื้อสันนอกที่วัดหลังจากการเชือด 45 นาที ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกกลุ่มการทดลอง ($P>0.05$) แต่พบว่าค่าความเป็นสีแดงของกลุ่มควบคุม มีระดับที่สูงกว่ากลุ่มอื่น และยังพบว่าค่าความเป็นสีเหลืองของกลุ่มที่ได้รับการเสริมวิตามินเอ 2 กรัม/วัน และทอรีน 5 กรัม/วัน มีระดับที่สูงกว่ากลุ่มอื่น

ค่าสีของเนื้อสะโพกหลังการเชือด 45 นาที ค่าความสว่าง (Lightness, L*) ของโคเนื้อทั้ง 3 กลุ่มทดลอง พบว่า เนื้อสันนอกมีค่าความสว่างเท่ากับ 40.30 32.12 และ 32.99 ตามลำดับ ค่าความเป็นสีแดงของเนื้อ (redness, a*) มีค่าเท่ากับ 17.76 15.86 และ 17.55 ตามลำดับ ค่าความเป็นสีเหลือง (yellowness, b*) ของเนื้อมีค่าเท่ากับ 6.57 0.70 และ2.09 ตามลำดับ ค่าความอิ่มตัวของสี (Chroma, c*) มีค่าเท่ากับ 19.78 15.88 และ 17.68 ตามลำดับ และค่าเฉดสี (Hue angle, h*) มีค่าเท่ากับ 19.36 5.57 และ 6.66 ตามลำดับ ซึ่งค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดง ค่าความเป็นสีเหลือง ค่าความอิ่มตัวของสี และค่าเฉดสี ของเนื้อสันนอกที่วัดหลังจากการเชือด 45 นาที ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกกลุ่มการทดลอง ($P>0.05$) แต่พบว่าค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลืองของเนื้อสันนอกของโคกลุ่มควบคุมมีระดับที่สูงกว่ากลุ่มอื่น

ค่าสีของเนื้อสันนอก 24 ชั่วโมงหลังการเชือด ค่าความสว่าง (Lightness, L*) ของโคเนื้อทั้ง 3 กลุ่มทดลอง พบว่า เนื้อสันนอกมีค่าความสว่างเท่ากับ 40.88 43.33 และ 42.18 ตามลำดับ ค่าความเป็นสีแดงของเนื้อ (redness, a*) มีค่าเท่ากับ 21.71 19.72 และ 22.64 ตามลำดับ และค่า

ความเป็นสีเหลือง (yellowness, b*) ของเนื้อมีค่าเท่ากับ 6.10 5.01 และ 8.20 ตามลำดับ ค่าความอิ่มตัวของสี (Chroma, c*) มีค่าเท่ากับ 22.57 20.40 และ 24.08 ตามลำดับ และค่าเฉดสี (Hue angle, h*) มีค่าเท่ากับ 9.07 13.99 และ 19.62 ตามลำดับ ซึ่งค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดง ค่าความเป็นสีเหลือง ค่าความอิ่มตัวของสี และค่าเฉดสี ของเนื้อสันนอกที่วัดหลังจากการเชือด 24 ชั่วโมง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกกลุ่มการทดลอง (P>0.05) แต่พบว่าค่าความสว่างของเนื้อสันนอกของกลุ่มที่ได้รับการเสริมวิตามินเอ 2 กรัม/วัน มีระดับที่สูงกว่ากลุ่มอื่น และยังพบว่าค่าความเป็นสีเหลืองของกลุ่มที่ได้รับการเสริมวิตามินเอ 2 กรัม/วัน และทอรีน 5 กรัม/วัน มีระดับที่สูงกว่ากลุ่มอื่น

ค่าสีของเนื้อสะโพก 24 ชั่วโมงหลังการเชือด ค่าความสว่าง (Lightness, L*) ของโคเนื้อทั้ง 3 กลุ่มทดลอง พบว่า เนื้อสันนอกมีค่าความสว่างเท่ากับ 48.6 39.80 และ 43.50 ตามลำดับ ค่าความเป็นสีแดงของเนื้อ (redness, a*) มีค่าเท่ากับ 16.75 18.95 และ 18.22 ตามลำดับ ค่าความเป็นสีเหลือง (yellowness, b*) ของเนื้อมีค่าเท่ากับ 7.91 5.03 และ 5.39 ตามลำดับ ค่าความอิ่มตัวของสี (Chroma, c*) มีค่าเท่ากับ 19.20 19.63 และ 19.00 ตามลำดับ และค่าเฉดสี (Hue angle, h*) มีค่าเท่ากับ 25.14 14.76 และ 16.45 ตามลำดับ ซึ่งค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดง ค่าความเป็นสีเหลือง ค่าความอิ่มตัวของสี และค่าเฉดสีของเนื้อสันนอกที่วัดหลังจากการเชือด 24 ชั่วโมง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกกลุ่มการทดลอง (P>0.05) แต่พบว่าค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลืองของเนื้อสันนอกของโคกลุ่มควบคุมมีระดับที่สูงกว่ากลุ่มอื่น

จากการวิเคราะห์ค่าความสว่างของเนื้อแดง (Lightness, L*) ค่าความเป็นสีแดงของเนื้อ (redness, a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (yellowness, b*) เมื่อทำการวัดที่ 45 นาที และที่ 24 ชั่วโมง หลังการเชือดพบว่าจากการทดลองผลของการจำกัดวิตามินเอและการเสริมทอรีนในอาหารต่อคุณภาพเนื้อของโคขุนพบว่าค่าสีของเนื้อแดง (L*, a*, b*) ของกล้ามเนื้อสันนอก และกล้ามเนื้อสะโพกหลังจากการเชือด 45 นาที และที่ 24 ชั่วโมงหลังการเชือดของทั้งสามกลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) แต่พบว่าสีของเนื้อสันนอก และเนื้อสะโพก a* (สีแดง) ของกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่ได้รับการเสริมวิตามินเอร่วมกับทอรีนมีแนวโน้มที่สูงกว่ากลุ่มที่ได้รับการเสริมวิตามินเอเพียงอย่างเดียว เมื่อวัดค่าสีของเนื้อแดง (L*, a*, b*) ที่วัดหลังจากการเชือด 24 ชั่วโมง พบว่าค่าเสียของเนื้อแดงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกกลุ่มการทดลอง

ตารางที่ 17 Effect of dietary Vitamin A restriction and taurine supplementation on color of *Longgisimus dorsi* muscle and *Semimembranosus* muscle of fattening beef cattle

Item		T1	T2	T3	SEM[1]	*P-value*
Color at 45-minute postmortem						
LD	L*	35.76	34.67	35.02	0.49	0.75
	a*	48.61	39.80	43.50	2.30	0.46
	b*	0.69	0.82	1.04	0.17	0.78
	Hue angle	2.17	2.80	3.31	0.53	0.78
	Chroma	18.05	17.27	17.52	0.40	0.81
SM	L*	40.30	32.12	32.99	2.82	0.54
	a*	17.76	15.86	17.55	0.56	0.40
	b*	6.57	0.70	2.09	1.85	0.50
	Hue angle	19.36	5.57	6.66	5.13	0.59
	Chroma	19.78	15.88	17.68	0.86	0.17
Color at 24-hour postmortem						
LD	L*	40.88	43.33	42.18	1.97	0.92
	a*	21.71	19.72	22.64	1.54	0.82
	b*	6.10	5.01	8.20	0.97	0.50
	Hue angle	9.07	13.99	19.62	2.75	0.36
	Chroma	22.57	20.40	24.08	1.72	0.78
SM	L*	48.61	39.80	43.50	2.53	0.50
	a*	16.75	18.95	18.22	1.01	0.76
	b*	7.91	5.03	5.39	1.36	0.75
	Hue angle	25.14	14.76	16.45	4.43	0.70
	Chroma	19.20	19.63	19.00	0.87	0.97

[1]Standard error of the means, T1 Control group (Diet with no supplementation), T2 Basal diet supplementation with vitamin A, and T3 Basal diet supplementation with vitamin A and taurine, LD = *Longgisimus dorsi* muscle, SM = *Semimembranosus* muscle

ค่าความเป็นกรดด่าง

ค่าความเป็นกรดด่างหลังการเชือด 45 นาที ของโคเนื้อทั้ง 3 กลุ่มการทดลองพบว่าค่าความเป็นกรดด่างของกล้ามเนื้อเนื้อสันนอกมีค่าเท่ากับ 6.64 6.43 และ 6.36 ตามลำดับ และค่าความเป็นกรดด่างของกล้ามเนื้อสะโพกมีค่าเท่ากับ 6.20 6.42 และ 6.54 ตามลำดับ ส่วนค่าความเป็นกรดด่างที่ 24 ชั่วโมงหลังฆ่า ของกล้ามเนื้อสันนอกมีค่าเท่ากับ 5.45 5.47 และ 5.23 ตามลำดับ และ ค่าความเป็นกรดด่างของกล้ามเนื้อสะโพกมีค่าเท่ากับ 6.10 5.46 และ 5.33 ตามลำดับ ซึ่งความเป็นกรดด่างที่ 45 นาที และ 24 ชั่วโมงหลังการฆ่าของกล้ามเนื้อสันนอก และกล้ามเนื้อสะโพกไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกกลุ่มการทดลอง (P>0.05)

จากผลการศึกษาค่าความเป็นกรดด่าง จะลดลงเมื่อเวลาผ่านไปโดย ชัยณรงค์ (2529) กล่าวไว้ว่าโดยทั่วไปขณะที่สัตว์มีชีวิตกล้ามเนื้อจะมีความเป็นกรดด่างประมาณ 7.2 แต่ภายหลังจากสัตว์ ที่ตายแล้วกล้ามเนื้อจะมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีโดยเกิดจากกรดแลคติกที่สะสมในกล้ามเนื้อถูกนำไปสร้างเป็นไกลโคเจนทำให้มีค่าความเป็นกรดด่างลดลงเหลือประมาณ 5.8-6.3 ซึ่งค่าความเป็นกรดด่างที่ลดลงมากหรือน้อยจะสัมพันธ์กับความนุ่มของเนื้อและค่าความสว่างของเนื้อ และจากการศึกษาของ จุฑารัตน์ และคณะ (2540) ได้รายงานผลไว้ว่า เนื้อที่มีค่าความเป็นกรดด่างเมื่อวัดที่ 45 นาทีหลังการฆ่า จะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 6 ถือว่าเป็นค่าปกติ ค่าที่ต่ำหรือสูงกว่านี้ส่งผลต่อการจับตัวของน้ำในเนื้อโคได้ หรือค่าการสูญเสียน้ำจากการเก็บการรักษา

ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ

จากการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อโคทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง พบว่าค่าการสูญเสียน้ำจากการทำให้สุกด้วยการต้มของเนื้อสันนอกที่ผ่านการแช่เย็น 24 ชั่วโมง นั้นมีค่าเท่ากับ 28.95 40.71 และ 33.55 ตามลำดับ และค่าการสูญเสียน้ำจากการทำให้สุกด้วยการต้มของเนื้อสะโพกมีค่าเท่ากับ 40.83 23.46 และ 33.98 ตามลำดับ ซึ่งค่าการสูญเสียน้ำจากการทำให้สุกด้วยการต้มของเนื้อสันนอก และเนื้อสะโพกที่ผ่านการแช่เย็น 24 ชั่วโมง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกกลุ่มการทดลอง (P>0.05) ค่าการสูญเสียน้ำจากการทำให้สุกด้วยการต้มของเนื้อสันนอกที่ผ่านการแช่เย็น 7 วัน มีค่าเท่ากับ 28.90 24.88 และ 26.90 ตามลำดับ ซึ่งค่าการสูญเสียน้ำจากการทำให้สุกด้วยการต้มของเนื้อสันนอกที่ผ่านการแช่เย็น 7 วัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกกลุ่มการทดลอง (P>0.05) และค่าการสูญเสียน้ำจากการทำให้สุกด้วยการต้มของเนื้อสะโพกผ่านการแช่เย็น 7 วัน มีค่าเท่ากับ 32.18 28.88 และ 23.90 พบว่าค่าการสูญเสียน้ำจากการทำให้สุกด้วยการต้มของเนื้อสะโพกที่ผ่านการแช่เย็น 7 วัน ของกลุ่มควบคุมมีค่าการสูญเสียน้ำจากการทำให้สุกด้วยการต้มมีค่ามากที่สุด และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P< 0.05)

ค่าการสูญเสียน้ำจากการแช่เย็นของเนื้อโคทั้ง 3 กลุ่มการทดลองพบว่ามีค่าการสูญเสียน้ำจากการแช่เย็นของเนื้อสันนอกเท่ากับ 7.44 5.37 และ 7.71 ตามลำดับ และการสูญเสียน้ำจากการแช่เย็นของเนื้อสะโพกเท่ากับ 6.07 6.97 และ 7.80 ตามลำดับ ซึ่งการสูญเสียน้ำจากการแช่เย็นของเนื้อสันนอก และเนื้อสะโพกของเนื้อโคทั้ง 3 กลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกกลุ่มการทดลอง (P>0.05)

ค่าการสูญเสียน้ำจากการแช่แข็งของเนื้อสันนอกในเนื้อโคทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง พบว่ามีค่าการสูญเสียน้ำจากการแช่แข็งมีค่าเท่ากับ 7.35, 7.83 และ 18.18 ตามลำดับ ซึ่งการสูญเสียน้ำจากการแช่แข็งของเนื้อสันนอก และเนื้อสะโพกไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกกลุ่มการทดลอง (P>0.05)

จากการศึกษาค่าการสูญเสียน้ำจากการปรุงสุกของกล้ามเนื้อสันนอกของกลุ่มควบคุมมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับการเสริมวิตามินเอเพียงอย่างเดียว และกลุ่มที่ได้รับการเสริมวิตามินเอร่วมกับทอรีนทั้งสามกลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) การสูญเสียน้ำจากการแช่เย็นของกลุ่มที่ได้รับการเสริมวิตามินเอเพียงอย่างเดียวมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำต่ำกว่ากลุ่มอื่น ส่วนการสูญเสียน้ำจากการแช่เย็นของเนื้อส่วนสันนอกพบว่ากลุ่มที่ได้รับการเสริมวิตามินเอร่วมกับทอรีนมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำมากกว่ากลุ่มอื่นแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) ซึ่งในส่วนของเนื้อสะโพกการสูญเสียน้ำจากการปรุงสุก สูญเสียน้ำจากการแช่เย็น และการแช่แข็งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกกลุ่มการทดลอง (P>0.05) แต่พบว่าเนื้อที่บ่มแช่เย็นไว้ 7 วัน ที่นำมาทดสอบการสูญเสียน้ำจากการปรุงสุกพบว่ากลุ่มที่ได้รับการเสริมวิตามินเอร่วมกับทอรีนมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำต่ำกว่ากลุ่มอื่น การศึกษาก่อนหน้าของ ชัยณรงค์ (2529) รายงานว่า กล้ามเนื้อที่มีค่าความเป็นกรดด่างกรรมจะมีความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนในเนื้อสัตว์ลดลงจึงส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Stanišić et al. (2012) ที่ได้ทำการบ่มเนื้อที่ 1 และ 7 วัน เนื้อจะมีการสูญเสียน้ำหนักจากการเก็บรักษา จากการปรุงสุกน้อยลงแต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) โดย Yanez-Ocampo et al. (2009) ได้รายงานว่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อเป็นลักษณะหนึ่งของคุณภาพเนื้อที่มีความสำคัญเนื่องจากเป็นลักษณะที่ส่งผลต่อการสูญเสียน้ำหนัก ลักษณะปรากฏ การยอมรับทางประสาทสัมผัส คุณภาพการบริโภค และความน่ารับประทานที่ส่งผลต่อการยอมรับและการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค

ค่าแรงตัดผ่าน

ค่าแรงตัดผ่านของเนื้อโคทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง โดยนำเนื้อจากการทดสอบสูญเสียน้ำจากการทำให้สุกด้วยการต้มของเนื้อสันนอกที่ผ่านการเก็บรักษาด้วยการแช่เย็น 24 ชั่วโมง พบว่ามีค่าแรงตัด

ผ่านของเนื้อสันนอกที่ผ่านการแช่เย็น 24 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 7.83 4.60 และ 6.76 ตามลำดับ ค่าแรงตัดผ่านของเนื้อสันนอกที่ผ่านการแช่เย็น 7 วัน มีค่าเท่ากับ 5.00 2.50 และ 4.20 ตามลำดับ เนื้อสะโพกผ่านการเก็บรักษาด้วยการแช่เย็น 24 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 6.74 4.72 และ 8.40 ตามลำดับ และค่าแรงตัดผ่านของเนื้อสะโพกที่ผ่านการแช่เย็น 7 วัน มีค่าเท่ากับ 3.96 2.74 และ 3.94 ตามลำดับ ซึ่งค่าแรงตัดผ่านของเนื้อโคทั้ง 3 กลุ่มการทดลองของเนื้อสันนอก และเนื้อสะโพกที่ทดสอบหลังจากการแช่เย็น 24 ชั่วโมง และผ่านการแช่เย็น 7 วันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกกลุ่มการทดลอง (P>0.05)

จากการศึกษาค่าแรงตัดผ่านเนื้อสันนอก และเนื้อสะโพกที่ได้นำเนื้อจากการทดสอบการสูญเสียน้ำจากการปรุงสุกการแช่เย็น 24 ชั่วโมง และ 7 วัน พบว่าค่าแรงตัดเนื้อของเนื้อทั้งสองส่วนในการทดสอบที่ 24 ชั่วโมง มีค่าแรงตัดผ่านเนื้ออยู่ในระดับที่สูงกว่าการทดสอบในวันที่ 7 วัน โดยค่าแรงตัดผ่านเนื้อทั้งสามกลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกกลุ่มการทดลอง (P>0.05) จากการเพิ่มระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าแรงตัดผ่านเนื้อมีค่าลดลง โดยพบว่าโคกลุ่มที่ได้รับการเสริมวิตามินเอ 2 กรัม/วัน (T2) มีค่าแรงตัดผ่านเนื้อในการทดสอบในวันที่ 7 วัน อยู่ในระดับที่ต่ำกว่ากลุ่มควบคุม (T1) และ กลุ่มที่ได้รับการเสริมวิตามินเอ 2 กรัม/วัน และทอรีน 5 กรัม/วัน (T3) Stolowski et al. (2006) รายงานว่าชนิดของกล้ามเนื้อมีบทบาทสำคัญต่อความนุ่มของเนื้อโคพบว่าค่าแรงตัดผ่านเนื้อส่วนสะโพกสูงกว่าส่วนเนื้อสัน และส่วนไหล่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

การเกิดปฏิกิริยาลิปิดอ็อกซิเดชั่นในเนื้อโค (thiobarbituric acid; TBA)

จากการวิเคราะห์การเกิดปฏิกิริยาลิปิดอ็อกซิเดชั่นเนื้อโคทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง พบว่าการเกิดปฏิกิริยาลิปิดอ็อกซิเดชั่นเนื้อโคในวันที่ 0 3 และ 7 วันของการเก็บรักษาโดยการแช่เย็นของเนื้อสันนอกในวันที่ 0 มีค่าเท่ากับ 0.18 0.17 และ 0.13 ตามลำดับ วันที่ 3 ของการเก็บรักษามีค่าเท่ากับ 0.46 0.35 และ 0.17 ตามลำดับ วันที่ 7 ของการเก็บรักษามีค่าเท่ากับ 0.25 0.41 และ 0.23 ตามลำดับ ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาลิปิดอ็อกซิเดชั่นเนื้อโคในวันที่ 0 3 และ 7 วันของการเก็บรักษาของเนื้อโคทั้ง 3 กลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกกลุ่มการทดลอง (P>0.05)

จากการศึกษาเนื้อพบว่ามีความสอดคล้องกับการทดลองของ Bryant et al. (2010)เสริมวิตามินเอที่ระดับ 0, 1103, 2205, 4410, 8820 IU/Kg of DM และ Kruk et al. (2018) เสริมวิตามินเอที่ระดับ 0, 60,000 IU /100 kg BW/day พบว่าการให้คะแนนคุณภาพของเนื้อไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกกลุ่มการทดลอง (P>0.05) ในขณะที่ Harris et al. (2018) ที่เสริมวิตามินเอที่ระดับ 0, 150,000, 300,000 IU/ตัว/ครั้ง พบว่าที่ระดับ 150,000 IU/ตัว/ครั้ง ส่งผล

ต่อคะแนนคุณภาพของเนื้อเมื่อมีการเสริมวิตามินเอที่มากกว่าระดับ 0, 300,000 IU/ตัว/ครั้ง โดยให้ความเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์ไขมันแทรกในกล้ามเนื้อมีความสอดคล้องกันกับการให้คะแนนคุณภาพของเนื้อ แต่ในการทดลองในครั้งนี้ไม่สามารถเก็บข้อมูลของปริมาณไขมันแทรกในเนื้อได้เนื่องจากการจัดการซากของโรงเชือดไม่เป็นไปตามมาตรฐานของสากล แต่สามารถประเมินระดับไขมันแทรกในกล้ามเนื้อได้จากการประเมินด้วยสายตา หรือผ่านการถ่ายภาพเนื้อบริเวณกล้ามเนื้อสันนอก

องค์ประกอบของกรดไขมันในเนื้อโค (fatty acid profile)

การวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันในกล้ามเนื้อสันนอกจากการศึกษาผลของการจำกัดวิตามินเอและการเสริมทอรีนในอาหาร ต่อปริมาณกรดไขมันในกล้ามเนื้อสันนอกของโคทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง คือกลุ่มควบคุม (T1) กลุ่มที่ได้รับการเสริมวิตามินเอ 2 กรัม/วัน (T2) และ กลุ่มที่ได้รับการเสริมวิตามินเอ 2 กรัม/วัน และทอรีน 5 กรัม/วัน (T3) แสดงดังตารางที่ 19 พบว่าไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันชนิดอิ่มตัว (SFA) กรดไขมันชนิดอิ่มตัว (UFA) กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (MUFA) และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (PUFA) เมื่อรายงานผลในหน่วยเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันทั้งหมดพบว่าปริมาณกรดไขมันในกล้ามเนื้อสันนอกไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกกลุ่มการทดลอง (P>0.05)

ตารางที่ 18 Effect of dietary Vitamin A restriction and taurine supplementation on lipid oxidation of meat (mg MDA/kg)

Item	T1	T2	T3	SEM[1]	*P-value*
0 day	0.18	0.17	0.13	0.02	0.73
3 days	0.46	0.35	0.17	0.07	0.26
7 days	0.25	0.41	0.23	0.09	0.75

[1]Standard error of the means, T1 Control group (Diet with no supplementation), T2 Basal diet supplementation with vitamin A, and T3 Basal diet supplementation with vitamin A and taurine

ตารางที่ 19 Effect of dietary Vitamin A restriction and taurine supplementation on meat quality of fattening beef cattle

Parameter	T1	T2	T3	SEM[1]	*P-value*
pH at 45 min					
LD	6.64	6.43	6.36	0.13	0.76
SM	6.20	6.42	6.54	0.20	0.86
pH at 24 h					
LD	5.45	5.47	5.23	0.08	0.50
SM	6.10	5.46	5.33	0.19	0.29
Cooking loss (%) at 24 h					
LD	22.87	38.57	27.60	4.87	0.50
SM	37.36	21.63	29.28	5.98	0.68
Cooking loss (%) at 7 days					
LD	28.90	24.88	26.90	1.84	0.83
SM	32.18[b]	28.88[ab]	23.90[a]	1.70	0.09
Drip loss (%)					
LD	7.44	5.37	7.71	0.77	0.51
SM	6.07	6.97	7.80	0.64	0.66
Freezing loss (%)					
LD	5.05	4.30	6.25	0.81	0.72
SM	8.66	10.18	11.79	0.69	0.18
Shear force (kg/mm) at 24 h					
LD	7.83	4.60	6.76	0.84	0.32
SM	6.74	4.72	8.40	0.76	0.11
Shear force (kg/mm) at 7 days					
LD	5.00	2.50	4.20	0.84	0.57
SM	3.96	2.74	3.94	0.50	0.60

[a,b]Means within the same row with different superscripts differ significantly (P<0.05)

[1]Standard error of the means, T1 Control group (Diet with no supplementation), T2 Basal diet supplementation with vitamin A, and T3 Basal diet supplementation with vitamin A and taurine, LD = *Longgisimus dorsi* muscle, SM = *Semimembranosus* muscle

ตารางที่ 20 Effect of dietary Vitamin A restriction and taurine supplementation on fatty acid of *Longgisimus dorsi* muscle of fattening beef cattle (% of total fatty acids)

Parameter	T1	T2	T3	SEM[1]	*P-value*
Saturated fatty acid (SFA)	17.28	11.23	15.85	2.68	0.74
Unsaturated fatty acid (UFA)	8.13	3.33	8.84	1.78	0.49
Monounsaturated fatty acid (MUFA)	6.04	2.06	6.70	1.35	0.40
Polyunsaturated fatty acid (PUFA)	2.10	1.27	2.17	0.46	0.77

[1]Standard error of the means, T1 Control group (Diet with no supplementation), T2 Basal diet supplementation with vitamin A, and T3 Basal diet supplementation with vitamin A and taurine

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ MAEJO UNIVERSITY

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาถึงผลของการจำกัดวิตามินเอและการเสริมทอรีนในอาหารข้นต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตและลักษณะคุณภาพเนื้อของโคขุนคุณภาพสูงสามารถสรุปได้ว่าการจำกัดวิตามินเอและการเสริมทอรีนในอาหารข้น ไม่ส่งผลต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต คุณภาพซาก และคุณภาพเนื้อของโคในทุกกลุ่มการทดลองไม่แตกต่างกัน

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาในครั้งนี้ ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเป็นระยะเวลานานขึ้นเพื่อศึกษาผลของทอรีนร่วมกับการจำกัดวิตามินเอต่อการสร้างความเปลี่ยนแปลงและการพัฒนาของเซลล์ไขมัน และควรศึกษาระดับของทอรีนที่จะนำมาใช้ในระดับที่หลากหลายเพื่อหาระดับที่เหมาะสมต่อการนำมาทดลองที่ไม่ส่งผลกระทบด้านลบต่อสัตว์ทดลอง ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการใช้ทอรีนร่วมกับการจำกัดวิตามินเอในทุกช่วงอายุของโค เช่น ตั้งแต่ช่วงหย่านม-ขุนโค เพื่อทราบผลของทอรีน ที่แท้จริงที่อาจส่งผลต่อการสร้าง และพัฒนาเซลล์ไขมันในโค ควรเลือกใช้สัตว์ทดลองที่มีระดับสายพันธุ์ที่เหมือนๆ มีช่วงอายุที่ใกล้เคียงกันเพื่อลดความแปรปรวนและปัจจัยด้านอื่นๆ ที่ส่งผลต่อการสร้างและพัฒนาของเซลล์ไขมันแทรกในกล้ามเนื้อ หรือศึกษาในสัตว์ที่สามารถควบคุมความแปรปรวนทางด้านระดับสายพันธุ์ เช่น หนูขาว หมู แพะ แกะ เป็นต้น ซึ่งยังสามารถย่นระยะเวลาในการทำงานวิจัย และมีการจัดการกับสัตว์ทดลองที่ง่ายกว่า

ภาคผนวก

ภาพที่ 12 โรงเรือนสำหรับเลี้ยงโคทดลอง

ภาพที่ 13 การชั่งน้ำหนักโคก่อนเริ่มการทดลอง และชั่งทุกๆ 1 เดือนตลอดการทดลอง

ภาพที่ 14 การเก็บตัวอย่างเลือดก่อนและหลังการทดลอง

ภาพที่ 15 การเตรียมสัตว์ทดลองก่อนเริ่มการทดลอง (ฉีดยาบำรุง ทำวัคซีนตามโปรแกรม)

ภาพที่ 16 การเตรียมอาหารทดลอง

ภาพที่ 17 การชั่งน้ำหนักอาหารข้น อาหารหยาบก่อนให้และหลังให้

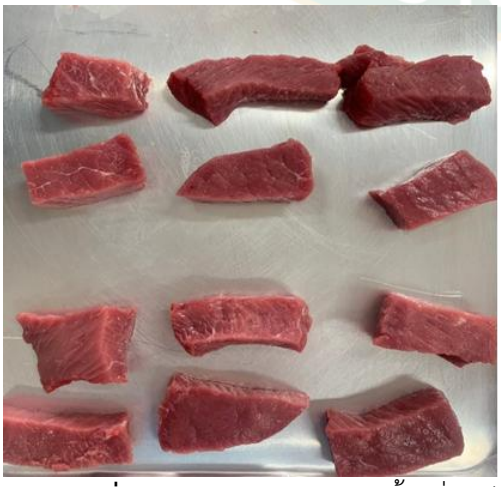
ภาพที่ 18 การให้วิตามินเอ และทอรีนโดยวิธีการเสริมบริเวณด้านบนของอาหาร (on top) และคลุกเคล้าให้เข้ากัน

ภาพที่ 19 การบดตัวอย่างอาหารเพื่อนำไปวิเคราะห์ส่วนประกอบทางโภชนะ

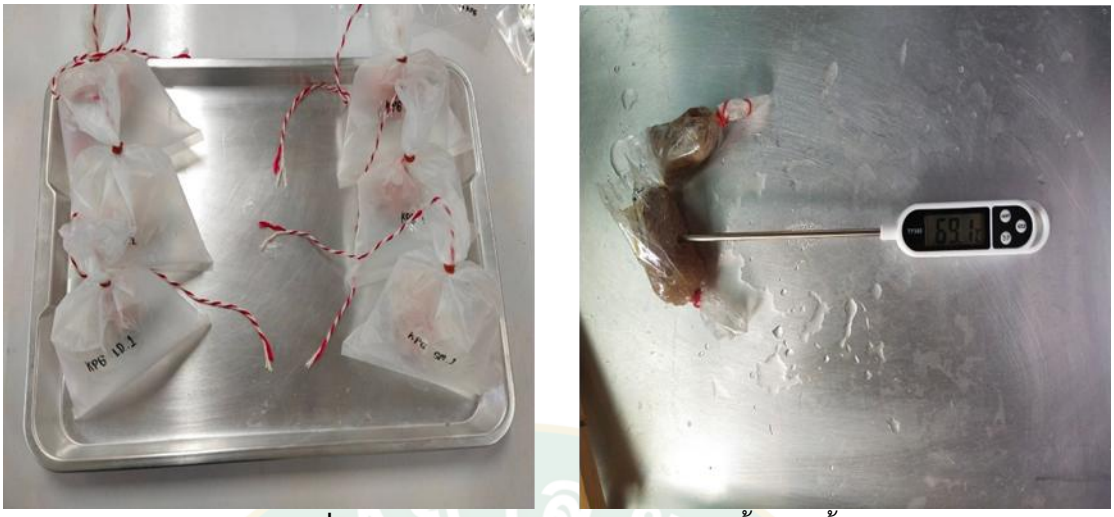
ภาพที่ 20 การเก็บตัวอย่างเนื้อเพื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพเนื้อ

ภาพที่ 21 การประเมินสีของเนื้อแดงด้วยเครื่อง Minolta Chroma Meter

ภาพที่ 22 การวัดระดับประเมินค่าความเป็น กรด-ด่าง เนื้อแดงด้วยเครื่อง pH Meter



ภาพที่ 23 การเตรียมตัวอย่างเนื้อเพื่อนำไปประเมินความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ



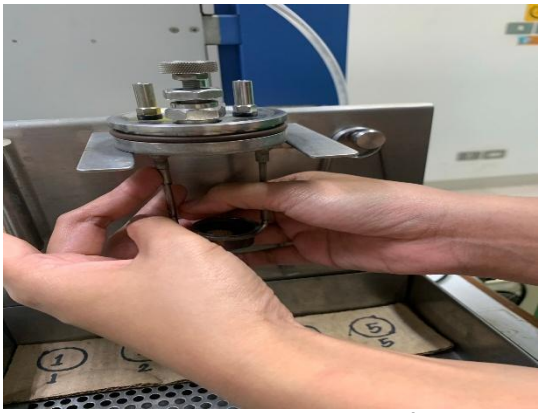
ภาพที่ 24 ประเมินความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ

ภาพที่ 25 การวัดค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (shear force) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

ภาพที่ 26 การวิเคราะห์ค่าการเกิดออกซิเดชั่นของไขมันในเนื้อ

ภาพที่ 27 การเตรียมอุปกรณ์ในการวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีอาหาร และเนื้อ

ภาพที่ 28 การวิเคราะห์กรดไขมัน



ภาพที่ 29 การวิเคราะห์พลังงานรวม

มหาวิทยาลัยแม่โจ้
MAEJO UNIVERSITY

บรรณานุกรม

กรมปศุสัตว์. 2561. ข้อมูลจำนวนปศุสัตว์ในประเทศไทย ปี 2561. กรุงเทพฯ: กลุ่มสารสนเทศและข้อมูลสถิติ ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

---. 2564. คู่มือการจัดการให้อาหารโคขุนเพื่อผลิตเนื้อคุณภาพสูง. สำนักพัฒนาอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

---. 2565. ข้อมูลจำนวนปศุสัตว์ในประเทศไทย ปี 2565 กรุงเทพฯ.

กรมปศุสัตว์ และสถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์. 2560. ยุทธศาสตร์กรมปศุสัตว์ พ.ศ. 2561-2565. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กัลยา บุญญานุวัตร, ไพโรจน์ ศิริสม และวิทยา งามสมฤทธิ์. 2559. สมรรถภาพการเจริญเติบโตและลักษณะซากของโคลูกผสมชาร์โรเล่ส์น้ำหนักต่างๆ. แก่นเกษตร 44(2).

ขรรค์ชัย คงอินทร์. 2524. วัตถุดิบที่เป็นแหล่งสารสีในอาหารไก่. (ข่าวกองควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์ Document Number)

จตุรสิทธา สัญชัย. 2543. เทคโนโลยีเนื้อสัตว์. 1. เชียงใหม่: ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

---. 2547. การจัดการเนื้อสัตว์. เชียงใหม่: ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

---. 2550. การจัดการเนื้อสัตว์. 4. เชียงใหม่: ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

จุฑารัตน์ เศรษฐกุล, ภัทราภรณ์ เชื้อนันตา และรุจริน ลิ้มศุภวานิช. 2540. การชำแหละซากอุ่นต่อคุณภาพเนื้อสุกร. p. 239-247. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 35. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ทบวงมหาวิทยาลัย.

ชัยณรงค์ คันธพานิต. 2529. วิทยาศาสตร์เนื้อสัตว์. ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช.

วัชราภรณ์ สุขใจ, ญาณิณ โอภาสพัฒนกิจ และธนนันท์ ศุภกิจจานนท์. 2555. คุณภาพซากและคุณภาพเนื้อแม่โคนมคัดทิ้งที่มีน้ำหนักและอายุเข้าฆ่าต่างกัน. แก่นเกษตร ฉบับพิเศษ, 18-24.

วีระศักดิ์ สามี. 2550. แคโรทีนอยด์ : โครงสร้างทางเคมีและกลไกที่มีต่อการทำาหน้าที่ของร่างกาย. 10(1). ศรีนครินทรวิโรฒเภสัชสาร.

สมทรง เลขะกุล. 2543. ชีวเคมีของวิตามิน. 2. กรุงเทพฯ: ศุภวนิชย์การพิมพ์.

สหกรณ์เครือข่ายโคเนื้อ จำกัด. 2563. การกำหนดราคาการซื้อซากโคขุน. [Online]. Available www.maxbeefthai.com (20 มกราคม 2563).

สหกรณ์โคเนื้อมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จำกัด. 2558. ราคารับซื้อซากโคขุนของสหกรณ์ฯ. [Online]. Available www.kubeef.com

สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. 2564. สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้มปี **2564**. กรุงเทพฯ: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

Adachi, K., Kawano, H., Tsuno, K., Nomura, Y., Yamamoto, N., Arikawa, A., Tsuji, A., Adachi, M., Onimaru, T. & Ohwada, K. 1999. **Relationship between serum biochemical values and marbling scores in Japanese Black steers**. Journal of Veterinary Medical Science, 61(8), 961-964.

AOAC. 1990. **Official Methods of Analysis. 15th Edition**. Washington DC: Association of Official Analytical Chemist.

---. 1998. **Official Methods of Analysis. 16th Edition**. Arlington: Association of Official Analytical Chemists.

---. (2001). **AOAC Official Method 12. Official Methods of Analysis of AOAC International**: Association of Official Analytical Chemists Washington DC.

Bauernfeind, J. C. 1981. **Natural food colors**. Carotenoids as colorants and vitamin A precursors, Academic Press, New York, 1-45.

Bonilha, S. F., Tedeschi, L. O., Packer, I. U., Razook, A. G., Nardon, R. F., Figueiredo, L. A. & Alleoni, G. F. 2011. **Chemical composition of whole body and carcass of Bos indicus and tropically adapted Bos taurus breeds**. J Anim Sci, 89(9), 2859-2866.

Bryant, T. C., Wagner, J. J., Tatum, J. D., Galyean, M. L., Anthony, R. V. & Engle, T. E. 2010. **Effect of dietary supplemental vitamin A concentration on performance, carcass merit, serum metabolites, and lipogenic enzyme activity in yearling beef steers**. J Anim Sci, 88(4), 1463-1478.

Bunmee, T., Chaiwang, N., Kantiya, N. & Jaturasitha, S. 2017. **Comparison of fattening performance, carcass and meat quality of Charolais, Black Angus, and Brahman crossbred with Thai native cattle**. Journal of Agriculture.

Chambon, P. 1996. **A decade of molecular biology of retinoic acid receptors**. FASEB J, 10(9), 940-954.

Cheng, P., Holdsworth, W., Ma, Y., Coyne, C. J., Mazourek, M., Grusak, M. A., Fuchs, S. & McGee, R. J. 2015. **Association mapping of agronomic and quality traits in USDA pea single-plant collection**. Molecular Breeding, 35, 1-13.

Chilliard, Y. & Robelin, J. 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 (1980), 25(1B), 287-293.

Chung, K. Y., Lunt, D. K., Kawachi, H., Yano, H. & Smith, S. B. 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(2), 380-387.

Cornelius, P., MacDougald, O. A. & Lane, M. D. 1994. **Regulation of adipocyte development**. Annu Rev Nutr, 14(1), 99-129.

De Smet, S., Raes, K. & Demeyer, D. 2004. **Meat fatty acid composition as affected by fatness and genetic factors: a review**. Animal Research, 53(2), 81-98.

Duckett, S. K., Pratt, S. L. & Pavan, E. 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(3), 1120-1128.

Duckett, S. K., Wagner, D. G., Yates, L. D., Dolezal, H. G. & May, S. G. 1993. **Effects of time on feed on beef nutrient composition**. J Anim Sci, 71(8), 2079-2088.

Fox, H. M. & Vevers, G. 1960. **The Nature Of Animal Colours**. Sidgwick and Jackson.

Frey, P. R., Jensen, R. & Connell, W. 1947. **Vitamin A Intake in Cattle in Relation to Hepatic Stores and Blood Levels: One Figure**. The Journal of nutrition, 34(4), 421-430.

Furr, H. C., Green, M. H., Haskell, M., Mokhtar, N., Nestel, P., Newton, S., Ribaya-Mercado, J. D., Tang, G., Tanumihardjo, S. & Wasantwisut, E. 2005. **Stable isotope dilution techniques for assessing vitamin A status and bioefficacy of provitamin A carotenoids in humans**. Public Health Nutr, 8(6), 596-607.

Garcia-Escobar, E., Soriguer, F., Garcia-Serrano, S., Gomez-Zumaquero, J. M., Morcillo, S., Haro, J. & Rojo-Martinez, G. 2008. **Dietary oleic acid and adipocyte lipolytic activity in culture**. J Nutr Biochem, 19(11), 727-731.

Geoffrey, C. 1994. **Hypervitaminosis A. Drug-induced hepatic fibrosis and cirrhosis**. Drug-induced Liver Disease, 19, 445-452.

Goering, H. K. & Van Soest, P. J. 1970. **Forage fiber analyses (apparatus, reagents, procedures, and some applications)**. US Agricultural Research Service.

Gorocica-Buenfil, M. A., Fluharty, F. L., Bohn, T., Schwartz, S. J. & Loerch, S. C. 2007. **Effect of low vitamin A diets with high-moisture or dry corn on marbling and adipose tissue fatty acid composition of beef steers**. J Anim Sci, 85(12), 3355-3366.

Gorocica-Buenfil, M. A., Fluharty, F. L. & Loerch, S. C. 2008. **Effect of vitamin A restriction on carcass characteristics and immune status of beef steers**. J Anim Sci, 86(7), 1609-1616.

Green, A. S. & Fascetti, A. J. 2016. **Meeting the Vitamin A Requirement: The Efficacy and Importance of beta-Carotene in Animal Species**. ScientificWorldJournal, 2016, 7393620.

Harper, G. & Pethick, D. 2004. **How might marbling begin?** Australian Journal of Experimental Agriculture, 44(7), 653-662.

Harris, C. L., Wang, B., Deavila, J. M., Busboom, J. R., Maquivar, M., Parish, S. M., McCann, B., Nelson, M. L. & Du, M. 2018. **Vitamin A administration at birth promotes calf growth and intramuscular fat development in Angus beef cattle**. Journal of animal science and biotechnology, 9, 1-9.

Hood, R. L. 1982. **Relationships among growth, adipose cell size, and lipid metabolism in ruminant adipose tissue**. Federation proceedings.

Kawada, T., Kamei, Y. & Sugimoto, E. 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 and related metabolic disorders: journal of the International Association for the Study of Obesity, 20, S52-57.

Kruk, Z. A., Bottema, M. J., Reyes-Veliz, L., Forder, R. E. A., Pitchford, W. S. & Bottema, C. D. K. 2018. **Vitamin A and marbling attributes: Intramuscular fat hyperplasia effects in cattle**. Meat Sci, 137, 139-146.

Lombardini, J. B. 1983. **Effects of ATP and taurine on calcium uptake by**

membrane preparations of the rat retina. J Neurochem, 40(2), 402-406.

Lunt, D., Chung, K., Choi, C. & Smith, S. 2005. **Production characteristics and carcass quality of Angus and Wagyu steers fed to US and Japanese endpoints**. J. Anim. Vet. Adv, 4(11), 949-953.

Machin, D. 1991. **Overview of needs and justification for use of roots, tubers, plantains and bananas in animal feeding**. p. The FAO Expert Consultation on Roots, Tubers, Plantains and Bananas in Animal Feeding. The Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) near Cali.

Meat N' Bone. 2018. **Beef 301: Meat N' Bone's Guide To Beef Labeling (From Choice To Wagyu A5)**. [Online]. Available https://meatnbone.com/blogs/the-clever-cleaver/wagyu-grading-system-differences (November 27, 2018).

Micozzi, M. S., Brown, E. D., Edwards, B. K., Bieri, J. G., Taylor, P. R., Khachik, F., Beecher, G. R. & Smith, J. C., Jr. 1992. **Plasma carotenoid response to chronic intake of selected foods and beta-carotene supplements in men**. Am J Clin Nutr, 55(6), 1120-1125.

Murakami, S. 2015. **Role of taurine in the pathogenesis of obesity**. Mol Nutr Food Res, 59(7), 1353-1363.

Nakai, A., Kita, K., Hasegawa, K. & Hiramitsu, M. 1992. **Vitamin A deficiency in Japanese black cattle**. J. Clin. Vet. Med, 10, 2143-2148.

NRC. 1987. **Nutrient requirements of laboratory animals**. Washington DC.: Nutrient Requirements of Domestic Animals. National Research Council/National Academy of Sciences.

---. 1989. **National Research Council. Nutrient requirements of horses**. Washington, DC: National Academy of Sciences.

---. 1998. **Nutrient Requirements of Swine**. Tenth Committee on Animal Nutrition. Washington, DC.

---. 2000. **Nutrient Requirements of Beef Cattle**. Washington, DC: The National Academies Press.

---. 2001. **Nutrient requirements of dairy cattle: 2001**. National Academies Press.

---. 2007. **Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and new world camelids**. **中国法制出版社**.

Nürnberg, K., Wegner, J. & Ender, K. 1998. **Factors influencing fat composition in muscle and adipose tissue of farm animals**. Livestock Production Science, 56(2), 145-156.

Oka, A., Maruo, Y., Miki, T., Yamasaki, T. & Saito, T. 1998. **Influence of vitamin A on the quality of beef from the Tajima strain of Japanese Black cattle**. Meat Sci, 48(1-2), 159-167.

Oka, A., Miki, T., Maruo, Y., Yamasaki, M., Ariyoshi, T. & Fujii, H. 1992. **Effects of vitamin A administration on meat quality of Japanese black cattle**. J. Clin. Vet. Med, 10, 2152.

Organization, W. H. 2009. **Global prevalence of vitamin A deficiency in populations at risk 1995-2005: WHO global database on vitamin A deficiency**.

Ostrowska, E., Dunshea, F. R., Muralitharan, M. & Cross, R. F. 2000. **Comparison of silver-ion high-performance liquid chromatographic quantification of free and methylated conjugated linoleic acids**. Lipids, 35(10), 1147-1153.

Palozza, P. & Krinsky, N. I. 1992. **beta-Carotene and alpha-tocopherol are synergistic antioxidants**. Arch Biochem Biophys, 297(1), 184-187.

Pickworth, C. L., Loerch, S. C. & Fluharty, F. L. 2012. **Effects of timing and duration of dietary vitamin A reduction on carcass quality of finishing beef cattle**. J Anim Sci, 90(8), 2677-2691.

Prommachart, R., Uriyapongson, J., Cherdthong, A. & Uriyapongson, S. 2021. **Feed intake, nutrient digestibility, antioxidant activity in plasma, and growth performance of male dairy cattle fed black rice and purple corn extracted residue**. Tropical Animal Science Journal, 44(3), 307-315.

Pyatt, N. & Berger, L. 2005. **Potential effects of vitamins A and D on marbling deposition in beef cattle**. The Professional Animal Scientist, 21(3), 174-181.

Ripps, H. & Shen, W. 2012. **taurine: a "very essential" amino acid**. Molecular vision, 18, 2673.

Ross, A. C. & Harrison, E. H. 2007. **Vitamin A: nutritional aspects of retinoids and carotenoids**. Handbook of Vitamins, 4th Edition, USA: CRC PressTaylor & Francis Group.

Saeed, A., Dullaart, R. P. F., Schreuder, T., Blokzijl, H. & Faber, K. N. 2017. **Disturbed**

Vitamin A Metabolism in Non-Alcoholic Fatty Liver Disease (NAFLD). Nutrients, 10(1), 29.

Sakamoto, O., Yoshinari, M., Rikiishi, T., Fujiwara, I., Imaizumi, M., Tsuchiya, S. & Iinuma, K. 2001. **Hypercalcemia due to all-trans retinoic acid therapy for acute promyelocytic leukemia: A case report of effective treatment with bisphosphonate**. Pediatrics international, 43(6), 688-690.

SAS. 1998. **User's Guide: Statistics**. U.S.A: NC.

Semba, R. D. & Bloem, M. W. 2002. **The anemia of vitamin A deficiency: epidemiology and pathogenesis**. Eur J Clin Nutr, 56(4), 271-281.

Simpson, K. L., Tsou, I. S. T. C. & Chichester, C. O. 1989. **Biochemical methodology for the assessment of carotene**. Biochemical methodology for the assessment of carotene, Washington DC.

Smith, S. B. & Crouse, J. D. 1984. **Relative contributions of acetate, lactate and glucose to lipogenesis in bovine intramuscular and subcutaneous adipose tissue**. J Nutr, 114(4), 792-800.

Smith, S. B., Lunt, D. K., Chung, K. Y., Choi, C. B., Tume, R. K. & Zembayashi, M. 2006. **Adiposity, fatty acid composition, and delta-9 desaturase activity during growth in beef cattle**. Animal Science Journal, 77(5), 478-486.

Stanišić, N., Lilić, S., Petrović, M. D., Živković, D., Radović, Č., Petričević, M. & Gogić, M. 2012. **Proximate composition and sensory characteristics of Sremska sausage produced in a traditional smoking house**. CEFood 2012-Proceedings of 6th Central European Congress on Food.

Stolowski, G. D., Baird, B. E., Miller, R. K., Savell, J. W., Sams, A. R., Taylor, J. F., Sanders, J. O. & Smith, S. B. 2006. **Factors influencing the variation in tenderness of seven major beef muscles from three Angus and Brahman breed crosses**. Meat Sci, 73(3), 475-483.

Torii, S., Matsui, T. & Yano, H. 1996. **Development of intramuscular fat in Wagyu beef cattle depends on adipogenic or antiadipogenic substances present in serum**. Animal Science, 63(1), 73-78.

Van Keulen, J. & Young, B. 1977. **Evaluation of acid-insoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies**. Journal of animal science, 44(2), 282-

287.

Van Koevering, M. T., Gill, D. R., Owens, F. N., Dolezal, H. G. & Strasia, C. A. 1995. **Effect of time on feed on performance of feedlot steers, carcass characteristics, and tenderness and composition of longissimus muscles**. J Anim Sci, 73(1), 21-28.

Vázquez-Vela, M. E. F., Torres, N. & Tovar, A. R. 2008. **White adipose tissue as endocrine organ and its role in obesity**. Archives of medical research, 39(8), 715-728.

Vernon, R. 1986. **The growth and metabolism of adipocytes**. Contorol and manipulation of animal growth, 67-83.

Waldman, R., Suess, G. & Brungardt, V. 1968. **Fatty acids of certain bovine tissue and their association with growth, carcass and palatability traits**. Journal of animal science, 27(3), 632-635.

Wark, P. A., Gibson, P. G. & Fakes, K. 2000. **Induced sputum eosinophils in the assessment of asthma and chronic cough**. Respirology, 5(1), 51-57.

Weiss, S. T., Segal, M. R., Sparrow, D. & Wager, C. 1995. **Relation of FEV1 and peripheral blood leukocyte count to total mortality. The Normative Aging Study**. Am J Epidemiol, 142(5), 493-498; discussion 499-503.

Wellik, D. M., Norback, D. H. & DeLuca, H. F. 1997. **Retinol is specifically required during midgestation for neonatal survival**. American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism, 272(1), E25-E29.

Westerling, D. B. & Hedrick, H. 1979. **Fatty acid composition of bovine lipids as influenced by diet, sex and anatomical location and relationship to sensory characteristics**. Journal of animal science, 48(6), 1343-1348.

Yanez-Ocampo, G., Sanchez-Salinas, E., Jimenez-Tobon, G. A., Penninckx, M. & Ortiz-Hernandez, M. L. 2009. **Removal of two organophosphate pesticides by a bacterial consortium immobilized in alginate or tezontle**. J Hazard Mater, 168(2-3), 1554-1561.

Yeh, Y.-H., Lee, Y.-T., Hsieh, H.-S. & Hwang, D.-F. 2008. **Effect of taurine on toxicity of vitamin A in rats**. Food chemistry, 106(1), 260-268.

มหาวิทยาลัยแม่โจ้
MAEJO UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยแม่โจ้
MAEJO UNIVERSITY

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	กันต์ฤทัย คำน้อย
เกิดเมื่อ	23 เมษายน พ.ศ.2539
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2562 ปริญญาตรี คณะ สัตวศาสตร์และเทคโนโลยี สาขา สัตวศาสตร์ เอก โคนม-โคเนื้อ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
	พ.ศ. 2558 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนพะเยาพิทยาคม
	พ.ศ. 2555 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนพะเยาพิทยาคม
	พ.ศ. 2552 ประถมศึกษา โรงเรียนอนุบาลเชียงคำ
ประวัติการทำงาน	ปัจจุบัน-สัตวบาลประจำฟาร์มที่สมานฟาร์ม
	พ.ศ.2559-2561 ผู้ช่วยสัตวแพทย์ คลินิคสัตว์เลี้ยงแม่โจ้