# คุณภาพเนื้อของโคพื้นเมืองและโคลูกผสมพันธุ์ต่างๆ ภายใต้ระบบการผลิตเนื้อโค ใน ประเทศไทย

# MEAT QUALITY OF NATIVE CATTLE AND VARIOUS CROSSBRED CATTLE UNDER BEEF PRODUCTION SYSTEMS IN THAILAND


ปีย์ชนิตร์ อินทรพรอุดม

PEECHANIT INTRAPORNUDOM


วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสัตวศาสตร์

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552


KMITL-2009-AG-M-031-009

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

# คุณภาพเนื้อของโคพื้นเมืองและโคลูกผสมพันธุ์ต่างๆ ภายใต้ระบบการผลิตเนื้อโค ใน ประเทศไทย

# MEAT QUALITY OF NATIVE CATTLE AND VARIOUS CROSSBRED CATTLE UNDER BEEF PRODUCTION SYSTEMS IN THAILAND

ปีย์ชนิตร์ อินทรพรอุดม

PEECHANIT INTRAPORNUDOM

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสัตวศาสตร์

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ 2552

KMITL-2009-AG-M-031-009

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 105276
วัน,เดือน,ปี 18 พ.ย. 2552

.b.....
.i.....

# MEAT QUALITY OF NATIVE CATTLE AND VARIOUS CROSSBRED CATTLE UNDER BEEF PRODUCTION SYSTEMS IN THAILAND

PEECHANIT INTRAPORNUDOM

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN ANIMAL SCIENCE

FACULTY AGRICULTURAL TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2009

KMITL-2009-AG-M-031-009

COPYRIGHT 2009

FACULTY AGRICULTURAL TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

| | |
|---|---|
| **หัวข้อวิทยานิพนธ์** | คุณภาพเนื้อของโคพื้นเมืองและโคลูกผสมพันธุ์ต่างๆ ภายใต้ระบบการผลิตเนื้อโคในประเทศไทย |
| **นักศึกษา** | นางสาว ปีย์ชนิตร์ อินทรพรอุดม |
| **รหัสประจำตัว** | 47062404 |
| **ปริญญา** | วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต |
| **สาขา** | สัตวศาสตร์ |
| **พ.ศ.** | 2551 |
| **อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์** | รศ.ดร. จุฑารัตน์ เศรษฐกุล |
| **อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม** | รศ.ดร. ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ |

# บทคัดย่อ


งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของพันธุ์โคเนื้อภายใต้ระบบการเลี้ยงที่ต่างกันและระยะเวลาการบ่มที่มีผลต่อคุณภาพเนื้อ ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อ (โปรตีน%, ความชื้น%, ไขมัน% และปริมาณคอลลาเจน) ความยาวของซาร์โคเมียร์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อ ค่า pH ค่าสี เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการทำให้สุกและค่าแรงตัดผ่านเนื้อ โดยจัดกลุ่มการทดลองแบบ 5x3 factorial in CRD ซึ่งมี 2 ปัจจัย ซึ่งปัจจัยที่ 1 คือ โคเนื้อต่างสายพันธุ์ภายใต้ระบบการเลี้ยง 5 ประเภท และปัจจัยที่ 2 คือ ระยะเวลาการบ่ม 1, 7 และ 14 วัน ภายหลังสัตว์ตายเนื้อ โคเนื้อที่มีระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกัน 5 ประเภท คือ 1) โคขุนลูกผสมเลือดชาร์โรเล่ส์ (ชาร์โรเล่ส์ 50 % x บราห์มัน 25%x พื้นเมืองไทย 25%) อายุเฉลี่ย 2½ ปี เลี้ยงด้วยอาหาร TMR และเสริมด้วยหญ้า เป็นเวลา 8-10 เดือน น้ำหนักเข้าฆ่าเฉลี่ย 525 กิโลกรัม (KU) จำนวน 30 ตัว 2) โคขุนลูกผสมเลือดชาร์โรเล่ส์ (ชาร์โรเล่ส์ 50 % ขึ้นไป) อายุเฉลี่ย 3½ ปี เลี้ยงด้วยอาหารข้นและหญ้าสดหรือฟางข้าว เป็นเวลา 12-18 เดือนและเสริมกากน้ำตาล 4 เดือนสุดท้ายของการขุน น้ำหนักเข้าฆ่าเฉลี่ย 664 กิโลกรัม (TF) จำนวน 9 ตัว 3) โคเนื้อลูกผสมบรามันห์มากกว่า 50% อายุเฉลี่ย 3 ปี เลี้ยงด้วยอาหาร TMR และเสริมด้วยหญ้าสดหรือฟางข้าว เป็นเวลา 3 เดือน น้ำหนักเข้าฆ่าเฉลี่ย 497 กิโลกรัม (BG) จำนวน 16 ตัว 4) โคเนื้อลูกผสมบรามันห์กับพื้นเมืองไทย อายุเฉลี่ย 3 ปี เลี้ยงด้วยอาหารข้นและเปลือกสับปะรดหมักเป็นเวลา 6 เดือน น้ำหนักเข้าฆ่าเฉลี่ย 542 กิโลกรัม (BP) จำนวน 10 ตัว และ 5) โคพื้นเมืองไทย อายุเฉลี่ย 2 ปี ที่เลี้ยงปล่อยแทะเล็มหญ้าตามธรรมชาติ น้ำหนักเข้าฆ่าเฉลี่ย 214 กิโลกรัม (TN) จำนวน 11 ตัว โดยเก็บตัวอย่างกล้ามเนื้อ Longissimus thoracis ในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 0-4°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนตัดแบ่งให้มีน้ำหนักประมาณ 100 กรัม หนา 2.5 เซนติเมตร บรรจุในถุงสุญญากาศเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 2-4 °C เป็นระยะเวลา 1, 7 และ 14 วัน ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี เส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อ ค่าแรงตัดผ่านเนื้อด้วยเครื่อง Instron

เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างปรุงสุก ค่า pH และค่าสีเนื้อ (L, a*, b*) ส่วนความยาวซาร์โคเมียร์วัดด้วยเครื่อง Helium-Neon Laser เมื่อระยะเวลาบ่มที่ 1 และ 24 ชั่วโมง

ผลจากการทดลองพบว่า ความยาวของซาร์โคเมียร์ที่ 1 ชั่วโมงไม่แตกต่างทางสถิติในเนื้อโคที่ภายใต้ระบบการผลิตโคที่แตกต่างกัน แต่ความยาวของซาร์โคเมียร์ที่ 24 ชั่วโมงภายหลังสัตว์ตาย พบว่าเนื้อโค TF มีความยาวซาร์โคเมียร์มากที่สุด 1.63 μm ($P<0.05$) เมื่อเทียบกับเนื้อโคประเภทอื่น เมื่อคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การหดตัวของซาร์โคเมียร์ในเส้นใยกล้ามเนื้อ พบว่า เนื้อโค TF หดตัวน้อยที่สุดเท่ากับ 20.31 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่ต่างจาก BP 24.49 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้อยกว่าเนื้อโค KU, BG และ TN โดยมีค่าเท่ากับ 33.91, 35.82 และ 36.38 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ($P<0.05$) เนื้อโค TF มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อยาวที่สุดคือ 98.47 μm โดยยาวกว่าเนื้อโค BP และ BG ที่มีค่าเท่ากับ 86.35 และ 87.79 μm ซึ่งยาวกว่า KU และ TN ที่มีค่าเท่ากับ 77.93 และ 66.18 μm ตามลำดับ ($P<0.05$) ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีในเนื้อโคที่ภายใต้ระบบการผลิตโคที่แตกต่างกัน พบว่าเนื้อโค TF มีความชื้นต่ำสุด 68.89 เปอร์เซ็นต์ แต่มีปริมานไขมันในเนื้อสูงที่สุด 8.58 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาเป็นเนื้อโค KU, BP และ BG โดยมีค่าเท่ากับ 4.55, 2.87 และ 1.83 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยเนื้อโค TN มีค่าต่ำสุดเฉลี่ย 0.77 เปอร์เซ็นต์ ($P<0.05$) แต่ไม่แตกต่างกับเนื้อโค BG ทั้งนี้ปริมาณโปรตีนในเนื้อโคทุกกลุ่มไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) 24 ชั่วโมงภายหลังสัตว์ตาย ด้านปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้พบว่าเนื้อโคขุนลูกผสมที่มีเลือดชาร์โรเล่ส์ (เนื้อโค TF และ KU มีค่าเท่ากับ 0.15 mg/g) และแตกต่างจากเนื้อโค BG, BP และ TN มีค่าเท่ากับ 0.26, 0.28 และ 0.31 mg/g ตามลำดับ ($P<0.05$) ส่วนปริมาณคอลลาเจนทั้งหมดไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$)

ด้านความนุ่มของเนื้อโค พบว่าในเนื้อโค TN มีค่า pH สูงที่สุด (5.61) แต่ไม่ต่างจาก KU และ BP (5.60, 5.58) BP ไม่ต่างจาก BG (5.55) และ TF มีค่าต่ำสุด (5.50) ($P<0.05$) ส่วนค่าสีของเนื้อในค่า L* พบว่าเนื้อโค BP มีค่าสูงที่สุด (41.65) แต่ไม่ต่างจาก TF (40.26) รองลงมาเป็น KU, TN และ BG มีค่าเท่ากับ 39.12, 38.52 และ 37.01 ตามลำดับ ($P<0.05$) ในขณะที่เนื้อโค TF มีค่า a* และค่า b* สูงสุด (22.5 และ 9.86) รองลงมาเป็น BP, BG, KU ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วน TN มีค่าต่ำที่สุด (15.53 และ 5.50) ($P<0.05$) เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการทำให้สุกของเนื้อ พบว่าเนื้อโค TF มีค่าต่ำที่สุด 26.15 เปอร์เซ็นต์ ($P<0.05$) รองลงมาเป็น BG, BP, KU และ TN มีค่าเท่ากับ 28.08, 29.62, 30.17 และ 32.38 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนค่าแรงตัดผ่านของเนื้อพบว่า TF มีค่าต่ำที่สุด 3.96 กก./ลบ.ซม. ($P<0.05$) รองลงมาเป็น KU, BP, BG และ TN มีค่าเท่ากับ 5.61, 9.52, 13.10 และ 14.03 กก./ลบ.ซม. ตามลำดับ ส่วนอิทธิพลของระยะเวลาการบ่ม พบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าสีของเนื้อ (L*, a*, b*) และเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการทำให้สุกของเนื้อมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) เมื่อระยะเวลาการบ่มนานขึ้น โดยมีค่าแรงตัดผ่านเนื้อเท่ากับ 11.14, 8.80 และ 7.80 กก./ลบ.ซม. เมื่อบ่มนาน 1, 7 และ 14 วัน ตามลำดับ ($P<0.05$) แต่ไม่พบอิทธิพลของระยะการบ่มต่อค่า pH ปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ในเนื้อและปริมาณคอลลาเจนทั้งหมด

| | |
|---|---|
| **Thesis Title** | Meat Quality of Native Cattle and Various Crossbred Cattle under Beef Production Systems in Thailand |
| **Student** | Miss Peechanit Intrapornudom |
| **Student ID** | 47062404 |
| **Degree** | Master of Science |
| **Program** | Animal Science |
| **Year** | 2008 |
| **Thesis Advisor** | Assoc.Prof.Dr. Jutarat Sethakul |
| **Thesis Co-Advisor** | Assoc.Prof.Dr. Yanin Opatpatanakit |

# ABSTRACT

The study was aimed to investigate the effects of different beef production systems in Thailand and ageing periods on meat quality by determining chemical composition (%moisture, % protein, %fat and collagen), sarcomere length (SL), muscle fiber diameter (MFD), pH ultimate (pHu), instrumental color, cooking loss and Warner-Bratzler shear force (WBSF) and total collagen and soluble collagen according to 5x3 factorial arrangement in completely randomized design. Factor A was 5 beef production systems and factor B was 3 aging periods as 1, 7 and 14 days. Five beef production systems were followed as 1) Charolais crossbred (Charolais 50% x Brahman 25%x native Thai 25%), weighed average 525 kg and aged 2½ yr, were fed TMR and supplemented with grass and rice straw for 8-10 mo (KU, n=30) 2) at least 50% Charolais crossbred cattle, weighed average 664 kg and aged 3½ yr, were fed grass and/or rice straw, supplemented with concentrate for 12-18 mo and molasses was added in the ration after 4 mo of fattening (TF, n=9) 3) at least 50% Brahman crossbred cattle, weighed average 497 kg and aged 3 yr, were fed TMR and supplemented with grass and/or rice straw for 3 mo (BG, n=16) 4) Brahman crossbred cattle, weighed average 542 kg and aged 3 yr, were fed pineapple byproducts and supplemented with concentrate for 6 mo (BP, n=10) 5) native Thai cattle (100% *Bos indicus*), weighed average 214 kg and aged 2 yr, were naturally grazed in communal land (N, n=11). After storage at 0-4°C for 24 hr, Longissimus thoracis (LT) was cut into beef steaks (weighed 100 g and 2.5 cm thick), vacuum packed and stored at 2-4 °C for 1, 7 and 14 days. Chemical compositions,

MFD, pHu values, WBSF, colour (L*, b*, a*) and %cooking loss were determined. Sarcomere length was measured at 1 and 24 hr postmortem by Helium-Neon Laser.

The results were shown that beef production system had no effect on SL at 1 hr postmortem. However, at 24 hr postmortem, SL of BP, BG, KU and TN groups were shorter than TF group which had ($p<0.05$) the longest SL (1.63μm). Beef from TF group had 20.31% sarcomere shortening but not differed from BP group (24.49%) that were less sarcomere shortening than KU, BG and TN groups (33.91 35.82 and 36.38 %, respectively) ($P<0.05$). Beef from TF had the largest MFD (98.47 μm) that was more than BP, BG, KU and TN (86.35, 87.79, 77.93 and 66.18 μm, respectively) ($P<0.05$). For meat chemical analysis, TF had the lowest %moisture (68.89%) and the highest %fat (8.58) due to more marbling content. Although TN (0.77%), the grass grazed native cattle, contained lower %fat than KU and BP (4.55 and 2.87%, respectively), it did not differ from BG (1.83%) ($P<0.05$). There was no effect of beef production systems on %protein and total collagen ($P>0.05$). At 24 hr postmortem, soluble collagen in TF and KU (0.15 and 0.15 mg/g) were lower than BG, BP and TN (0.26, 0.28 and 0.31 mg/g, respectively) ($P<0.05$). There was no effect of beef production systems on total collagen ($P>0.05$).

From a study beef production systems had affected on meat quality. Beef from TN group had a higher pHu value than that of KU, BP, BG and TF with were 5.61, 5.60, 5.58, 5.55 and 5.50, respectively ($P<0.05$). Beef from BP group had the higher L* (41.65) than TF, KU, TN and BG with 40.26, 39.12, 38.52 and 37.01, respectively ($P<0.05$). Beef from TF group had a significantly higher a* and b* (22.5 and 9.89) than BP, BG, KU groups which had no difference ($P>0.05$) and TN group had the lowest a* and b* (15.53 and 5.50) ($P<0.05$). Beef from TF group had a significantly lower %cooking loss than BG, BP, KU and TN with were 26.15, 28.08, 29.62, 30.17 and 32.38, respectively ($P<0.05$). Beef from TF group had significantly lower WBS ($P<0.05$) than KU, BP, BG and TN with were 3.96, 5.61, 9.52, 13.10 and 14.03 $kg/cm^3$, respectively. For effect of ageing period on meat quality, there was found that colour (L* a* b*) and %cooking loss of meat increased as ageing period was longer ($P<0.05$). In contrast, WBS values decreased shown as 11.14, 8.80 and 7.80 $kg/cm^3$ for 1, 7 and 14 days of ageing, respectively ($P<0.05$). However, there was no change in pHu, soluble collagen and total collagen ($P>0.05$).

# กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ ข้าพเจ้าผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อรองศาสตราจารย์ ดร. จุฑารัตน์ เศรษฐกุล ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร. ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม ผู้ให้ความกรุณาแนะนำและให้คำปรึกษาเป็นอย่างดีมาตลอดระยะเวลาในการศึกษา

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ จันทร์พร เจ้าทรัพย์ ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาแก่ผู้วิจัยตลอดมา

ขอขอบพระคุณอาจารย์เสาวลักษณ์ ผ่องลำเจียก คุณมาลัย จงเจริญ และพนักงานโรงฆ่าทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูล รุ่นพี่ รุ่นน้องนักศึกษาปริญญาโท เพื่อนๆ ที่คอยเป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือ รวมถึงบุคลากรภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์แก่ผู้วิจัย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณอย่างยิ่งสำหรับ คุณพ่อ- คุณแม่ ที่ให้การสนับสนุนเป็นกำลังใจในการการศึกษาและการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมา ประโยชน์และคุณค่าทั้งปวงของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้ที่มีพระคุณทุกท่านตลอดจนผู้ที่สามารถนำไปใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์ได้ต่อไป

ปีย์ชนิตร์ อินทรพรอุดม

# สารบัญ

หน้า


บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....III

กิตติกรรมประกาศ.....V

สารบัญ.....VI

สารบัญตาราง.....X

สารบัญภาพ.....XII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความสำคัญและที่มา.....1

1.2 วัตถุประสงค์.....2

1.3 สถานที่ดำเนินการ.....2

1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....2

1.5 ระยะเวลาในการทำวิจัย.....2

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....3

บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....4

2.1 พันธุ์และประเภทของโคเนื้อในประเทศไทย.....4

2.2 ระบบการเลี้ยงโคเนื้อในประเทศไทย.....7

2.3 ระบบการเลี้ยงโคเนื้อในต่างประเทศ.....9

2.4 ตัวชี้วัดคุณภาพเนื้อ.....10

2.5 วิธีการตรวจวัดความนุ่มของเนื้อ.....11

2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อความนุ่มของเนื้อ.....14

2.6.1 การหดตัวของกล้ามเนื้อภายหลังสัตว์ตาย.....14

2.6.1.1 โครงสร้างของเส้นใยกล้ามเนื้อ.....14

2.6.1.2 การเปลี่ยนแปลงของกล้ามเนื้อภายหลังสัตว์ตาย.....16

2.6.2 การย่อยสลายโปรตีนภายหลังสัตว์ตาย.....20

2.6.3 ระยะเวลาในการบ่มเนื้อ (ageing period).....24

2.6.4 อัตราเร่งของการเกิดปฏิกิริยาไกลโคไลซีสภายหลังสัตว์ตาย.....25

2.6.5 ชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อ.....30

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า


2.6.6 ปริมาณเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน.....32
2.6.7 ปริมาณไขมันแทรกในกล้ามเนื้อ.....33
2.6.8 พันธุ์โค.....36
2.6.9 ระบบการเลี้ยง การให้อาหาร และระยะเวลาการขุน.....37
2.6.10 สารเร่งการเจริญเติบโตและการใช้ฮอร์โมน.....40
2.6.11 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อ.....42
2.6.12 ชนิดของกล้ามเนื้อ.....43
2.6.13 การแขวนซากและการกระตุ้นซากด้วยไฟฟ้า.....44
2.7 อิทธิพลบางประการที่มีผลต่อค่าสีของเนื้อ.....47
2.7.1 การเปลี่ยนแปลงของค่า pH ในเนื้อ.....48
2.7.2 พันธุ์.....50
2.7.3 อายุ.....50
2.7.4 ชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อ.....51
2.7.5 ระบบการเลี้ยง.....52
2.7.6 ระยะเวลาการบ่ม.....53

บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดลอง.....55
3.1 สัตว์ทดลอง.....55
3.2 อุปกรณ์.....58
3.3 สารเคมี.....58
3.4 วิธีการ.....59
3.4.1 การเตรียมตัวอย่าง.....59
3.4.2 ศึกษาคุณภาพเนื้อของพันธุ์โคเนื้อภายใต้ระบบการเลี้ยงที่ต่างกันและปัจจัยด้านระยะเวลาการบ่มต่อคุณภาพเนื้อ.....61
3.4.2.1 ศึกษาขนาดของเส้นใยกล้ามเนื้อ.....61
3.4.2.2 ศึกษาความยาวซาร์โคเมียร์ของเนื้อโค.....61
3.4.2.3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของเนื้อโค.....62
3.4.2.4 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อโค.....62

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า


3.4.2.5 ศึกษาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการทำให้สุกของเนื้อ.....63
3.4.2.6 ศึกษาความนุ่มของเนื้อโดยวิธีการหาค่าแรงตัดผ่านเนื้อ.....63
3.4.2.7 ศึกษาส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อโค.....63
3.4.2.8 ศึกษาปริมาณคลอลาเจนในเนื้อ.....63
3.5 การวางแผนการทดลอง.....64
3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....65

บทที่ 4 ผลการทดลอง.....66
4.1 ผลของพันธุ์โคเนื้อภายใต้ระบบการผลิตโคที่แตกต่างกันต่อความยาวของซาร์โคเมียร์และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อ ในกล้ามเนื้อสันนอก.....66
4.2 ผลของพันธุ์โคเนื้อภายใต้ระบบการผลิตโคที่แตกต่างกันต่อองค์ประกอบทางเคมีในกล้ามเนื้อสันนอก.....68
4.3 ผลของพันธุ์โคเนื้อภายใต้ระบบการผลิตโคที่แตกต่างกันในประเทศไทยและระยะเวลาการบ่มที่มีผลต่อคุณภาพเนื้อ.....69
4.3.1 ผลของพันธุ์โคเนื้อภายใต้ระบบการผลิตโคที่แตกต่างกันและระยะเวลาการบ่มที่มีผลต่อค่า pH ในเนื้อ.....69
4.3.2 ผลของพันธุ์โคเนื้อภายใต้ระบบการผลิตโคที่แตกต่างกันและระยะเวลาการบ่มที่มีผลต่อค่าสีของเนื้อ (L* a* b*).....70
4.3.2.1 ค่าความสว่าง (L*) (lightness).....70
4.3.2.2 ค่า a* (redness).....71
4.3.2.3 ค่า b* (yellowness).....72
4.3.3 ผลของพันธุ์โคเนื้อภายใต้ระบบการผลิตโคที่แตกต่างกันและระยะเวลาการบ่มที่มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการทำให้สุก.....73
4.3.4 ผลของพันธุ์โคเนื้อภายใต้ระบบการผลิตโคที่แตกต่างกันและระยะเวลาการบ่มต่อค่าแรงตัดผ่านของเนื้อ.....74
4.3.5 ผลของพันธุ์โคเนื้อภายใต้ระบบการผลิตโคที่แตกต่างกันและระยะเวลาการบ่มต่อค่าปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ในเนื้อ.....75

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.6 ผลของพันธุ์โคเนื้อภายใต้ระบบการผลิตโคที่แตกต่างกันและระยะ เวลาการบ่มที่มีผลต่อค่าปริมาณคอลลาเจนทั้งหมดในเนื้อ.....76

บทที่ 5 วิจารณ์ผลการทดลอง.....77

5.1 ผลของพันธุ์โคเนื้อภายใต้ระบบการผลิตโคที่แตกต่างกันต่อความยาวของซาร์โคเมียร์และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อ ในกล้ามเนื้อสันนอก.....77

5.2 ผลของพันธุ์โคเนื้อภายใต้ระบบการผลิตโคที่แตกต่างกันต่อองค์ประกอบทางเคมีในกล้ามเนื้อสันนอก.....79

5.3 ผลของพันธุ์โคเนื้อภายใต้ระบบการผลิตโคที่แตกต่างกันที่มีผลต่อคุณภาพเนื้อ.....81

5.4. อิทธิพลของระยะเวลาการบ่มที่มีผลต่อคุณภาพเนื้อ.....83

บทที่ 6 สรุปและข้อเสนอแนะ.....85

6.1 สรุป.....85

6.2 ข้อเสนอแนะ.....87

บรรณานุกรม.....88

ภาคผนวก.....99

ประวัติผู้เขียน.....103

# สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 แสดงกลุ่มและการทำงานของเอ็นไซม์ภายในตัวสัตว์ที่ย่อยสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อ.....22
2.2 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณ calpain และ calpastatin ของกล้ามเนื้อ Longissmus ในโคเพศผู้ไม่ตอน และโคเพศผู้ตอน.....23
2.3 แสดงค่าเฉลี่ยค่าความนุ่มและค่าแรงตัดผ่านเนื้อของกล้ามเนื้อ Longissimus dorsi (LD) ที่อัตราการลดลงของค่า pH ในแต่ละกลุ่ม.....27
2.4 แสดงค่า Least square means ของค่า pH, อุณหภูมิ, ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ และความยาวของซาร์โครเมียร์ที่การลดอุณหภูมิในระยะต่างๆ ของกล้ามเนื้อ Longisismus dorsi.....30
2.5 เปรียบเทียบระดับคะแนนไขมันแทรกที่ 3-3.5 และ 4-5 คุณภาพเนื้อโคลูกผสมเลือดชาร์โรเล่ส์ 50% ขึ้นไป ผสมกับบราห์มันที่อยู่ภายใต้ระบบการผลิตของสหกรณ์การเลี้ยงปศุสัตว์ กรป.กลางโพนยางคำ จำกัด.....36
2.6 ผลของการใช้สารเบต้า-อะดรีเนอจิก อะโกนิสต์ เคลนบูเทอรอลต่อเอ็นไซม์ calpastatin และμ-calpain ในกล้ามเนื้อ Longissmus dorsi ของโคเพศเมียตอน.....41
2.7 แสดงค่าเฉลี่ยที่ได้จากคะแนนทดสอบประสาทสัมผัสจากการชิม ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ และความยาวของซาร์โคเมียร์ ในกล้ามเนื้อแต่ละชนิด.....44
2.8 แสดงคุณภาพเนื้อของโคพันธุ์เจเปนนิส แบลค ในกล้ามเนื้อสันนอก (Longssimus Thoracis) ที่จำแนกออกเป็น 3 กลุ่มตามอายุเข้าฆ่า.....51
4.1 ความยาวของซาร์โคเมียร์และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อของเนื้อโคภายใต้ระบบการผลิตโคที่แตกต่างกัน 5 ระบบการผลิต.....67
4.2 องค์ประกอบทางเคมีของกล้ามเนื้อสันนอกของโคเนื้อภายใต้ระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกัน.....68
4.3 ค่า pH ในกล้ามเนื้อสันนอกของโคแต่ละระบบการผลิตโคที่แตกต่างกันที่ระยะเวลาการบ่ม 1, 7 และ 14 วัน.....69
4.4 ค่าสีของค่า L* ในกล้ามเนื้อสันนอกของโคแต่ละระบบการผลิตโคที่แตกต่างกันที่ระยะเวลาการบ่ม 1, 7 และ 14 วัน.....70
4.5 ค่าสีของค่า a* ในกล้ามเนื้อสันนอกของโคแต่ละระบบการผลิตโคที่แตกต่างกันที่ระยะเวลาการบ่ม 1, 7 และ 14 วัน.....71

# สารบัญตาราง (ต่อ)

**ตารางที่** **หน้า**

4.6 ค่าสีของค่า b* ในกล้ามเนื้อสันนอกของโคแต่ละระบบการผลิตโคที่แตกต่างกันที่ระยะเวลาการบ่ม 1, 7 และ 14 วัน.....72
4.7 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการทำให้สุก ในกล้ามเนื้อสันนอกของโคแต่ละระบบการผลิตโคที่แตกต่างกันที่ระยะเวลาการบ่ม 1, 7 และ 14 วัน.....73
4.8 ค่าแรงตัดผ่านเนื้อในกล้ามเนื้อสันนอกของโคแต่ละระบบการผลิตโคที่แตกต่างกัน ที่ระยะเวลาการบ่ม 1, 7 และ 14 วัน.....74
4.9 ค่าปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ในเนื้อในกล้ามเนื้อสันนอกของโคภายใต้ระบบการผลิตโคที่แตกต่างกันที่ระยะเวลาการบ่ม 1, 7 และ 14 วัน.....75
4.10 ค่าปริมาณคอลลาเจนทั้งหมดในเนื้อของกล้ามเนื้อสันนอกของโคภายใต้ระบบการผลิตโคที่แตกต่างกันที่ระยะเวลาการบ่ม 1, 7 และ 14 วัน.....76
ตารางก. อิทธิพลของพันธุ์โคเนื้อภายใต้ระบบการผลิตโคที่แตกต่างกันในประเทศไทยและระยะเวลาการบ่มที่มีผลต่อคุณภาพเนื้อ .....100

# สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 แสดงโครงสร้างของกล้ามเนื้อ.....15
2.2 แสดงช่วงเวลาของการเกิด rigor mortis และยะเวลาการบ่มที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความนุ่มของเนื้อ.....19
2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการเก็บเนื้อและเปอร์เซ็นต์ของการหดตัวของกล้ามเนื้อโคก่อนการเกิด rigor mortis.....28
2.4 การยืดตัวของกล้ามเนื้อ Semimembranosus ด้านซ้าย จากการแขวนซากที่ตำแหน่งกระดูกเชิงกรานและด้านขวาจากการแขวนซากแขวนที่เอ็นร้อยหวาย.....45
2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า L* และ b* กับค่า pH สุดท้าย (pHu).....49
3.1 โคเนื้อลูกผสมพันธุ์ชาร์โรเล่ส์ประมาณ 50% x บราห์มันประมาณ 25% x พื้นเมืองไทยประมาณ 25% ภายใต้ระบบการผลิตของสหกรณ์โคเนื้อกำแพงแสน.....55
3.2 โคเนื้อลูกผสมพันธุ์ชาร์โรเล่ส์ 50 % ขึ้นไป ภายใต้ระบบการผลิตของสหกรณ์การเลี้ยงปศุสัตว์ กรป.กลาง โพนยางคำจำกัด จังหวัด สกลนคร.....56
3.3 โคเนื้อลูกผสมพันธุ์บราห์มันเลือดสูงเลี้ยงด้วยอาหาร TMR เป็นอาหารหลัก.....56
3.4 โคเนื้อลูกผสมพันธุ์บราห์มันเลือดสูงเลี้ยงด้วยเปลือกสับปะรดเป็นอาหารหยาบ.....57
3.5 โคพันธุ์พื้นเมืองไทย เลี้ยงภายใต้ระบบปล่อยแทะเล็มหญ้าตามธรรมชาติ.....57
3.6 ขั้นตอนการศึกษาคุณภาพเนื้อ.....60
4.1 แสดงเปอร์เซ็นต์การหดตัวความยาวซาร์โคเมียร์ของพันธุ์โคเนื้อภายใต้ระบบการผลิตโคที่แตกต่างกัน.....67

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความสำคัญและที่มา

ในอดีตการเลี้ยงโคเนื้อของประเทศไทยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้งานในการเกษตรเป็นหลัก เมื่อใช้งานจนอายุมากแล้วจึงปลดระวางและนำไปจำหน่ายเป็นโคเนื้อ แต่ในปัจจุบันรูปแบบการเลี้ยงโคในประเทศไทยเปลี่ยนมาเป็นการเลี้ยงเพื่อการบริโภคเนื้อมากขึ้น เนื่องจากภายในประเทศมีความต้องการบริโภคเนื้อสัตว์เพิ่มสูงขึ้น ประกอบกับการได้รับการส่งเสริมจากภาครัฐ จึงทำให้เกษตรกรหันมาเลี้ยงโคเนื้อเพื่อเป็นอาชีพเพิ่มสูงขึ้น (กรมปศุสัตว์. 2547)

การเลี้ยงโคเนื้อในประเทศไทย แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ 1) กลุ่มโคสายเลือด *Bos Taurus* (โคสายเลือดยุโรป) เป็นโคขุนลูกผสมสายพันธุ์ชาร์โรเล่ส์ (Charolais) ระดับสูง มีระยะการขุน 10-14 เดือน เป็นเนื้อโคคุณภาพสูง ที่มีการบ่มซากเพื่อทำให้เนื้อนุ่มก่อนการจำหน่ายลูกค้า และเนื้อโคที่รู้จักกันดีคือ เนื้อโคขุนโพนยางคำ หรือเนื้อโค Thai-French ที่มาจากโคของสมาชิกสหกรณ์การเลี้ยงปศุสัตว์ กรป.กลาง โพนยางคำจำกัด จังหวัดสกลนคร และเนื้อ KU-Beef (เนื้อโคขุนเคยูบีฟ) ของสหกรณ์โคเนื้อกำแพงแสน และ 2) กลุ่มโคสายเลือด *Bos indicus* (โคสายเลือดอินเดีย) แบ่งออกเป็นเนื้อโคคุณภาพปานกลาง มาจากโคขุนลูกผสมสายพันธุ์บราห์มัน (Brahman) ระดับสูง มีระยะเวลาการขุน 3-6 เดือน ซึ่งเนื้อโคขุนกลุ่มนี้อาจจะผ่านขั้นตอนการบ่มหรือไม่บ่มก็ได้ ขึ้นอยู่กับตลาดของเนื้อโค และเนื้อโคที่ไม่กำหนดคุณภาพมาจากการเลี้ยงโคพันธุ์พื้นเมืองหรือโคลูกผสมสายพันธุ์บราห์มัน มันระดับต่ำ ถูกเลี้ยงแบบปล่อยให้หากินในทุ่งหญ้าตามธรรมชาติ เป็นเนื้อโคที่ไม่ผ่านขั้นตอนการบ่มเนื้อ ส่วนใหญ่จะวางขายในตลาดสดหรือแปรรูปทำลูกชิ้น (จุฑารัตน์ เศรษฐกุลและญาณิน โอภาสพัฒนกิจ. 2548)

เนื่องจากระบบการเลี้ยงโคในประเทศไทยมีความหลากหลาย ประกอบกับการจัดการภายหลังสัตว์ตาย ก่อนการจำหน่ายยังขาดการจัดการอย่างเป็นระบบทำให้คุณภาพเนื้อที่ผลิตได้ไม่คงที่ หากได้มีการปรับปรุงการผลิตเนื้อโคให้มีคุณภาพดีขึ้นก็อาจจะช่วยเพิ่มปริมาณการบริโภค ซึ่งปริมาณการบริโภคเนื้อโคของคนไทย ยังมีปริมาณต่ำมากเพียง 3 กิโลกรัมต่อคนต่อปีเท่านั้น และยังช่วยลดการนำเข้าเนื้อโคจากต่างประเทศ ที่มีมูลค่าสูงถึง 310.9 ล้านบาทในปี พ.ศ. 2550 (กรมปศุสัตว์. 2550) ทั้งนี้ข้อมูลเกี่ยวกับคุณภาพเนื้อโคที่ผลิตได้ในประเทศไทย ยังมีการศึกษาไม่มาก ดังนั้นงานวิจัยครั้งนี้จึงได้ทำการศึกษาถึงคุณภาพเนื้อของโคพันธุ์พื้นเมืองและโคลูกผสมพันธุ์ต่างๆ ภายใต้ระบบการผลิตในประเทศไทย เพื่อเป็นข้อมูลในการปรับปรุงการผลิตเนื้อโคให้มีคุณภาพและเป็นประโยชน์ในการพัฒนา การนำเนื้อโคไปใช้ประโยชน์ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมกับคุณภาพเนื้อโคไทย ให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภค อันจะนำไปสู่การส่งเสริมการ

บริโภคเนื้อโคที่ผลิตภายในประเทศไทย และสามารถช่วยลดการนำเข้าเนื้อโคจากต่างประเทศได้ในอนาคต

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาอิทธิพลของพันธุ์โคเนื้อภายใต้ระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันที่มีผลต่อคุณภาพเนื้อ

1.2.2 เพื่อศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาการบ่มต่างๆ ที่มีผลต่อคุณภาพเนื้อของโคพันธุ์พื้นเมืองและโคลูกผสมพันธุ์ต่างๆ ภายใต้ระบบการผลิตในประเทศไทย

## 1.3 สถานที่ดำเนินการ

1.3.1 โรงฆ่าสัตว์กลุ่มสหกรณ์การเลี้ยงปศุสัตว์ กรป. กลาง โพนยางคำ จังหวัด สกลนคร

1.3.2 โรงฆ่าสัตว์ประกอบบีฟโปรดักซ์ จังหวัด ราชบุรี

1.3.3 โรงฆ่าสัตว์บริษัทไทยพรีเมี่ยมบีฟแลมป์แอนด์เวลจำกัด จังหวัด ชลบุรี

1.3.4 โรงฆ่าสัตว์ศูนย์วิจัย และพัฒนาผลิตผลจากสัตว์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัด นครปฐม

1.3.5 สหกรณ์โคเนื้อมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จำกัด จังหวัด นครปฐม

1.3.6 ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพเนื้อสัตว์ และห้องปฏิบัติการโภชนศาสตร์สัตว์ ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1.3.7 ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์เนื้อสัตว์และห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตรการผลิตสัตว์ ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

## 1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1.4.1 ศึกษาอิทธิพลของพันธุ์โคเนื้อภายใต้ระบบการเลี้ยงต่างกันที่มีผลต่อคุณภาพเนื้อ

1.4.2 ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาการบ่มต่างๆ ที่มีผลต่อคุณภาพเนื้อของโคพันธุ์พื้นเมืองและโคลูกผสมพันธุ์ต่างๆ ภายใต้ระบบการผลิตในประเทศไทย

## 1.5 ระยะเวลาการศึกษา

1.5.1 การศึกษาคุณภาพเนื้อ เริ่มเดือนพฤษภาคม 2548 ถึง พฤษภาคม 2550

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ทราบถึงอิทธิพลของสายพันธุ์โคเนื้อต่างภายใต้ระบบการผลิตต่างกันที่มีต่อลักษณะคุณภาพเนื้อ

1.6.2 ทราบถึงอิทธิพลของระยะเวลาการบ่ม ที่มีผลต่อคุณภาพเนื้อโคภายใต้ระบบการผลิตที่ต่างกัน

# บทที่ 2
# งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 พันธุ์โคเนื้อและประเภทของโคเนื้อในประเทศ

โคเนื้อเป็นสัตว์เศรษฐกิจที่สำคัญมีการเลี้ยงกันอย่างแพร่หลาย ในประเทศไทยนิยมเลี้ยงทั้งพันธุ์แท้ พันธุ์ลูกผสมและพันธุ์ที่ประเทศไทยได้ทำการพัฒนาปรับปรุงพันธุ์ขึ้นเองและค่อนข้างแพร่หลายในประเทศไทย พันธุ์โคเนื้อที่นิยมเลี้ยงกันในประเทศไทย แบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

**2.1.1 พันธุ์โคเนื้อตระกูลเมืองร้อน** ประกอบด้วย

2.1.1.1 โคพื้นเมืองไทย (Thai Native)

โคพื้นเมืองไทยแต่เดิมมาถูกเลี้ยงไว้ใช้งาน อดทนและเลี้ยงง่าย ทนทานต่อสภาพอากาศร้อน โรคและแมลง ปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี หากินเก่ง มีความสมบูรณ์พันธุ์สูง ถึงวัยเจริญพันธุ์เร็ว เพศเมียเป็นสัดสม่ำเสมอ ผสมติดง่าย คลอดลูกง่าย เลี้ยงลูกเก่ง ให้ลูกดกและอายุยืน แต่มีจุดด้อยคือขนาดเล็กและโตช้า เพศผู้มีน้ำหนักประมาณ 300-350 กิโลกรัม เพศเมีย 200-250 กิโลกรัม (จุฑารัตน์ เศรษฐกุล และญาณิน โอภาสพัฒนกิจ. 2548) ทั้งนี้ ปิยะศักดิ์ สุวรรณี (2543) ได้จำแนกโคพื้นเมืองออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ โคพื้นเมืองภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โคพื้นเมืองภาคใต้ (โคชน) โคพื้นเมืองภาคเหนือ (โคขาว-ลำพูน) และโคพื้นเมืองภาคกลาง (โคลาน)

2.1.1.2 โคพันธุ์บราห์มัน (Brahman)

โคเนื้อพันธุ์บราห์มันถูกนำเข้ามาโดยกรมปศุสัตว์เมื่อปี พ.ศ. 2500 จุดประสงค์เพื่อปรับปรุงโคเนื้อพันธุ์พื้นเมืองให้มีขนาดใหญ่และเจริญเติบโตเร็วขึ้น (ปรารถนา พฤกษะศรี และคณะ. 2533) โดยเป็นโคที่มีถิ่นกำเนิดในสหรัฐอเมริกาและออสเตรเลีย ลักษณะโดยทั่วไปคือ ลำตัวมีลักษณะเรียวกลม ศีรษะกว้าง หน้าผากหนา หูค่อนข้างยาว ข้อเท้าสั้น หางสีดำ จมูก ริมฝีกปาก ขนตา และกีบเท้ามีสีดำ เหนียงคอและหนังใต้ท้องหย่อนยาน โคนหางใหญ่ พู่หางสีดำ ลำตัวมีสีขาว เทา และแดง มีข้อดี คือทนโรคและแมลง ปรับตัวเข้ากับสภาพอากาศร้อนชื้นได้ดี ข้อเสียคืออัตราการผสมติดค่อนข้างต่ำ ให้ลูกตัวแรกช้าและให้ลูกค่อนข้างห่าง เพศผู้โตเต็มที่น้ำหนักประมาณ 800-1,200 กิโลกรัม เพศเมีย 500-700 กิโลกรัม และเนื่องจากเป็นโคมีปรับตัวได้ดีในลักษณะอากาศของไทย โคพันธุ์บราห์มันจึงเหมาะสำหรับเป็นโคพื้นฐาน เพื่อผลิตโคเนื้อคุณภาพดีและโคนม (จุฑารัตน์ เศรษฐกุล และญาณิน โอภาสพัฒนกิจ. 2548)

**2.1.2 พันธุ์โคเนื้อตระกูลเมืองหนาว**

2.1.2.1 โคพันธุ์ชาร์โรเล่ส์ (Charolais)

มีถิ่นกำเนิดอยู่ที่ประเทศฝรั่งเศส มีสีขาวครีมตลอดทั้งลำตัว รูปร่างเป็นทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ลำตัวยาว และลึก เป็นโคที่มีขนาดใหญ่มาก เพศผู้โตเต็มวัยมีน้ำหนักประมาณ 1,100 กิโลกรัม เพศเมียหนัก 700 - 800 กิโลกรัม (ศรเทพ ธัมวาสร. 2548) มีข้อดีคือเติบโตเร็ว ซากมีขนาดใหญ่ เนื้อนุ่มและเป็นที่ต้องการของตลาดเนื้อโคคุณภาพสูง เหมาะสมที่จะนำมาผสมกับแม่โคบราห์มัน หรือลูกผสมบราห์มันเพื่อนำมาเลี้ยงเป็นโคขุน แต่ถ้าเลี้ยงเป็นพันธุ์แท้ หรือมีสายเลือดสูงๆ จะไม่ทนต่อสภาพอากาศของประเทศไทย นอกจากนี้ ยังไม่เหมาะสมที่นำมาผสมกับแม่โคขนาดเล็ก (โคพื้นเมือง) เพราะอาจทำให้คลอดยาก (จุฑารัตน์ เศรษฐกุล และญาณิน โอภาสพัฒนกิจ. 2548)

2.1.2.2 โคพันธุ์ลิมูซิน (Limousin)

มีถิ่นกำเนิดในภาคกลางตอนใต้ของประเทศฝรั่งเศส จัดเป็นโคขนาดใหญ่ มีสีน้ำตาลแดง รอบจมูก ปาก และข้อขาทั้งสี่เป็นสีอ่อน ข้อดีของโคพันธุ์นี้ คือ ซากมีขนาดใหญ่ มีเนื้อสัน กล้ามเนื้อมาก เหมาะสมที่จะนำมาผสมกับแม่โคบราห์มันหรือลูกผสมบราห์มันเพื่อนำมาเลี้ยงเป็นโคขุน แต่ถ้าเลี้ยงเป็นพันธุ์แท้หรือสายเลือดสูง จะไม่ทนสภาพอากาศของประเทศไทย ไม่เหมาะสมจะใช้ผสมกับแม่โคขนาดเล็ก เพราะอาจทำให้คลอดยาก และเนื่องจากเนื้อมีสีแดงเข้มเมื่อเลี้ยงเป็นโคขุน สีจะไม่น่ากินเมื่อเปรียบเทียบกับโคขุนสายพันธุ์ชาโรเลส์ เพศผู้มีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 1,000-1,300 กิโลกรัม ส่วนเพศเมีย 650-850 กิโลกรัม (จุฑารัตน์ เศรษฐกุล และญาณิน โอภาสพัฒนกิจ. 2548)

2.1.2.3 พันธุ์ซิมเมนทอล (Simmental)

มีถิ่นกำเนิดในประเทศสวิสเซอร์แลนด์ ลำตัวมีสีน้ำตาลหรือแดงเข้มไปจนถึงสีฟาง และมีสีขาวกระจายแทรกทั่วไป หน้า ท้อง และขามีสีขาว จัดเป็นโคขนาดใหญ่ โครงร่างเป็นสี่เหลี่ยม ลำตัวยาว ลึก บั้นท้ายใหญ่ ช่วงขาสั้นและแข็งแรง เพศผู้มีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 1,100-1,300 กิโลกรัม เพศเมีย 650-800 กิโลกรัม (ยอดชาย ทองไทยนันท์ และไพโรจน์ ศิริสม. 2548) ข้อดีของโคพันธุ์นี้คือ เติบโตเร็ว ซากเมื่อมีขนาดใหญ่ เหมาะที่จะนำมาผสมกับแม่โคบราห์มัน หรือลูกผสมบราห์มันเพื่อนำมาเลี้ยงเป็นโคขุน ลูกเพศเมียสามารถใช้รีดน้ำนมได้ แต่ถ้าเลี้ยงเป็นพันธุ์แท้หรือมีสายเลือดสูง จะไม่ทนต่อสภาพอากาศของประเทศไทย ไม่เหมาะสมที่จะใช้ผสมกับแม่โคขนาดเล็ก เพราะอาจทำให้คลอดยาก (จุฑารัตน์ เศรษฐกุล และญาณิน โอภาสพัฒนกิจ. 2548)

**2.1.3 พันธุ์โคเนื้อลูกผสม**

2.1.3.1 โคเนื้อพันธุ์กำแพงแสน (Kamphaengsaen Beef)

ปรารถนา พฤกษะศรี (2544) รายงานว่าโคพันธุ์กำแพงแสนเป็นพันธุ์ที่เกิดจากการปรับปรุงพันธุ์ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน โดยปรับปรุงพันธุ์เป็นโคเนื้อที่มีเลือดพื้นเมือง 25 เปอร์เซ็นต์เลือดบราห์มัน 25 เปอร์เซ็นต์ และเลือดชาโรเล่ส์ 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่าโคลูกผสมดังกล่าวมีอัตราการเจริญเติบโตดี เลี้ยงง่าย เนื้อมีคุณภาพดี เพศผู้โตเต็มที่มีน้ำหนักประมาณ 600-900 กิโลกรัม เพศเมีย 400-600 กิโลกรัม ลำตัวยาวและกว้าง ความลึกของลำตัวสมดุลกับส่วนต่างๆ ของร่างกาย แนวสันหลังตรงไปจนถึงโคนหาง แนวพื้นท้องค่อนข้างเป็นเส้นตรง ซี่โครงกางมาก อกใหญ่ พื้นอกกว้าง เมื่อยืนขาหน้าจะห่างตั้งตรงและมั่นคงโดยลูกที่ได้นั้นคาดว่าจะเหมาะสมกับธุรกิจโคขุนในอนาคตจุดเด่นของโคพันธุ์นี้คือให้เปอร์เซ็นต์การตกลูกสูง ผสมติดง่าย เปลี่ยนอาหารหยาบคุณภาพปานกลางให้เป็นน้ำหนักได้ดี (จรัญ จันทลักขณา. 2546)

2.1.3.2 โคพันธุ์ตาก (Tak Beef Cattle)

ศูนย์วิจัยและบำรุงพันธุ์สัตว์ตาก ได้คัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์ให้เป็นโคเนื้อพันธุ์ใหม่ ที่โตเร็ว เนื้อนุ่ม โดยนำน้ำเชื้อพันธุ์ชาโรเล่ส์คุณภาพสูงจากประเทศฝรั่งเศส ผสมกับแม่โคพันธุ์บราห์มันพันธุ์แท้ ได้โคลูกผสมชั่วที่ 1 (เรียกว่าโคพันธุ์ตาก 1 ชาโรเลส์ 50 เปอร์เซ็นต์ และบราห์มัน 50 เปอร์เซ็นต์) แล้วผสมแม่โคเพศเมียชั่วที่ 1 ด้วยน้ำเชื้อหรือพ่อพันธุ์บราห์มันแท้ โดยโคลูกผสมชั่วที่ 2 (เรียกว่าโคพันธุ์ตาก 2 ชาโรเล่ส์ 25 เปอร์เซ็นต์ และบราห์มัน 75 เปอร์เซ็นต์) จากนั้นผสมแม่โคเพศเมียชั่วที่ 2 ด้วยน้ำเชื้อโคพ่อพันธุ์ชาโรเล่ส์ ได้โคลูกผสมชั่วที่ 3 (เรียกว่าโคพันธุ์ตาก ชาโรเล่ส์ 62.5 เปอร์เซ็นต์ และบราห์มัน 37.5 เปอร์เซ็นต์) แล้วนำโคชั่วที่ 3 มาผสมกัน คัดเลือกปรับปรุงได้เป็นโคเนื้อพันธุ์ใหม่ เรียกว่าโคพันธุ์ตาก ซึ่งมีสีน้ำตาลอ่อนคล้ายสีทอง มีลักษณะคล้ายโคพันธุ์ชาโรเล่ส์ เป็นโคขนาดกลาง เพศผู้โตเต็มที่มีน้ำหนักประมาณ 900-1,000 กิโลกรัม เพศเมียโตเต็มที่มีน้ำหนักประมาณ 600-700 กิโลกรัม ข้อดีคือเลี้ยงง่าย หากินเก่ง มีการเจริญเติบโตเร็ว เนื้อนุ่ม เนื้อสันมีไขมันแทรก มีซากอุ่น 63 เปอร์เซ็นต์ และซากเย็น 62 เปอร์เซ็นต์ ซากมีขนาดใหญ่ที่สนองความต้องการตลาดเนื้อโคคุณภาพดีได้ ข้อเสียคือต้องดูแล เอาใจใส่ในการเลี้ยง จากการศึกษาพบว่า โคพันธุ์ตาก (ชั่วที่ 3) มีความเหมาะสมที่จะเลี้ยงได้ดีในประเทศไทย (จุฑารัตน์ เศรษฐกุล และญาณิน โอภาสพัฒนกิจ. 2548)

2.1.3.3 โคพันธุ์กบินทร์บุรี

เป็นโคลูกผสมระหว่างพันธุ์ซิมเมนทอลกับพันธุ์บราห์มัน ศูนย์วิจัยและบำรุงพันธุ์สัตว์ปราจีนบุรี ได้สร้างให้เป็นโคพันธุ์กึ่งเนื้อกึ่งนม โคเพศผู้ใช้เป็นโคขุน และแม่โคใช้รีดน้ำนมได้ โดยนำน้ำเชื้อโคพันธุ์ซิมเมนทอลคุณภาพสูงจากประเทศเยอรมัน ผสมกับแม่โคบรามันห์พันธุ์แท้ ได้ลูกโคผสมชั่วที่ 1 ที่มีระดับเลือดซิมเมนทอล 50 เปอร์เซ็นต์ และระดับเลือดบราห์มัน 50

เปอร์เซ็นต์ แล้วผสมโคชั่วที่ 1 เข้าด้วย (จุฑารัตน์ เศรษฐกุล และญาณิน โอภาสพัฒนกิจ. 2548) ข้อดี คือ การเจริญเติบโตเร็ว ทนทานต่อสภาพอากาศร้อนซากมีขนาดใหญ่ที่สนองความต้องการตลาด เนื้อโคคุณภาพดี ลูกเพศเมียใช้รีดนมได้มากพอสมควร ข้อเสียคือ ต้องดูแล เอาใจใส่ในการเลี้ยง หากใช้แม่โครีดนม ลูกโคที่เกิดออกมาต้องแยกเลี้ยงแบบลูกโคนม ดังนั้นผู้เลี้ยงต้องมีความรู้ในการเลี้ยงโครีดนม (ยอดชาย ทองไทยนันท์ และไพโรจน์ ศิริสม. 2548)

## 2.2 ระบบการเลี้ยงโคเนื้อในประเทศไทย

จุฑารัตน์ เศรษฐกุล และญาณิน โอภาสพัฒนกิจ (2548) รายงานว่าการเลี้ยงโคเนื้อในประเทศไทยอาจแบ่งเป็น 3 ระบบ ประกอบไปด้วย

### 2.2.1 การเลี้ยงโคเนื้อสำหรับตลาดเนื้อคุณภาพสูง

เนื้อโคขุนภาพสูงได้มาจาก โคลูกผสมที่มีเลือดยุโรปที่นิยมเลี้ยง ได้แก่ พันธุ์ชาโรเล่ส์ (Charolais), ลิมูซิน (Limousin), เฮียฟอร์ด (Hereford) ซึ่งมีเลือดโคยุโรปมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ การขุนโคลูกผสมเริ่มต้นที่น้ำหนักตัว 300-350 กิโลกรัม โดยจะได้รับอาหารข้นที่มีพลังงานจากคาร์โบไฮเดรตสูง รวมกับการให้หญ้าสดและฟาง เป็นเวลา 10-14 เดือน อาจมีการเสริมกากน้ำตาลหลังจากขุนไปแล้ว 4 เดือน ก่อนสิ้นสุดการขุนที่น้ำหนักโคมีชีวิต 550-650 กิโลกรัม เนื้อโคที่เน้นความนุ่มและไขมันแทรกในเนื้อ ซึ่งกระบวนการผลิตจะผ่านขั้นตอนการบ่มเนื้อในห้องเย็น 0-4 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 7-14 วัน ก่อนการจำหน่าย ได้แก่ เนื้อโคขุนโพนยางคำหรือเนื้อโค Thai-French ที่มาจากโคของสมาชิกสหกรณ์การเลี้ยงปศุสัตว์ กรป.กลาง โพนยางคำจำกัด จังหวัดสกลนคร และเนื้อ KU-Beef ของสหกรณ์โคเนื้อกำแพงแสน เป็นเนื้อที่มีไขมันแทรกพอสมควรแต่ไม่เน้นปริมาณไขมันแทรกมากเท่าเนื้อโคขุนโพนยางคำ ซึ่งใช้ระยะเวลาในการขุน 8-10 เดือน แต่เน้นที่ความนุ่มของเนื้อโคขุนที่อายุน้อยกว่า (ประมาณ 2 ปีครึ่ง)

กลุ่มการผลิตเนื้อโคประเภทนี้ มีศักยภาพในการผลิตคุณภาพเนื้อไม่ด้อยกว่าเนื้อโคขุนนำเข้าจากต่างประเทศ แต่มีส่วนแบ่งในตลาดไม่ถึง 1 เปอร์เซ็นต์ และเป็นตลาดระดับสูง ได้แก่ โรงแรม ภัตตาคาร ร้านสเต็กบาบีคิวมีระดับ แมคโดแนล วิลล่าซุปเปอร์มาเกต โมเดิร์นเทรดระดับ 5 ดาว เป็นต้น

### 2.2.2 การเลี้ยงโคเนื้อสำหรับตลาดเนื้อคุณภาพปานกลาง

เนื้อโคที่มีความนุ่มปานกลางเป็นเนื้อที่ไม่มีไขมันแทรก ส่วนใหญ่จะเป็นการขุนโคลูกผสมพันธุ์บราห์มันเลือดสูง และมีบางส่วนที่มีสายเลือดโคพันธุ์ชาโรเล่ส์ผสมอยู่ โดยเริ่มที่น้ำหนัก 300 กิโลกรัม ระยะเวลาขุน 4–5 เดือน จนได้น้ำหนักส่งเข้าโรงฆ่า 450-500 กิโลกรัม การขุนโคเริ่มต้นที่น้ำหนัก 250-300 กิโลกรัม โดยจะถูกขุนด้วยอาหารข้นและอาหารหยาบที่เป็นผลพลอยได้จากการปลูกพืช เช่น ยอดอ้อย ต้นถั่วเหลือง ต้นถั่วลิสง ต้นข้าวโพด เป็นต้น และผลพลอย

ได้จากอุตสาหกรรมการเกษตร ซึ่งส่วนใหญ่ ได้แก่ เปลือกและเหง้าสับปะรด ที่อยู่ในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เพชรบุรี กาญจนบุรี นครปฐม ราชบุรี ชลบุรี ระยอง เป็นต้น และปัจจุบันเริ่มใช้โคลูกผสมพันธุ์บราห์มันอายุน้อยเข้าขุนเพิ่มขึ้น ขุนนาน 6-8 เดือน เนื้อโคขุนกลุ่มนี้อาจจะผ่านขั้นตอนการบ่มหรือไม่บ่ม ขึ้นอยู่กับตลาดของเนื้อโค

กลุ่มการผลิตโคขุนนี้สามารถที่จะขยายโอกาสเข้าสู่ตลาดโมเดร์นเทรด ซุปเปอร์มาเกต ร้านสเต็กได้ หากผู้ผลิตมีการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการผลิต ตลอดห่วงโซ่ของการผลิตโดยเริ่มจากการคัดเลือกโคที่จะนำเข้ามาขุน คุณภาพของอาหารข้นและชนิดของอาหารหยาบ ระยะเวลาในการขุนนานขึ้นเพื่อให้มีการเก็บสะสมไขมันมากขึ้นผ่านกระบวนการฆ่าในโรงฆ่าสัตว์ กระบวนการตัดแต่งและการเก็บรักษาเนื้อที่ได้มาตรฐาน

**2.2.3 การเลี้ยงเพื่อตลาดเนื้อโคที่ไม่กำหนดคุณภาพ** ได้มาจาก

2.2.3.1 โคมัน

ส่วนใหญ่เป็นโคลูกผสมพันธุ์บราห์มันและพื้นเมือง หรืออาจเป็นโคนำเข้ามาจากชายแดน โคอายุมากกว่า 3 ปี โดยจะถูกนำมาขุนด้วยอาหารข้นและอาหารหยาบเป็นระยะเวลาสั้นๆ เพียง 3–4 เดือน ก่อนนำส่งเข้าโรงฆ่า น้ำหนักส่งเข้าโรงฆ่าเฉลี่ย 550 กิโลกรัม เป็นเนื้อที่มีไขมันหุ้มซากหนา แต่ถ้าไม่ต้องการมันหุ้มซากมากก็จะขุนเป็นระยะเวลา 2-3 เดือน เพื่อให้โคได้มีการสร้างกล้ามเนื้อขึ้นมาบ้าง และเนื้อโคจะค่อนข้างเหนียว และมีกลิ่นแรง เส้นใยกล้ามเนื้อหยาบ เนื้อโคจะไม่ผ่านขั้นตอนการบ่ม เนื้อส่วนใหญ่จำหน่ายในตลาดสด

2.2.3.2 โคแก่

ส่วนใหญ่เป็นโคเนื้ออายุมาก โคคัดทิ้ง โคนำเข้าจากชายแดน โคที่ผ่ายผอม เนื้อโคจะเหนียวมาก ไม่มีมัน มีพังผืดมาก เนื้อมีกลิ่นแรง เนื้อโคกลุ่มนี้ส่วนใหญ่ถูกส่งเข้าโรงงานทำลูกชิ้น อาจจะมีจำหน่ายอยู่บ้างตามตลาดสดในชนบท ตลาดนัดเคลื่อนที่

2.2.3.3 โคพื้นเมือง

โคที่ถูกเลี้ยงแบบปล่อยให้หากินในทุ่งหญ้าตามธรรมชาติ ซึ่งเกษตรกรรายย่อยจะเลี้ยงปล่อยตามพื้นที่สาธารณะ ท้องนา พื้นที่ข้างถนน ที่รกร้าง ป่าชายเขา รวมทั้งบนภูเขาด้วย โดยพื้นที่ดังกล่าวมีหญ้าและไม้พุ่มตามธรรมชาติ ลักษณะการเลี้ยงแบบไล่ต้อนไปตามแหล่งอาหารธรรมชาติ โดยไม่มีการเสริมอาหารข้น คุณภาพของเนื้อโคพื้นเมืองนั้นไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับอายุโค ความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งอาหารหยาบที่มีอยู่ตามธรรมชาติ โดยทั่วไปเนื้อโคพื้นเมืองจะค่อนข้างเหนียว เนื่องจากแหล่งหญ้าตามธรรมชาติไม่พอเพียงในฤดูแล้ง ต้องใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงถึง 3 ปี จึงจะได้น้ำหนัก 250–300 กิโลกรัม เนื้อโคพื้นเมืองส่วนใหญ่มีจำหน่ายตามตลาดสดต่างจังหวัด ร้านขายเนื้อริมถนนหลวง (ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ) และตลาดนัดเคลื่อนที่ ซึ่งส่วนใหญ่แล้วไม่นิยมบ่มเนื้อก่อนออกจำหน่าย จากการศึกษาของ Sethakul *et al.* (2008) พบว่าโคพื้นเมืองที่เลี้ยงด้วย

หญ้าเพียงอย่างเดียวมีความหนาของไขมันสันหลังน้อยมากหรือแทบไม่มีเลย และมีเปอร์เซ็นต์ของไขมันในเนื้อเท่ากับ 0.77 เปอร์เซ็นต์

## 2.3 ระบบการเลี้ยงโคเนื้อในต่างประเทศ

จุฑารัตน์ เศรษฐกุล และญาณิน โอภาสพัฒนกิจ (2548) รายงานว่าประเทศที่เลี้ยงโคเนื้อเพื่อการส่งออกได้แก่ ออสเตรเลีย สหรัฐอเมริกา จะมีรูปแบบการเลี้ยงที่เป็นธุรกิจ ขนาดฝูงใหญ่ ซึ่งระบบการเลี้ยงแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ

### 2.3.1 ระบบเลี้ยงปล่อยแทะเล็มในทุ่งหญ้า (Grass fed)

มีระบบการจัดการแปลงหญ้า ซึ่งจำแนกตามการใช้ประโยชน์ได้ดังนี้

2.3.1.1 การปล่อยสัตว์แทะเล็มอย่างต่อเนื่อง (Continuous grazing)

โคจะถูกปล่อยให้กินหญ้าในพื้นที่หนึ่งตลอดปี หรือ ตลอดระยะเวลาหนึ่ง เช่น ช่วงที่หญ้าเจริญเติบโตระบบนี้หากปล่อยให้สัตว์แทะเล็มตลอดปี หญ้าพันธุ์ที่สัตว์ชอบกินจะไม่มีโอกาสได้ขยายพันธุ์ และในฤดูแล้งหญ้าอาจขาดแคลน จำเป็นต้องใช้อาหารเสริมช่วยปัจจัยสำคัญของระบบนี้คือ การกำหนดจำนวนสัตว์ (stocking rate) ให้เหมาะสมกับผลผลิตหญ้าจากการศึกษาในออสเตรเลียและคำแนะนำในเท็กซัส หากมีการจัดการที่ดีแล้วระบบนี้จะให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจมากที่สุด แต่บางแห่งก็แย้งว่าขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการจัดการมากกว่าจำนวนสัตว์ในแต่ละฤดูอาจแตกต่างกันขึ้นอยู่กับผลผลิตของหญ้า ในหน้าแล้งอาจจำเป็นต้องให้หญ้าหมัก หญ้าแห้ง หรืออาหารข้นเสริมก็ได้

2.3.1.2 การปล่อยให้สัตว์แทะเล็มแบบหมุนเวียน (Deferred rotational grazing)

ระบบแทะเล็มที่มีการเคลื่อนย้ายสัตว์หรือต้อนสัตว์จากแปลงหนึ่งไปอีกแปลงหนึ่งสลับหมุนเวียนกันไปตามแผนการที่ได้กำหนดไว้ล่วงหน้าแนวคิดของระบบนี้ก็คือ ปล่อยให้หญ้าชนิดที่เราต้องการมีโอกาสพักเพื่อผลิตเมล็ดขยายพันธุ์ต่อไปในช่วงระยะหนึ่ง ระบบนี้เป็นที่เข้าใจกันว่าน่าจะให้ผลดีกว่าระบบแทะเล็มตลอด แต่ผลการศึกษาหลายแห่งทั้งในออสเตรเลียและสหรัฐอเมริกากลับพบว่าให้ผลผลิตต่ำกว่าเพราะมีปัจจัยต่างๆหลายอย่างเข้ามาเกี่ยวข้อง ในกรณีที่มีหญ้าหลายชนิดขึ้นอยู่รวมกันหญ้าพันธุ์ที่สัตว์ไม่ชอบกินอาจมีโอกาสเจริญเติบโตได้ดีกว่า ทำให้ผลผลิตของสัตว์ลดลงความสูญเสียจากการเหยียบย่ำและหญ้าส่วนที่เปื้อนมูลโคจะลดลงถ้าบังคับให้สัตว์แทะเล็มหญ้าเป็นแถบ (strip grazing) โดยใช้รั้วไฟฟ้าควบคุมการหมุนเวียนแปลงหญ้าอาจจัดเป็นระบบต่างๆตามระยะเวลาที่สัตว์แทะเล็มหญ้าในแปลงและระยะที่พักแปลง ระยะเวลาการแทะเล็มคำนวณได้จาก

*เวลาการแทะเล็มเฉลี่ย(วัน) = ระยะพักแปลงเฉลี่ย (วัน)/จำนวนแปลงที่พัก*

ตัวอย่างเช่น ระยะพักแปลง 60 วัน มี 12 แปลงที่พัก เวลาของการแทะเล็ม = 60/12 = 5 วัน ในระบบหมุนเวียนที่นานเกินไป เช่น 21-25 วัน จะทำให้เกิดความสูญเสียจากหญ้าแก่ ทำให้การย่อยได้ของหญ้าลดลง และส่วนที่สัตว์ไม่กินมีมาก ประมาณ 40% ของพืชที่เจริญเติบโตจะไม่ถูกสัตว์กิน การใช้เครื่องตัดแต่งแปลงหญ้าเพื่อรักษาคุณภาพหญ้าเป็นการเสียค่าใช้จ่ายและสูญเสียหญ้า และเป็นการเพิ่มส่วนของลำต้นแทนที่จะเป็นพุ่มใบพื้นที่ชลประทานอาจเหมาะสมในการหมุนเวียนระยะสั้น 5-7 วัน โดยหลังจากปล่อยให้แทะเล็ม 1-2 ครั้งแล้วจึงให้น้ำชลประทาน

2.3.1.3 การตัดให้สัตว์กินโดยตลอด (Zero grazing)

ระบบนี้รวมถึง การตัดหญ้าสด การทำหญ้าแห้ง และการทำหญ้าหมัก มีข้อดีคือ ลดความสูญเสียจากการเหยียบย่ำและการถ่ายมูลของสัตว์ การเกี่ยวด้วยมือต้องใช้แรงงานมาก การตัดด้วยเครื่องจักรอาจมีปัญหาที่ลงตัดไม่ได้ในฤดูฝน ระบบนี้จำเป็นต้องใช้ปุ๋ยในแปลงหญ้าอย่างมาก ต้องใช้แรงงานขนมูลสัตว์และอาจเกิดมลภาวะบริเวณคอกที่ขังสัตว์ตลอด (ยอดชาย ทองไทยนันท์. 2546)

2.3.1.4 ระบบการเลี้ยงในทุ่งหญ้าและเสริมด้วยอาหารข้น (Grain fed)

ภายใต้ระบบการเลี้ยง อาหารข้นที่ใช้ ได้แก่ เมล็ดธัญพืชพวกข้าวบาร์เลย์และข้าวฟ่าง โดยใช้ระยะเวลาขุน 30 วัน จนถึง 300 วัน ขึ้นอยู่กับความต้องการระดับไขมันแทรกและน้ำหนักซาก โดยเฉลี่ยจะใช้เวลาขุนอย่างน้อย 70 วัน สำหรับตัวผู้ตอน และ 60 วันสำหรับตัวเมีย ซึ่งส่วนใหญ่จะเลี้ยงในคอกขุนเรียกว่า feedlot สำหรับส่งออกไปยังต่างประเทศ โดยเฉพาะประเทศญี่ปุ่น (จุฑารัตน์ เศรษฐกุล และญาณิน โอภาสพัฒนกิจ. 2548)

## 2.4 ตัวชี้วัดคุณภาพเนื้อ

จุฑารัตน์ เศรษฐกุล (2543) กล่าวว่าคุณลักษณะสมบัติของเนื้อที่ใช้เป็นตัวกำหนดคุณภาพแบ่งออกได้เป็น 5 ด้านดังนี้

**1. คุณค่าทางโภชนาการและสุขภาพ (nutritional value)** เนื้อโคเป็นแหล่งอาหารโปรตีน ให้พลังงานกรดอะมิโนจำเป็น กรดไขมันจำเป็น และปริมาณแร่ธาตุที่จำเป็น เช่น ธาตุเหล็กสูง นอกจากนี้ยังอุดมไปด้วย ไวตามินอี และไวตามินบี

**2. คุณค่าทางการบริโภค (sensory value หรือ sensory value)** ได้แก่ คุณภาพที่เกี่ยวข้องกับ สีของเนื้อ (color) ไขมันแทรกที่อยู่ในระหว่างเส้นใยกล้ามเนื้อ (marbling) ความนุ่มของเนื้อ (tenderness) กลิ่นและรสชาติ (flavor) ความชุ่มฉ่ำของเนื้อ (juiciness) ขนาดของเส้นใยกล้ามเนื้อ (texture) เป็นต้น

**3. คุณค่าทางด้านความสะอาด ปลอดภัย (hygienic value)** หรือทางด้านความปลอดภัยของอาหาร ได้แก่การปลอดภัยจากสารตกค้างและสารปนเปื้อนในเนื้อ ได้แก่ การปนเปื้อนจาก

เชื้อจุลินทรีย์ (microbial contamination) สำคัญที่ก่อให้เกิดโรคการปนเปื้อนจากปรสิต และการปนเปื้อนจากมลพิษทางสิ่งแวดล้อม

4. **คุณค่าทางการแปรรูปเนื้อสัตว์ (technological value)** ได้แก่ ค่าความเป็นกรดด่างในเนื้อ สถานภาพของโปรตีนในเส้นใยกล้ามเนื้อ ความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนในเนื้อ เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างเก็บรักษา และการสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงอาหาร เป็นต้น

5. **คุณค่าที่เกี่ยวข้องทางคุณธรรมและจิตใจ (ethical value)** ได้แก่ การเลี้ยงและการจัดการสัตว์โดยการคำนึงถึงสวัสดิภาพสัตว์ให้สัตว์ได้รับความเครียดน้อยที่สุด ตั้งแต่การเลี้ยงในระดับฟาร์มจนถึงกระบวนการฆ่าในโรงฆ่าสัตว์ เช่นการยอมรับคุณภาพเนื้อโคที่ได้มาจากการเลี้ยงในระบบปล่อยทุ่งหญ้าธรรมชาติ (grass beef) เป็นต้น

คุณภาพเนื้อเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจของผู้บริโภค ทั้งนี้ในเรื่องความนุ่มของเนื้อจัดได้ว่าเป็นเรื่องที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญมากที่สุด ซึ่งตัวปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพเนื้อนั้นก็มีทั้งภายในตัวสัตว์เอง ซึ่งมีสาเหตุมาจากปัจจัยทางด้านพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อม เช่น ระบบการให้อาหาร ระยะเวลาการขุน เป็นต้น

## 2.5 วิธีการตรวจวัดความนุ่มในเนื้อ

### 2.5.1 การวัดค่าแรงตัดผ่านเนื้อ

การวัดค่าแรงตัดผ่านเนื้อ คือค่าความต้องการแรงเฉลี่ย (กิโลกรัม) ที่สูงที่สุด ที่สามารถทำการตัดตัวอย่างเนื้อในรูปทรงมาตรฐานให้ขาดออกจากกัน โดยที่เนื้อดังกล่าวอาจได้รับการให้ความร้อนตามมาตรฐานที่กำหนด เนื้อที่มีความเหนียวจะใช้ค่าแรงในการตัดชิ้นเนื้อมากกว่าเนื้อที่มีความนุ่ม กำหนดหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (Boccard *et al.* 1981)

### 2.5.2 การวัดความยาวซาร์โคเมียร์

ซึ่ง “sarcomere” คือ หน่วยวัดที่เล็กที่สุดของกล้ามเนื้อ ซึ่งบริเวณตรงกลางของ I-band จะมีเส้นทึบที่เรียกว่า Z-line (Z disk) ระยะห่างระหว่าง Z-line 2 อัน ที่อยู่ติดกันเรียกว่า 1 sarcomere ในสภาวะปกติซาร์โคเมียร์จะมีความยาวประมาณ 2.5 ไมโครเมตร ซึ่งความยาวของซาร์โคเมียร์มีความสัมพันธ์กับความนุ่มของเนื้อ โดยพบว่าถ้าเนื้ออยู่ในสภาวะคลายตัวความยาวของซาร์โคเมียร์จะมากกว่าในเนื้อที่หดตัว และเนื้อจะมีความนุ่มกว่า (Vandendriessche *et al.* 1984)

### 2.5.3 การวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อ

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อ เป็นตัวบ่งชี้ความนุ่มของเนื้อวิธีหนึ่ง โดยพบว่าเส้นใยกล้ามเนื้อที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดเล็กจะมีความนุ่มมากกว่าเส้นใยกล้ามเนื้อที่มี

เส้นผ่าศูนย์กลางขนาดใหญ่ เส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อที่วัดได้กำหนดหน่วยเป็น micron (Tuma *et al.* 1962)

**2.5.4 การหาค่า myofibrillar fragmentation index: MFI**

Myofibrillar fragmentation index เป็นวิธีการวัดความนุ่มของเนื้อ จากค่าดูดกลืนแสงของเส้นใยของกล้ามเนื้อที่คงเหลือจากการแตกตัว โดยวัดด้วยความยาวคลื่นแสงที่ 540 นาโนเมตร แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณ ดังสมการ ต่อไปนี้ MFI = 200 x ค่าการดูดกลืนแสงของสารแขวนลอยไมโอไฟบริล ค่าที่ได้จากการคำนวณจะถูกนำมาเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ ดังนี้ (Olson *et al.* 1976)

| | | |
|---|---|---|
| MFI 60 หรือมากกว่า | = | นุ่มมาก |
| MFI 50 – 59 | = | นุ่มปานกลาง |
| MFI ต่ำกว่า 50 | = | เหนียว |

การวัดค่า MFI เป็นการวัดความนุ่มที่ได้ผลใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุดวิธีหนึ่ง และสามารถลดปัจจัยที่อาจทำให้เกิดการคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงได้ เช่น การวัดความยาวของซาร์โคเมียร์ ซึ่งอาจให้ผลคลาดเคลื่อนเนื่องจากปัจจัยก่อนสัตว์ตาย เช่น กรรมวิธีในกระบวนการฆ่า หรือการหดตัวของกล้ามเนื้อเนื่องจากการลดอุณหภูมิของเนื้อลดลงอย่างรวดเร็ว (cold shortening) หรือปริมาณคอลลาเจนทั้งหมดและปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ (Koohmaraie. 1996)

**2.5.5 การวัดปริมาณคอลลาเจนทั้งหมด**

ถ้ากล้ามเนื้อมีปริมาณของคอลลาเจนสูงจะมีผลทำให้เนื้อโคเหนียว ปริมาณคอลลาเจนทั้งหมดในกล้ามเนื้อจะผันแปรตามชนิดของกล้ามเนื้อ เป็นต้น ปัจจุบันได้มีการปรับปรุงกรรมวิธีในการวัดปริมาณคอลลาเจนทั้งหมดเป็นดัชนีในการวัดความนุ่ม โดยเปลี่ยนเป็นการวัดปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้แทนการวัดปริมาณคอลลาเจนทั้งหมด ซึ่งจะให้ความแม่นยำมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากโคที่มีอายุน้อยจะมีคอลลาเจนที่ละลายได้สูงกว่าโคที่มีอายุมาก ซึ่งเนื้อที่มีปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้สูงจะมีความเหนียวน้อยกว่า โดยปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้นั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับอายุของสัตว์ อาจผันแปรตามปัจจัยอื่น และในการศึกษาของ Culler *et al.* (1978) พบว่าชนิดของกล้ามเนื้อไม่มีผลต่อปริมาณคอลลาเจนทั้งหมดในเนื้อ ซึ่งพบว่าในกล้ามเนื้อทุกชนิดจะมีปริมาณคอลลาเจนทั้งหมดในระดับที่ใกล้เคียงกัน แต่จากการทดลองสิ่งที่น่าสนใจคือ ปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ในชนิดกล้ามเนื้อที่มีความนุ่มจะมีปริมาณสูงและชนิดกล้ามเนื้อที่มีความเหนียวจะมีปริมาณต่ำกว่า ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Cross *et al.* (1973) กล่าวว่า ปริมาณของคอลลาเจนที่ละลายได้ จะมีความสัมพันธ์กับความนุ่มของกล้ามเนื้อ ดังนั้นหากตรวจสอบความนุ่มของเนื้อโดยใช้องค์ประกอบทางชีวเคมี ควรใช้ปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ในการตรวจสอบเพื่อจัดระดับความนุ่มของเนื้อ

**2.5.6 การวัดความสามารถในการทำงานของเอ็นไซม์ calpain ในเนื้อสด**

ใช้วัดความสามารถในการทำหน้าที่ย่อยโปรตีนของเอ็นไซม์ calpain โดยใส่โปรตีน casein ที่เป็นโปรตีนสายยาวลงในหลอดทดลองร่วมกับเอ็นไซม์ calpain ที่สามารถสกัดได้จากเนื้อสด แล้วทิ้งไว้ภายใต้สภาวะมาตรฐานตามเวลาที่กำหนด จากนั้นทำการวัดเปปไทด์ "tryptophan" (TRY) ที่ถูกปล่อยออกมา เพื่อนำไปวิเคราะห์หาความสามารถในการย่อยโปรตีนของ calpain หากพบว่ามีปริมาณของ TRY อยู่มาก แสดงว่า calpain สามารถทำการย่อยได้มาก ซึ่งสรุปได้ว่าในเนื้อที่มีการทำงานของ calpain สูง เนื้อนั้นจะมีความนุ่มสูงด้วยเช่นกัน (Etherington *et al.* 1987)

**2.5.7 การศึกษาน้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนในเนื้อโดยเทคนิค SDS-PAGE (sodium dodecyl sulphate polyacrylamide gel electrophoresis)**

วิธีการศึกษาจะอาศัยหลักการ คือทำให้โปรตีนทุกชนิดมีประจุเป็นลบด้วยสารซักฟอก ซึ่งคือ sodium dodecyle sulphate (SDS) ที่มีประจุลบ เป็นผลให้โปรตีนเกิดการสูญเสียสภาพ เกิดการแยกโปรตีนออกเป็นหน่วยย่อย แล้วแยกโปรตีนแต่ละชนิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกันในสนามไฟฟ้า ทำให้สามารถทราบน้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนนั้นๆ ได้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับโปรตีนมาตรฐาน (Ngapo and Alexander. 1999) ดังเช่น

ถ้าพบ 30 kDa แสดงว่ามาจากการสลายตัวของ troponin-T

ถ้าพบ 44 kDa แสดงว่ามาจากการสลายตัวของ creatine

ถ้าพบ 55 kDa แสดงว่ามาจากการสลายตัวของ desmin

ถ้าพบ 300-500 kDa แสดงว่ามาจากการสลายตัวของ Z-line เป็นต้น

และจากที่กล่าวมาสามารถประยุกต์การตรวจสอบการสลายตัวของโปรตีนชนิดต่างๆ ได้ เช่น สามารถตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเอ็นไซม์ใน pH อุณหภูมิ ระยะเวลาการบ่มต่างๆ ได้ การตรวจสอบว่า ถ้ากล้ามเนื้อชนิดนั้นเป็นเส้นใยกล้ามเนื้อประเภท type II จะเกิด 30 kDa เร็วกว่ากลุ่มอื่นๆ เนื่องจากการเกิดการสลายตัวของโปรตีนเร็วกว่ากลุ่มอื่นๆ หรือการเกิด 44 kDa จะเกิดในเส้นใยกล้ามเนื้อประเภท type II เร็วกว่า type I ทั้งนี้เพราะ creatinekiness เป็นส่วนประกอบของ sacoplasmicprotein ดังนั้นการสลายตัวของ creatinekinese จะเร็ว เนื่องจากเกิดกระบวนการ glycolytic ที่เร็วทำให้เกิด ADP และ Pi ในกล้ามเนื้อปริมาณมาก รวมทั้งการสลายตัวของ nibulin และ titin ซึ่งเป็นโปรตีนที่ให้ความแข็งแรงของ Z-line (Koohmaraie. 1996)

**2.5.8 การวัดระดับความนุ่มของเนื้อโดยประสาทสัมผัสผู้บริโภคจากการชิม**

การวัดระดับความนุ่มของเนื้อด้วยประสาทสัมผัส จะอาศัยความพึงพอใจของผู้บริโภคมาเป็นตัวตัดสิน โดยศึกษาลักษณะของเนื้อทั้ง 4 ลักษณะ คือ ความนุ่ม รสชาติ ความชุ่มฉ่ำ และความพอใจโดยสรุป และความนุ่มของเนื้อ จะเกี่ยวข้องกับความพึงพอใจในขณะเคี้ยว 3 ระยะ ได้แก่

ระยะแรก คือ ความง่ายต่อการกัดชิ้นเนื้อ ระยะที่สองคือ ความง่ายต่อการเคี้ยว หรือบดให้เนื้อแหลก และระยะที่สามคือ จำนวนสิ่งที่เหลืออยู่ภายหลังจากการบดเคี้ยวอย่างละเอียด (Wheeler *et al.* 1998)

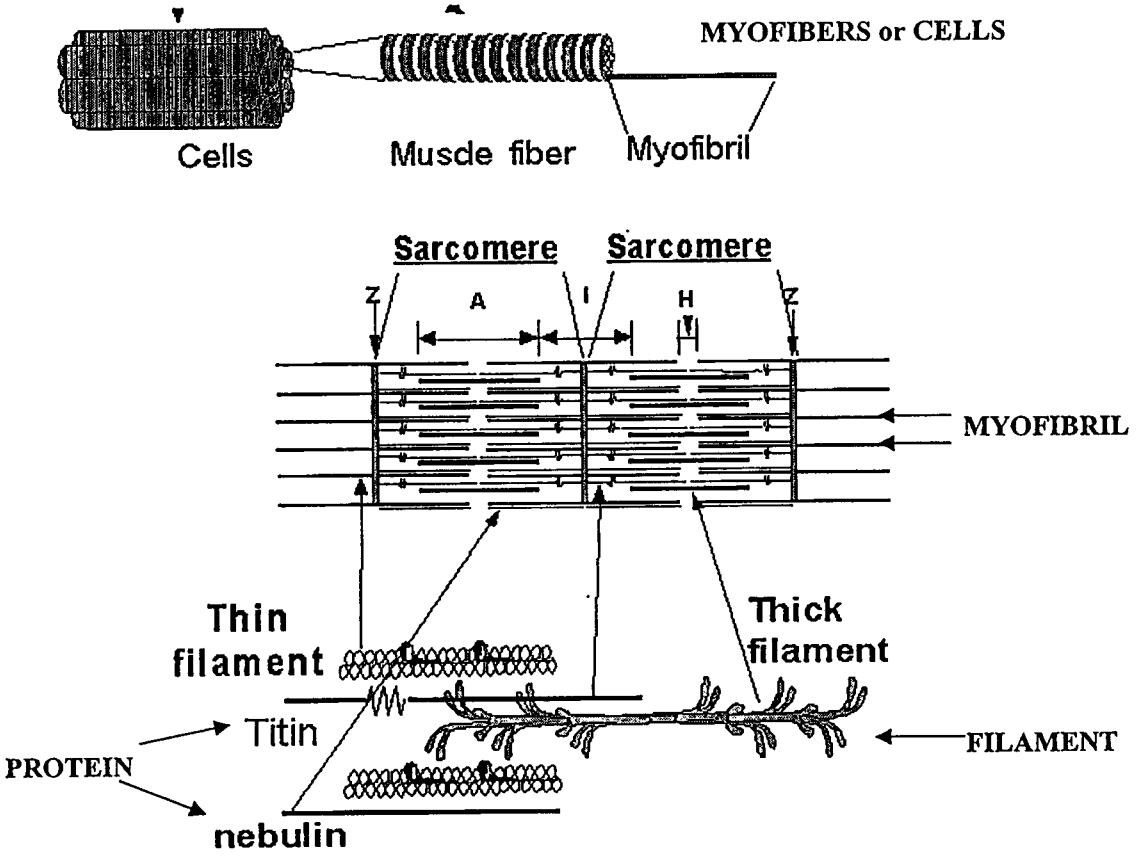
## 2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อความนุ่มของเนื้อ

### 2.6.1 การหดตัวของกล้ามเนื้อภายหลังสัตว์ตาย (Post-mortem shortening)

2.6.1.1 โครงสร้างของเส้นใยกล้ามเนื้อ (muscle fiber structure)

กล้ามเนื้อโครงสร้างเป็นเนื้อเยื่อที่ถูกนำมาบริโภคเป็นเนื้อสัตว์มากที่สุด จัดเรียงตัวเป็นก้อนแยกออกจากกันโดยแผ่นของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่ห่อหุ้มอยู่ เส้นใยกล้ามเนื้อ (muscle fiber) จะจัดเรียงตัวอยู่ภายในมัดกล้ามเนื้อ และภายใน muscle fiber 1 เส้น จะมีมัดของเส้นใยเล็กๆ อีกเป็นจำนวนมากมายเรียกว่า เส้นใยกล้ามเนื้อฝอย (myofibril) (จุฑารัตน์ เศรษฐกุล. 2539) โดย myofibril ที่เรียงตัวกันอัดแน่นอยู่ภายในถูกล้อมรอบด้วยของเหลวต่างๆ ซาร์โครพลาสซึม (sarcoplasm) ซึ่งมีไลโซโซม (lysosome) ไกลโคเจน (glycogen) ไมโอโกลบิน (myoglobin) และเอ็นไซม์ต่างๆ อยู่ภายใน myofibril และแต่ละเส้นจะพบว่ามีแถบทึบแสงและแถบโปร่งแสงเรียงตัวสลับกันไปตลอดความยาวของเส้นใย แถบทึบแสงและโปร่งแสงนี้เกิดจากการเรียงตัวกันของโปรตีนแอคติน (actin) และโปรตีนไมโอซิน (myosin) (สัญชัย จตุรสิทธา. 2543)

โดย myofibril จะประกอบขึ้นด้วยหน่วยโครงสร้างย่อยที่เรียกว่าซาร์โคเมียร์ ซึ่งมีประมาณ 20,000 หน่วย และแต่ละซาร์โคเมียร์ประกอบขึ้นด้วยมัดของเส้นใยที่เล็กมากๆ (myofilament) 2 ชนิด คือเส้นใยย่อยชนิดหนา (thick filament) และเส้นใยย่อยชนิดบาง (thin filament) ดังแสดงในภาพที่ 2.1 และนอกจากนี้ยังพบว่าองค์ประกอบของเส้นใยกล้ามเนื้อประกอบด้วยน้ำ โปรตีน และไขมัน โดยเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อประกอบด้วย น้ำ 75% โปรตีน 22% และไขมันและคาร์โบไฮเดรต โปรตีนในกล้ามเนื้อสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ myofibillar sarcoplasmic และ stroma โปรตีน myofibillar มีมากที่สุดประมาณ 60% ของโปรตีนทั้งหมด มีโปรตีน sarcoplasmic มีประมาณ 30% โดยมี myoglobin ซึ่งเป็น pigment ในกล้ามเนื้อ ส่วนโปรตีน stroma มีประมาณ 10% และมีองค์ประกอบเป็น collagen และ elastin ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (จุฑารัตน์ เศรษฐกุล. 2539)




**ภาพที่ 2.1** แสดงโครงสร้างของกล้ามเนื้อ

ที่มา: De Smet (2004)

ชัยณรงค์ คันธพนิต (2529) กล่าวว่าซาร์โคเมียร์คือหน่วยที่เล็กที่สุดของ myofibril ซึ่ง myofibril มีหน้าที่โดยตรงในการหดตัวและคลายของกล้ามเนื้อ ซาร์โคเมียร์มีลักษณะเป็นลาย เกิดมาจากการเรียงตัวของเส้นใยอย่างเป็นระเบียบของบริเวณทึบแสงและบริเวณโปร่งแสงสลับกัน ซึ่งการเรียงตัวของ myofilament ประกอบขึ้นด้วย เส้นใยย่อย 2 ชนิดคือ thick filament มีชื่อเรียกว่า และ thin filament มีชื่อเรียกว่า actin โดย myofilament ทั้ง 2 ชนิดนี้จะเรียงอยู่ด้วยกันและซ้อนเกยกันเอง เมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะเห็นลักษณะลายตามขวาง พบแถบโปร่งแสงเป็นการเรียงตัวของ actin เรียกว่า I-band (Isotropic band) และแถบทึบแสงเป็นการเรียงตัวของ actin และ myosin ซ้อนเกยกันอยู่ เรียกว่า A-band (Anisotropic band) ภายในแถบโปร่งแสง หรือ I band จะพบเส้นแบ่งกึ่งกลางระหว่าง I-band ทั้ง 2 ข้าง เรียกว่า Z-line ซึ่งจากระยะห่างระหว่าง Z-line หนึ่งไปยังอีก Z-line หนึ่งเรียกว่า ซาร์โคเมียร์ส่วนแถบทึบแสงหรือ A-band จะพบแถบที่มืดน้อยกว่าอยู่ตรงกลาง เรียกว่า H-band จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ด้วยเส้นทึบผ่ากลางเรียกว่า M-line สำหรับสภาวะปกติของ ซาร์โคเมียร์จะมีความยาวประมาณ 2.3-2.8 ไมครอน

โดยในการหดตัวของกล้ามเนื้อจะเกิดในระดับซาร์โคเมียร์ ซึ่ง Dransfield *et al.* (1992) ได้รายงานเกี่ยวกับการยืดหดตัวของกล้ามเนื้อว่า เป็นผลมาจากการทำงานร่วมกันระหว่าง thick และ thin filament โดยมี myosin เป็นตัวทำให้ filament ทั้ง 2 ชนิดนี้จับตัวกันในระหว่างที่กล้ามเนื้อเกิดการหดตัว และนอกจากนี้ในส่วนของโปรตีน tropomyosin และ troponin ยังช่วยในการยืดหดตัวของกล้ามเนื้อแบบทางอ้อม ซึ่งกระบวนการหดตัวเกิดในขณะกล้ามเนื้อคลายตัวนั้นภายใน sarcoplasmic fluid จะมีประจุ $Ca^{2+}$ ต่ำ เพราะส่วนใหญ่ถูกกักเก็บไว้ที่ sarcoplasmic reticulum โดยไม่ยอมปล่อยให้มีประจุ $Ca^{2+}$ อิสระจำเป็นต้องมี adenosine triphosphase (ATP) ในรูปของ Mg-ATP complex ระดับสูง ซึ่งจะมีผลในการช่วยป้องกันไม่ให้ actin และ myosin ทำปฏิกิริยากันได้เป็น actomyosin (cross-bridge) เมื่อพลังงานถ่ายทอดจาก sacrolemma สู่เส้นใยโดยผ่านทาง T-tubules ทำให้ $Ca^{2+}$ ทำให้ sarcaplasmic reticulum (SR) ถูกปล่อยเข้าไปยัง sacroplasmic fluid ทำให้ $Ca^{2+}$ ใน sacroplasm ซึ่งถูกจับโดย troponin โดยปกติแล้ว troponin และ tropomyosin จะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการ crossbridge แต่เมื่อถูกปล่อยออกมาทำให้ myosin สร้าง crossbridge โดยดึง actin เข้าสู่ใจกลางซาร์โคเมียร์ ทำให้เกิดกระบวนการ actromyosin โดยดึงเอา Z-line เข้าใกล้ myosin filament ทำให้ซาร์โคเมียร์หดตัว และการเปลี่ยนแปลงนี้ พบว่า A-band กว้างเท่าเดิม แต่ I-band และ H-zone จะแคบลงมาก และจะแคบมากจน actin filament เกยทับกันเมื่อเกิดการหดตัวอย่างรุนแรง (จุฑารัตน์ เศรษฐกุล. 2539)

2.6.1.2 การเปลี่ยนแปลงของกล้ามเนื้อภายหลังสัตว์ตาย

ชัยณรงค์ คันธพนิต (2529) กล่าวว่าภายหลังสัตว์ตายแล้วจะเกิดขบวนการทางชีวเคมีภายในเซลล์กล้ามเนื้อ มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในกล้ามเนื้อ แม้ว่าเซลล์กล้ามเนื้อจะไม่มีออกซิเจนมาหล่อเลี้ยงกล้ามเนื้อหลังจากสัตว์ถูกฆ่าแล้ว กล้ามเนื้อของสัตว์มิได้หยุดทำงานในการดำรงชีวิตและกลายเป็นเนื้อสัตว์ในทันที แต่ในทางตรงกันข้ามการเปลี่ยนแปลงทั้งทางเคมีและกายภาพหลาย ๆ อย่างได้เกิดขึ้นและดำเนินอยู่ในช่วงเวลาหนึ่ง ซึ่งกล้ามเนื้อของสัตว์จะยังคงมีการหดและคลายตัวตราบเท่าที่ยังคงมีพลังงานสะสมอยู่ในระดับหนึ่งที่จะทำให้กล้ามเนื้อทำงานต่อไปได้ พลังงานเหล่านี้คือ พลังงานเคมีในรูปของ adenosine triphosphate (ATP)

ในช่วงระยะเวลา 24 ชั่วโมงแรก หลังจากสัตว์ถูกฆ่า จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีมากมายและเปลี่ยนจากกล้ามเนื้อกลายเป็นเนื้อ ซึ่งเป็นระยะที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของเนื้อสัตว์ (Savell *et al.* 2005) เมื่อสัตว์ตายแล้ว กระบวนการสร้าง ATP ในสภาพปกติจะหยุดชะงัก ดังนั้นปริมาณ ATP ที่สะสมไว้จึงถูกใช้หมดไปอย่างรวดเร็ว และเมื่อ ATP ลดลงจนมีพลังงานน้อยกว่า 20% ของพลังงานเริ่มต้น จะเกิด cross bridge ของ thick และ thin filament ซึ่งจะส่งผลให้กล้ามเนื้อหดตัวจับกันแน่นขึ้น กรดแลคติกที่เกิดขึ้นจะไปเร่งขบวนการ glycolysis ให้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการเกิดขบวนการนี้จะมีการสะสมกรดขึ้นภายในกล้ามเนื้อ ทำให้ค่า pH ของ

กล้ามเนื้อลดลง เมื่อ pH ลดลงต่ำกว่า 6.0 - 6.5 ปฏิกิริยา glycolysis จะเกิดขึ้นได้ช้าลงมาก เพราะในกล้ามเนื้อที่มีความเป็นกรดสูงนั้น จะมีผลให้การทำงานของเอนไซม์ในกระบวนการ glycolysis ถูกยับยั้ง การสังเคราะห์ ATP หยุดลง กล้ามเนื้อจะไม่สามารถหดและคลายตัวได้อีกต่อไปเนื่องจากไม่มีพลังงานมาใช้ได้อย่างพอเพียง (Hedrick *et al.* 1993) ซึ่ง Dransfield (1994a) พบว่าหลังจากสัตว์ตาย ATP ถูกใช้ไปเกือบหมดจะเกิดสภาวะการเกร็งตัวของกล้ามเนื้ออย่างถาวร (rigor mortis)

ระยะแรกของการเกิด rigor คือ delay phase กล้ามเนื้อยังคงมีการยืดหดตัวอยู่ เพราะยังคงมี ATP จับกับ $Mg^{2+}$ (Mg-ATP) อยู่ ช่วยป้องกันไม่ให้ actin และ myosin เกิดการ cross-bridges กันได้ และกล้ามเนื้อยังคืนสู่ภาวะของการพักตัว (relax) ได้ โดยต่อมา creatine phosphate จะเริ่มหมดลงในระยะต่อไป ซึ่งจะไปยับยั้งกระบวนการเกิด phosphorylation ของ ADP เปลี่ยนให้ไปเป็น ATP และเป็นสาเหตุที่ทำให้ ATP ในกล้ามเนื้อลดลง ซึ่งเป็นสัญญาณของการเริ่มต้นระยะ onset การยืดหดตัวของกล้ามเนื้อลดลง กล้ามเนื้อจะไม่เข้าสู่ภาวะพักตัว จนการยืดหดตัวของกล้ามเนื้อไม่มี (Aberle *et al.* 2001)

โดย rigor mortis หมายถึง ปรากฏการณ์ที่กล้ามเนื้อเกิดการหดตัวอย่างถาวรภายหลังจากสัตว์ตายแล้ว หรือที่เรียกตามภาษาชาวบ้านว่า เนื้อตาย เนื้อจะมีสภาพเกร็งตัว ซึ่งกระบวนการเกร็งตัวของกล้ามเนื้อจะเริ่มเมื่อ ในกล้ามเนื้อปราศจากพลังงานสะสม ทั้งที่อยู่ในรูปของ glycogen, ADP และ ATP creatine และ phosphocreatine ถูกใช้ไปจนหมด เส้นใยกล้ามเนื้อเกิดการเลื่อนเข้าหากันอย่างถาวรระหว่างเส้นใยกล้ามเนื้อ 2 ชนิด คือ actin และ myosin กลายเป็น actomysin ดังนั้นสุดท้ายเมื่อในกล้ามเนื้อ ATP หมดภายหลังการฆ่า จึงเริ่มเกิด rigor mortis และค่า pH อยู่ที่ 5.7-5.8 เมื่อเริ่มการเกิด rigor (Hannula and Puolanne. 2004) ในกล้ามเนื้อของสัตว์ที่ยังมีชีวิตค่า pH จะอยู่ที่ประมาณ 7.4 และหลังจากสัตว์ตายที่ 24 ชั่วโมง ค่า pH ลดลงถึงประมาณ 5.6 ซึ่งเป็นค่า pH ที่ไม่สามารถลดลงไปได้อีกแล้ว เรียกว่า ค่า pH สุดท้ายหรือ Ultimate pH และ เนื้อที่อยู่ในสภาวะ rigor mortis นี้จะมีความเหนียวมากกว่าปกติ และความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อลดลงมากที่สุดโดย กล่าวว่า การหดตัวของกล้ามเนื้อจะถึงจุดสูงสุดภายในเวลา 7 ถึง 24 ชั่วโมง (Lonergan. 2001)

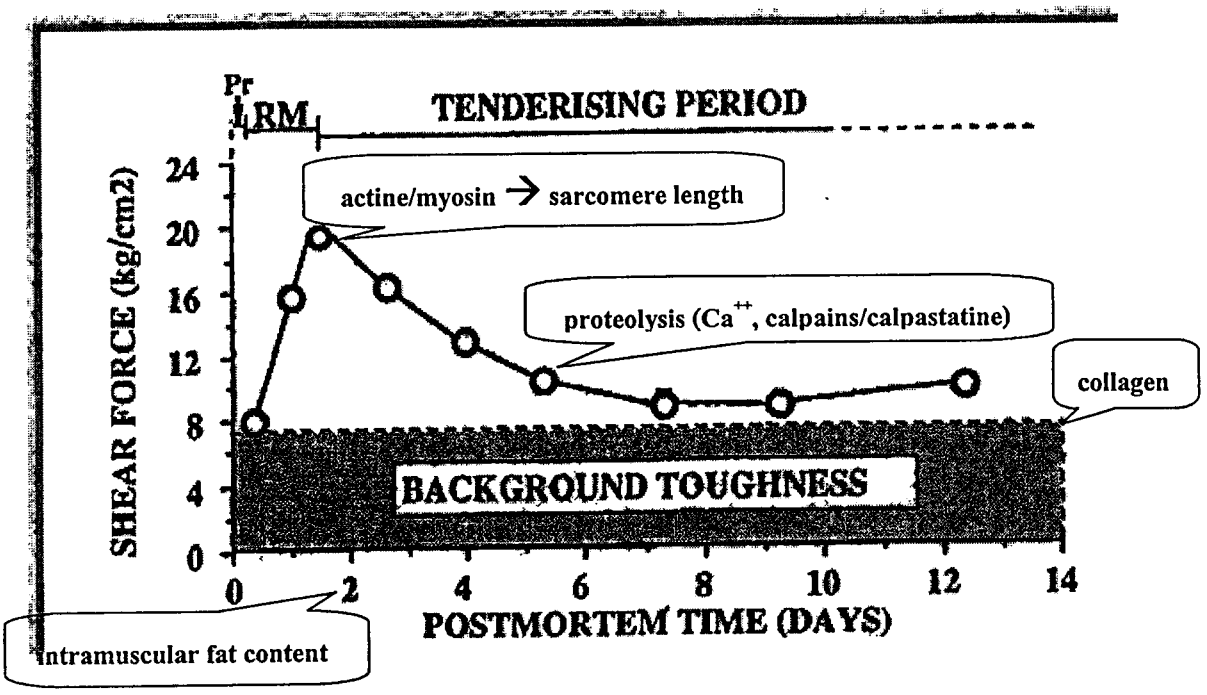
Koohmaraie. (1996) กล่าวว่า ความแปรปรวนของความนุ่ม (วัดจากค่าแรงตัดผ่านเนื้อ) ที่เกิดขึ้นภายใน 24 ชั่วโมงภายหลังสัตว์ตายสูงมาก ซึ่งมีค่าความเหนียวสูงสุดในช่วงระยะเวลา 9-24 ชั่วโมง หลังจากนั้นความเหนียวจะลดลง โดยภายหลังจาก 24 ชั่วโมง ความนุ่มที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากเอ็นไซม์ในกล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่ย่อยสลายโปรตีน ทั้งนี้อุณหภูมิในการเก็บรักษาเกี่ยวข้องกับการทำงานของเอ็นไซม์ในกล้ามเนื้ออีกด้วย (Smulders *et al.* 1992) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้เป็นสาเหตุของความเหนียวของเนื้อในช่วง 24 ชั่วโมงแรก ภายหลังสัตว์ตาย (Goll *et al.* 1995) สอดคล้องกับ Savell *et al.* (2005) พบว่าช่วงเวลาตั้งแต่ 0-24 ชั่วโมง ภายหลังสัตว์ตายการหดตัวของซาร์โคเมียร์เป็นสาเหตุหนึ่งของความนุ่มที่ลดลงในกล้ามเนื้อ เช่นกัน

105276

จากการศึกษา Wheeler and Koohmaraie (1994) ในช่วงระหว่างการเกิด rigor mortis และหลังของการเกิด rigor mortis ที่มีผลต่อความนุ่มของเนื้อแกะ ที่ระยะเวลาการบ่มที่ 0, 3, 6, 9, 12, 24, 72 และ 336 ชั่วโมง พบว่าความยาวของซาร์โคเมียร์มีค่าเท่ากับ 2.24, 2.00, 1.80, 1.72, 1.75, 1.69, 1.76 และ 1.90 ไมโครเมตร ตามลำดับ ($P<0.05$) ส่วนค่าแรงตัดผ่านเนื้อ เท่ากับ 5.07, 5.10, 6.53, 8.26, 8.24, 8.66, 4.36 และ 3.10 กก./ลบ.ซม. ตามลำดับ ($P<0.05$) ซึ่งพบว่าความยาวของซาร์โคเมียร์จะลดลงในช่วงที่ 0-24 ชั่วโมง ภายหลังสัตว์ตาย เป็นต้นเหตุของความเหนียวในเนื้อ และมีความสัมพันธ์กับค่าแรงตัดผ่านเนื้อที่เพิ่มขึ้น และภายหลัง 24 ชั่วโมง ความยาวของซาร์โคเมียร์มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสัมพันธ์กับค่าแรงตัดผ่านเนื้อที่ลดลงเช่นกัน นอกจากนี้มีรายงานของ Koohmaraie (1996) ที่พบว่าความนุ่มและความยาวของซาร์โคเมียร์จะไม่มีความสัมพันธ์กัน เมื่อค่า pH ในกล้ามเนื้อลดลงอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้ Smulder *et al.* (1990) พบว่าไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของซาร์โคเมียร์และความนุ่มของเนื้อ ซึ่งวัดจากค่าแรงตัดผ่านเนื้อ ถ้าปฏิกิริยาไกลโคไลซีสหรือการลดลงของค่า pH เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วภายหลังสัตว์ตาย ซึ่งใช้เกณฑ์ปฏิกิริยาไกลโคไลซีสที่เป็นปกติ จะมีค่า pH สูงกว่า 6.3 ที่ 3 ชั่วโมง

จุฑารัตน์ เศรษฐกุล และคณะ (2551) ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวซาร์โคเมียร์และความนุ่มของเนื้อสันนอก (Longissimus dorsi) ของโคขุนพันธุ์กำแพงแสน (โคพื้นเมือง 25% x บราห์มัน 25% x ชาโรเล่ส์ 50%) ที่ระยะเวลาการบ่มที่ 1, 5, 7, 14 และ 20 วัน จากการศึกษาไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงตัดผ่านเนื้อและความยาวของซาร์โคเมียร์ในแต่ละช่วงเวลาการบ่ม ซึ่งความยาวของซาร์โคเมียร์ที่ระยะเวลาการบ่ม 1, 5, 7, 14 และ 20 วัน ไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) แต่มีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อย โดยมีค่าเท่ากับ 1.28, 1.29, 1.31, 1.37 และ 1.35 µm ตามลำดับ ในขณะที่การบ่มเนื้อเป็นเวลา 1 , 5,7, 14 และ 20 วัน มีค่าแรงตัดผ่านเนื้อลดลงอย่างต่อเนื่องและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ทุกระยะเวลาการบ่ม โดยพบว่าค่าแรงตัดผ่านเนื้อมีค่าเท่ากับ 7.39, 5.99, 4.99, 4.45 และ 3.82 ตามลำดับ แต่พบว่าความยาวของซาร์โคเมียร์ที่ 1, 6 และ 12 ชั่วโมงลดลงอย่างต่อเนื่อง ($P<0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 1.95, 1.93 และ 1.44 µm

นอกจากการหดตัวของเส้นใยกล้ามเนื้อซึ่งเกิดขึ้นจากเส้นใยโปรตีน actin และเส้นใยโปรตีน myosin เคลื่อนที่เข้าหากัน ทำให้ความยาวของซาร์โคเมียร์หดสั้นลงอย่างมากและทำให้เนื้อเหนียวมากขณะเกิดการหดตัวของกล้ามเนื้ออย่างถาวร (rigor mortis) ภายหลังจากนั้นจะมีเอ็นไซม์มาเกี่ยวข้องทำให้เนื้อเกิดความนุ่ม และนอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับความนุ่มของเนื้อ ได้แก่ ปริมาณไขมันแทรกในเนื้อ และปริมาณการเกิด cross-link ของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ดังแสดงในภาพที่ 2.2 (De Smet. 2004)




ภาพที่ 2.2 แสดงช่วงเวลาของการเกิด rigor mortis และยะเวลาการบ่มที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความนุ่มของเนื้อ

ที่มา: De Smet (2004)

จากการศึกษาการเพิ่มระดับการสะสมไขมันหุ้มซากในเนื้อโค Heinemann *et al.* (2003) พบว่าเนื้อของโคที่มีไขมันหุ้มซากในปริมาณที่สูงกว่าจะมีความยาวของซาร์โคเมียร์มากกว่าซากโคที่มีไขมันหุ้มซากปริมาณน้อยกว่า ซึ่งจะส่งผลให้เนื้อมีความนุ่มมากกว่าการที่ไม่ตัดแต่งเอาไขมันหุ้มซากออก ทั้งนี้นอกจากไขมันทำหน้าที่เสมือนฉนวนป้องกันความร้อนที่จะระบายออกจากซากเป็นไปได้ช้าแล้ว ยังเป็นการป้องกันความเย็นจากอุณหภูมิในห้องเย็นไม่ให้แทรกผ่านเข้ามาในเนื้อได้เร็ว ซึ่งเป็นการยืดระยะเวลาของการลดอุณหภูมิในซากลง ช่วยป้องกันการเกิด cold shortening ได้อีกทางหนึ่ง

การใช้เทคนิคสำหรับการลดการหดตัวของกล้ามเนื้อ ได้มีการพัฒนาโดยการใช้แรงบังคับกล้ามเนื้อโดยตรงในการหดตัวและขยายตัวของความยาวของกล้ามเนื้อ ซึ่งการห่อก็เป็นวิธีการบังคับกล้ามเนื้อที่ลดการหดตัวของกล้ามเนื้อในการเกิด rigor mortis ต่อซากได้ จากการศึกษาของ Devine *et al.* (1999) ในกล้ามเนื้อ Longissimus dorsi ของโคพันธุ์ สวีดิช โลว์แลนด์ (Swedish Lowland) โดยการห่อด้วย Polyethylene film พบว่าการบังคับกล้ามเนื้อโดยเทคนิคการห่อรัดซากมีผลทำให้ ซาร์โคเมียร์มีความยาวมากกว่าการไม่บังคับกล้ามเนื้อ ($P<0.05$) (1.88 และ 1.59 μm ตามลำดับ) การห่อรัดทำให้กล้ามเนื้อมีการหดตัวน้อยกว่าการไม่ถูกห่อรัด 15 เปอร์เซ็นต์ โดยพบว่าที่อุณหภูมิสูงในช่วงระยะ onset ของ rigor (20-35 °C) การห่อรัดทำให้การหดตัวของ

กล้ามเนื้อลดลงและความยาวของซาร์โคเมียร์เพิ่มขึ้น ความนุ่มเพิ่มขึ้น แต่พบว่าที่อุณหภูมิ 15 °C เทคนิคการห่อรัดไม่มีผลต่อการหดตัวของกล้ามเนื้อ ในขณะที่เปอรเซ็นต์การหดตัวของกล้ามเนื้อมากที่สุด (25 เปอร์เซ็นต์) เกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 30-35 °C

**2.6.2 การย่อยสลายโปรตีนภายหลังสัตว์ตาย (Post-mortem proteolysis)**

การย่อยสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อสัตว์ภายหลังสัตว์ตาย เป็นการเปลี่ยนแปลงสัดส่วน ปริมาณ และขนาดของโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของเนื้อต่างๆ มีผลทำให้คุณภาพเนื้อด้านคุณค่าการบริโภคมีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย (จุฑารัตน์ เศรษฐกุล. 2539) โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนที่เป็นพวกกลุ่มเส้นใยโปรตีน (myofibrillar protein) จะเป็นตัวที่มีบทบาทหลักต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเนื้อด้านคุณค่าการบริโภค (Koohmaraie *et al.* 1991)

โดย Koohmaraie *et al.* (1992) ได้สรุปการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นผลของการย่อยสลาย myofibrillar protein ในกล้ามเนื้อภายหลังสัตว์ตายไว้ดังนี้

1. เกิดการทำลายเส้นใย myofibril ที่บริเวณ Z-disk ทำให้เส้นใยกล้ามเนื้อฉีกขาด

2. เกิดการย่อยสลายโปรตีน desmin ซึ่งนำไปสู่การแตกตัวของของเส้นใย myofibril และเกิดการทำลายโครงสร้าง transverse cross-linkage ระหว่างเส้นใยกล้ามเนื้อฉีกขาด

3. troponin T ซึ่งทำหน้าที่ยึด actin-myosin complex หายไปในขณะที่ polypeptides ชนิดหนึ่งที่มีน้ำหนักโมเลกุล 28-32 kDa. เกิดขึ้น

4. โปรตีน titin filament และ nebulin ซึ่งเชื่อมโยงต่อกับ myosin filament ทั้งนี้ titin ยังทำหน้าที่เกี่ยวกับการยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อ เมื่อ titin ถูกทำลายมีผลทำให้แรงตึงของเส้นใยกล้ามเนื้อหมดลง เป็นผลทำให้เนื้อเกิดความนุ่มขึ้น

5. การย่อยสลายโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของเส้นใยกล้ามเนื้อเหล่านี้ ทำให้เกิด polypeptides ใหม่ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 95 และ 28 kDa. ขึ้นซึ่งตรวจสอบได้โดยใช้ polyacylamide gel electrophoresis ซึ่งคาดว่าเป็นผลผลิตที่ได้จากการสลายตัวของโปรตีนที่มีขนาดใหญ่ และมีรายงานว่า การปรากฏของ polypeptides ทั้ง 2 ชนิดนี้มีความสัมพันธ์กับความนุ่มที่เพิ่มขึ้น

6. ส่วน actin และ myosin ซึ่งเป็นโปรตีนสำคัญที่ทำหน้าที่ในการหดตัวของกล้ามเนื้อไม่ได้ถูกย่อยดังโปรตีนที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น แม้ว่าจะนำไปบ่มเป็นระยะเวลาถึง 56 วัน ก็ตาม

กระบวนการย่อยโปรตีนในกล้ามเนื้อภายหลังสัตว์ตาย (proteolysis) มีผลต่อความนุ่มของเนื้อ โดยพบว่าการทำงานของเอ็นไซมภายในกล้ามเนื้อ จะทำให้เกิดการฉีกขาดของเส้นใยกล้ามเนื้อ โดยเอ็นไซม์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายโปรตีนที่อยู่ในเนื้อสัตว์ จะทำหน้าที่ภายหลังจากเกิดสภาวะ rigor mortis ซึ่งมีผลทำให้เนื้อสัตว์นุ่มขึ้นได้ภายใต้ช่วงระยะบ่มเนื้อที่เหมาะสม และในการย่อยสลาย myofibrillar protein ในกล้ามเนื้อสัตว์ โดยเฉพาะตรงตำแหน่งของ Z-line เชื่อว่าเป็นผลมาจากการทำงานของกลุ่มเอ็นไซม์ที่ทำหน้าที่ในการย่อยโปรตีน ประกอบไปด้วย เอ็นไซม์ 3 กลุ่ม

ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ซึ่งทำงานในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน ได้แก่ lysosomal proteinases, multicatalytic proteinases complex และ calcium-dependent proteinases (Ouali. 1992)

1. Lysosomal proteinases หรือ Cathepsins โดยเอ็นไซม์ชนิดนี้จะอยู่ภายใน lysosome เป็นเอ็นไซม์ที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากเซลล์ของกล้ามเนื้อเมื่อความเป็นกรดในเนื้อเพิ่มขึ้น ระดับ pH ที่เหมาะสมจะเป็นกรด มีค่า pHในเนื้อต่ำกว่า 5 (pH < 5) เอ็นไซม์ในกลุ่มนี้ประกอบไปด้วย cathepsins B L H และ D (จุฑารัตน์ เศรษฐกุล. 2539) จากการศึกษาของ Koohmaraie (1994) รายงานว่าเอ็นไซม์ชนิดนี้มีความสำคัญน้อยมากต่อการย่อยสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อ เป็นเพราะหากต้องการให้เอ็นไซม์นี้สามารถทำงานได้จะต้องทำให้ออกจาก lysosome มาสู่ cytosol ซึ่งจากการทดลองพบว่า แม้จะทำการกระตุ้นซากด้วยกระแสไฟฟ้าแล้วนำซากนั้นไปเก็บไว้ที่ อุณหภูมิ 4 องซาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน เอ็นไซม์ cathepsins ก็ยังคงอยู่ภายใน lysosome ดังเดิม

2. Multicatalytic proteinases complex หรือ Proteisome หรือ Macropain เป็นเอ็นไซม์ที่ต้องการ ATP มาเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการทำปฏิกิริยาทำงานได้ดีในเนื้อที่มีค่าความเป็นด่างสูง หรือค่า pH 7.0-9.0 ทำหน้าที่ในการย่อยโปรตีนที่อยู่ในกลุ่ม myofibrillar proteins จะเข้าย่อยสลายเฉพาะ troponin-C และ myosin chain-1, -2 เท่านั้น จึงไม่มีบทบาทสำคัญต่อการปรับปรุงความนุ่มของเนื้อสัตว์ภายหลังสัตว์ตายมากนัก (Goll *et al.* 1991)

3. Calcium-dependent proteinases หรือ Calpain เป็นเอ็นไซม์ตัวแรกที่ทำการย่อยสลายพวก myofibril protein ภายหลังสัตว์ตาย calpain เป็น non-lysosomal proteasec และ calcium-activated proteinase เนื่องจากเป็นเอ็นไซม์ที่ถูกกระตุ้นด้วย $Ca^{2+}$ ซึ่งมีอยู่ใน sarcoplasm ซึ่งไม่กลับเข้าสู่ sarcoplasmic reticulum ของเซลล์ในขณะที่กล้ามเนื้อเข้าสู่สภาวะเกร็งตัวอย่างถาวร เอ็นไซม์นี้จะเข้าทำการย่อยสลายโปรตีนในเนื้อสัตว์ (Huff-Lonergan *et al.* 1996) ซึ่งการฉีดสารละลายแคลเซี่ยมคลอไรด์ ($CaCl_2$) เข้ากล้ามเนื้อจะเป็นการกระตุ้นการทำงานของเอ็นไซม์ calpains ให้ดีขึ้น ส่งผลให้เนื้อนั้นมีความนุ่มเพิ่มขึ้น (Koohmaraie. 1994) โดยเอ็นไซม์ calpains จะมี 2 isofroms ต่างกันตามความต้องการ $Ca^{2+}$ คือ

3.1 Calpain I หรือ μ-calpain เป็นเอ็นไซม์ที่ต้องการความเข้มข้นของ $Ca^{2+}$ มาเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการทำงานในระดับความเข้มข้นของ $Ca^{2+}$ เท่ากับ $10^{-6}$ โมลาร์ (molar) หรือ 10 ไมโครโมล (μM ) ($Ca^{2+} < \mu M$)

3.2 Calpain II หรือ m-calpain เป็นเอ็นไซม์ที่ต้องการความเข้มข้นของ $Ca^{2+}$ มาเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการทำงานในระดับความเข้มข้นของ $Ca^{2+}$ ที่ 200-300 μM ($Ca^{2+} > mM$)

และเอ็มไซม์นี้ทำงานได้ดีในสภาวะความเป็นกรด-ด่างที่ 6.0-7.0 โดยมีเอ็นไซม์ calpastatin เป็น endogenous inhibitor ซึ่งจะเป็นเอ็นไซม์ที่ยับยั้งการทำงานของ เอ็นไซม์ calpains (Morgan *et al.*1993) โดยเอ็นไซม์ในกลุ่มนี้มีบทบาทสำคัญมากในการย่อยสลายโปรตีนของกล้ามเนื้อภายหลังสัตว์ตาย เนื่องจากจะเข้าสลายโปรตีนบริเวณ Z-line (μ-calpain เข้าย่อยสลาย

โปรตีน ณ บริเวณ Z-line =66% บริเวณ I-band = 20% และบริเวณ A-band = 14%) (Koohmaraie. 1994)

ตารางที่ 2.1 แสดงกลุ่มและการทำงานของเอ็นไซม์ภายในตัวสัตว์ที่ย่อยสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อ

| เอ็นไซม์ย่อยโปรตีนในกล้ามเนื้อ | เอ็นไซม์ในกลุ่ม | ตำแหน่งที่พบ | pH ที่เหมาะสมต่อการทำงาน | การทำงานของเอ็นไซม์ |
|---|---|---|---|---|
| Calpains | μ-calpain | Cytosol | 6.0-7.0 | ย่อยสลายโปรตีน α–actinin และ Z-line |
| | m-calpain | | 6.0-7.0 | ย่อยสลายโปรตีน desmin, connectin, nebulin, tronin T และ I tropomyosin, Cและ M –proteins |
| Cathepsins | Cathepsin B | Lysosome | 3.5-6.5 | ย่อยสลายโปรตีน myosin, actin, troponin T และ collagen |
| | Cathepsin L | | 3.0-6.5 | ย่อยสลายโปรตีน myosin, actin, troponin T และ I, tropomyosin, α–actinin และcollagen |
| | Cathepsin D | | 3.0-6.0 | ย่อยสลายโปรตีน myosin, actin, troponin T และ I, tropomyosin, α–actinin และcollagen |

ที่มา: Tzong Jiang (1998)

Steen *et al.* (1997) ได้ศึกษาการทำงานของ calpain/calpastatin ที่เกี่ยวข้องกับความนุ่มในเนื้อโคที่มีลักษณะ double-muscle ภายหลังสัตว์ตาย โดยพบว่าที่ 24 ชั่วโมงภายหลังสัตว์ตาย ค่าแรงตัดผ่านเนื้อที่สูงขึ้นนั้นสัมพันธ์กับปริมาณของ calpastatin และในปริมาณของ calpain กลับพบว่ามีปริมาณที่น้อยกว่า ซึ่งไม่พบการทำงานของ μ-calpain ภายหลังสัตว์ตายที่ 24 ชั่วโมง เช่นเดียวกับการทดลองของ Boehm *et al.* (1998) ที่กล่าวว่าในช่วงระยะเวลาการบ่มเนื้อในวันที่ 3-14 ภายหลังสัตว์ตาย พบว่ามีปริมาณของ μ-calpain ลดลง และปริมาณของ calpastatin นั้นจะมีมากหรือน้อยขึ้นกับชนิด สายพันธุ์ และตำแหน่งกล้ามเนื้อของสัตว์ โดยเนื้อที่มี calpastatin สูงเนื้อจะมีความเหนียวที่เพิ่มมากขึ้นด้วย (Dransfield, 1994b; Hedrick *et al.* 1993)

ในการทดลองของ Morgan *et al.* (1993) ได้ศึกษาถึงผลของการตอนโคลูกผสม MARC III (เรด พอร์ (Red Poll) 25% x Pinzgauer 25% x เฮียร์ฟอร์ด 25% x แองกัส 25%) ที่มีต่อระดับการทำงานของ calpain proteinase system (μ-calpain, m-calpain และ calpastatin) พบว่าการตอนโค

MARC III เพศผู้ไม่มีผลต่อการทำงานของเอ็นไซม์ μ-calpain และ m-calpain แต่พบว่ามีปริมาณ calpastatin ในโคเพศผู้ไม่ตอนมีปริมาณสูงกว่าโคเพศผู้ตอน ($p<0.05$) ซึ่งการที่มีปริมาณ calpastatin สูงทำให้การฉีกขาดของเส้นใยกล้ามเนื้อ (myofibril fragmentation) ในโคเพศผู้ไม่ตอนมีค่าน้อยกว่าโคเพศผู้ตอน นอกจากนี้ยังพบว่าค่าแรงตัดผ่านเนื้อ ในโคเพศผู้ไม่ตอนสูงกว่าโคเพศผู้ตอนในทุกระยะการบ่มที่ 1, 7 และ 14 วัน แสดงว่าที่ปริมาณของ calpastatin ที่เพิ่มขึ้นมีผลยับยั้งต่อการทำงานของ calpain proteinase system ที่ช่วยในกระบวนการย่อยสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

**ตารางที่ 2.2** แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณ calpain และ calpastatin ของกล้ามเนื้อ Longissimus ในโคเพศผู้ไม่ตอนและโคเพศผู้ตอน

| ลักษณะที่สังเกต | โคเพศผู้ไม่ตอน | โคเพศผู้ตอน | SEM |
|---|---|---|---|
| μ-Calpain | 0.29 | 0.21 | 0.02 |
| m-Calpain | 0.80 | 0.90 | 0.70 |
| Calpastatin | 2.41[a] | 1.33[b] | 0.28 |

[a,b] ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างทางสถิติ ($p<0.05$)

ที่มา: Morgan *et al.* (1993)

Jirajaroenrat *et al.* (2007) ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของชนิดโปรตีนด้วยวิธี SDS-PAGE โดยใช้กล้ามเนื้อสันนอกของโคขุนพันธุ์กำแพงแสน (โคพื้นเมือง 25% x บราห์มัน25% x ชาร์โรเล่ส์ 50%) เพศผู้ตอน ที่มีระยะเวลาบ่ม 1, 5, 7, 14 และ 21 วัน พบว่าเมื่อระยะเวลาของการบ่มเนื้อมากขึ้นค่าแรงตัดผ่านเนื้อจะมีค่าลดลง โดยมีค่าเท่ากับ 7.39, 5.99, 4.99, 4.45 และ 3.92 กก./ลบ.ซม. ตามลำดับ ซึ่งการลดลงของค่าแรงตัดผ่านเนื้อที่ทุกระยะการบ่ม มีความสัมพันธ์กับการลดลงของ 113 kDa protein, troponin-T และ troponin-I และการเพิ่มขึ้นของ 30 kDa protein ที่ทุกระยะของการบ่ม ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการย่อยสลายของโปรตีน (proteolysis) โดยเอ็นไซม์มีอยู่ในเนื้อ ซึ่งสอดคล้องกับ Ho *et al.* (1994) ได้ศึกษาที่มาของ polypeptide ขนาด 30 kDa ในเนื้อที่บ่มเป็เวลา 1, 3, 7, 14 และ 28 วันภายหลังสัตวตาย ซึ่งพบว่า polypeptide ขนาด 30 kDa นี้เป็นผลผลิตที่ได้มาจากสลายตัวของโปรตีน troponin – T และจะเริ่มพบ polypeptide สายสั้นนี้ปรากฏตั้งแต่วันที่ 3 ภายหลังสัตว์ตาย และมีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตลอดจนสิ้นสุดการทดลอง ส่วนค่าแรงตัดผ่านเนื้อมีค่าลดลงในทุกระยะของการบ่ม นอกจากนี้ ปิยะดา ทวิชศรี (2544) กล่าวว่า ความเร็วของปฏิกิริยาในการทำงานของเอ็นไซม์ จะขึ้นอยู่กับการลดลงและการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ อุณหภูมิที่สูงเกินไปจะทำให้เอ็นไซม์ถูกทำลาย แต่หากอุณหภูมิลดต่ำลงมากไปก็เป็นการยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์

ได้ ดังนั้นเอ็นไซม์แต่ละชนิด จะทำงานได้ดีในสภาวะที่อุณหภูมิเหมาะสม ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมของเอ็นไซม์แต่ละชนิดนั้น ไม่เพียงแต่จะสัมพันธ์กับระยะเวลาเท่านั้น แต่จะสัมพันธ์กับค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าความเข้มข้น และความบริสุทธิ์ของเอ็นไซม์ด้วย

**2.6.3 ระยะเวลาการบ่มเนื้อ (Ageing period)**

การบ่มซากเป็นวิธีที่ใช้ในการปรับปรุงความนุ่มของเนื้อ และการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญของการบ่มซากคือ เป็นวิธีการที่สามารถปรับปรุงเนื้อให้นุ่มเพิ่มขึ้นได้ เนื่องจากเนื้อที่อยู่ในสภาวะที่เกิดการเกร็งตัวอย่างถาวรจะความเหนียวมาก ดังนั้นจึงต้องนำเนื้อมาบ่มซาก เพื่อทำให้เอ็นไซม์ภายในกล้ามเนื้อออกมาทำการย่อยโปรตีนให้แตกออกเป็นโมเลกุลย่อย โดย actin และ myosin filament ที่เคลื่อนที่เข้าหาซ้อนกัน (actomyosin) ก่อนหน้านี้จะแยกออกจากกัน ณ บริเวณตำแหน่ง Z-line ทำให้การหดตัวของกล้ามเนื้อลดลง จึงทำให้เนื้อนุ่มขึ้น (ภัทราภรณ์ เชื้อนันท์ตา. 2540) การเปลี่ยนแปลงทางเคมีส่วนหนึ่งเนื่องจากเอ็นไซม์เข้าไปย่อยโปรตีนที่บริเวณ Z-line และ M-line ตลอดจนจากการย่อยสลายจนเกิดการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนบางชนิดที่อยู่ในกลุ่ม myofibrillar protein เช่น troponin-T nebulin filamin และ titin มีความสัมพันธ์กับความนุ่มที่เพิ่มขึ้น (Koohmaraie. 1992) ซึ่งสอดคล้องกับ Huff-Lonergan *et al.* (1996) กล่าวว่าการสูญเสียโครงสร้างของเส้นใยโปรตีน titin และ nebulin ทำให้เนื้อโคที่เก็บรักษาไว้ในห้องเย็นภายหลังการฆ่ามีความนุ่มเพิ่มขึ้น

การบ่มซากโคไว้ภายหลังการฆ่า จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของเอ็นไซม์ calpain และ calpastatin โดยจากการทดลองของ Boehm *et al.* (1998) พบว่าปริมาณ m-calpain จะค่อยๆ ลดลงประมาณ 63 เปอร์เซ็นต์ ในระหว่างการเก็บเนื้อ ขณะที่ปริมาณ μ-calpain จะลดลง 20 เปอร์เซ็นต์ ภายใน 24 ชั่วโมง และหลังจากนั้นอีก 7 วัน จะมีปริมาณเหลืออยู่ไม่เกิน 4 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณตั้งต้น ส่วนปริมาณ calpastatin ลดลงอย่างรวดเร็วประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ ภายใน 24 ชั่วโมง และหลังจากนั้นอีก 7 วันภายหลังสัตว์ตายจะลดลงอีก 30 เปอร์เซ็นต์

จากการศึกษาของ Monson *et al.* (2005) ที่ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของระยะเวลาการบ่มต่อความนุ่มของเนื้อโคพันธุ์โฮลสไตน์ ฟรีเซี่ยน (Holstein friesian) น้ำหนักมีชีวิต 505 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการบ่มเนื้อ 1, 3, 7, 14, 21 และ 35 วัน หลังการฆ่า พบว่ามีค่าคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสจากการชิมเนื้อของผู้บริโภคในเรื่องของความนุ่ม (10 = นุ่มที่สุด 1 = เหนียวที่สุด) เท่ากับ 4.20, 5.00, 5.51, 5.74, 6.54 และ 6.56 ตามลำดับ ($P<0.05$) ในขณะที่ Riley *et al.* (2005) รายงานว่าในกล้ามเนื้อ Longissimus dorsi ในโคพันธุ์บราห์มันมีค่าแรงตัดผ่านชิ้นเนื้อที่ผ่านการบ่มเนื้อที่ระยะเวลา 7, 14 และ 21 หลังการฆ่า พบว่ามีค่าเท่ากับ 5.51, 4.90 และ 4.47 กก./ลบ.ซม. ตามลำดับ ($P<0.05$) ซึ่งพบว่าการเพิ่มระยะเวลาในการบ่มเนื้อนานขึ้นจะมีผลทำให้เนื้อมีความนุ่มเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ วิชิต พรหมอินทร์ (2549) ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาการบ่มที่มีผลต่อความนุ่มของเนื้อโคขุนภายใต้ระบบการผลิตของสหกรณ์โคเนื้อกำแพงแสนของ กล้ามเนื้อสันนอกที่ระยะเวลาการบ่ม 1, 5, 7, 14 และ 20 วันหลังการฆ่า พบว่ามีค่าแรงตัดผ่านชิ้นเนื้อเท่ากับ 7.39, 5.99, 4.99, 4.46 และ 3.92 กก./ลบ.ซม. ตามลำดับ ($P<0.05$) และธนนันท์ ศุภกิจจานนท์ (2547) พบว่าอิทธิพลจากระยะเวลาการบ่มที่ 5 และ 20 วัน ภายหลังสัตว์ตาย ของกล้ามเนื้อสันนอก จากโคเนื้อลูกผสม อเมริกัน บราห์มัน ที่มีระดับเลือดไม่ต่ำกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ มีค่าแรงตัดผ่านเนื้อเท่ากับ 7.23 และ 4.85 กก./ลบ.ซม. ตามลำดับ และเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างปรุงสุก 35.41 และ 32.07 ตามลำดับ ($P<0.05$)

**2.6.4 อัตราเร่งของการเกิดปฏิกิริยาไกลโคไลซีสภายหลังสัตว์ตาย (Rate of post-mortem glycolysis)**

Johnson (2001) รายงานว่าภายหลังจากที่สัตว์ถูกฆ่า ระบบการหมุนเวียนต่างๆ ภายในร่างกายหยุดลง ปริมาณออกซิเจนภายในกล้ามเนื้อลดลงอย่างมาก แต่ร่างกายยังคงมีการสร้างพลังงานจากไกลโคเจนที่สะสมในตับ และกล้ามเนื้อต่อไป ด้วยกระบวนการเมตาบอลิซึมแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งผลผลิตจากกระบวนการนี้นอกจากได้พลังงานจำนวนน้อยแล้ว ยังเกิดกรด แลคติค และความร้อนอีกด้วย ดังนั้นจึงเกิดการสะสมของกรดแลคติคภายในกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นทีละน้อย ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ค่า pH ภายในกล้ามเนื้อค่อย ๆ ลดลง กรดแลคติคจะถูกสร้างขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งปริมาณไกลโคเจนที่สะสมภายในตับและกล้ามเนื้อหมดลง หรือจนกระทั่งค่า pH ไม่ลดลงอีกต่อไป ในกล้ามเนื้อของสัตว์ที่ยังมีชีวิตค่า pH จะอยู่ที่ประมาณ 7-7.4 ภายหลังสัตว์ตาย ค่า pH ในกล้ามเนื้อจะลดลง กลายเป็น 5.6–5.7 ภายในเวลา 6–8 ชั่วโมงหลังฆ่า จนกระทั่งที่เวลา24 ชั่วโมงหลังสัตว์ตาย ค่า pH ของกล้ามเนื้อจะอยู่ที่ประมาณ 5.3–5.6 ซึ่งเป็นค่า pH สุดท้ายที่ไม่สามารถลดลงไปได้อีกแล้ว เรียกว่า ultimate pH

O'Halloran *et al.* (1997) ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH ภายหลังสัตว์ตายกับความนุ่ม ของกล้ามเนื้อ Longissimus dorsi (LD) ของโคลูกผสมพันธุ์เฮียร์ฟอร์ด กับพันธุ์ฟรีเชี่ยน โดยแบ่งกลุ่มตามอัตราการลดลงของค่า pH ภายหลังสัตว์ตายที่ 3 ชั่วโมง ออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มแรก อัตราการเกิดปฏิกิริยาไกลโคไลซีสเป็นปกติ (intermediate glycolysis) มีค่า $pH_3$ สูงกว่า 6.3 โดยค่า $pH_3$ ของกล้ามเนื้อ LD มีค่าเท่ากับ 6.19 กลุ่มที่สอง อัตราการเกิดปฏิกิริยาไกลโคไลซีสช้ากว่าปกติ (slow glycolysis) มีค่า $pH_3$ สูงกว่า 6.8 ซึ่งกล้ามเนื้อ LD มีค่า $pH_3$ ของเท่ากับ 6.61 ในขณะที่กลุ่มสุดท้าย อัตราการเกิดปฏิกิริยาไกลโคไลซีสเร็วกว่าปกติ (fast glycolysis) มีค่า $pH_3$ น้อยกว่า 5.6 และในของกล้ามเนื้อ LD มีค่า $pH_3$ เท่ากับ 5.94 และได้ทำการศึกษาต่อโดยบ่มเนื้อเป็นระยะเวลา 2, 7 และ 14 วัน ทำการวัดหาค่าแรงตัดผ่านเนื้อ โดยแบ่งอุณหภูมิในการปรุงสุกเป็น 2 ระดับ คือที่อุณหภูมิ 60 และ 80 °C จากการศึกษาพบว่าในเนื้อโคกลุ่มที่เป็น fast glycolysis จะมี

ค่าแรงตัดผ่านเนื้อน้อยที่สุด และนอกจากนี้ยังพบว่าในเนื้อที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาไกลโคไลซีสเร็วกว่าปกติ มีค่าคะแนนความนุ่มจากการชิมมากกว่ากลุ่มอื่น ดังแสดงในตารางที่ 2.3 จากการทดลองกล่าวได้ว่า เนื้อโคในกลุ่มที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาไกลโคไลซีสเร็วกว่าปกติ จะมีความนุ่มมากที่สุด เนื่องจากอัตราการลดลงของค่า pH อย่างรวดเร็วจะมีผลให้เกิดการเร่งการทำงานของ endogenous enzyme เช่น เร่งการทำงานของ cathepsin L ให้ออกมาย่อยสลายโปรตีนในเนื้อสัตว์ได้มากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า ที่ระยะเวลาการบ่ม 2 วัน โคกลุ่มที่เกิด slow glycolysis มีความยาวของซาร์โครเมียร์น้อยกว่าโคกลุ่มที่เกิด intermediate glycolysis และ fast glycolysis (1.57, 1.75 และ 1.78 μm ตามลำดับ) ($P<0.001$) แต่ไม่พบความแตกต่างกันในระยะเวลาการบ่มที่ 7 และ 14 วัน ทั้งนี้กล่าวได้ว่า ความนุ่มที่เพิ่มขึ้นในเนื้อมีความสัมพันธ์กับการหดตัวของเส้นใยกล้ามเนื้อหรือความยาวของซาร์โคเมียร์ หากปฏิกิริยาไกลโคไลซีสหรือการลดลงของค่า pH เกิดขึ้นอย่างช้าลงภายหลังสัตว์ตาย

ค่า pH และอุณหภูมิในกล้ามเนื้อ ในช่วงที่กำลังเข้าสู่ระยะการเกิดการเกร็งตัวของกล้ามเนื้ออย่างถาวร (rigor mortis) มีผลต่อทางกายภายและการหดตัวของกล้ามเนื้อ โดยค่า pH และอุณหภูมิภายในกล้ามเนื้อนั้นมีความสำคัญในระยะ onset rigor ซึ่งเป็นระยะที่ความสามารถในการยืดหดตัวของกล้ามเนื้อลดลงอย่างรวดเร็ว และไม่มีการเข้า-ออกของ $Ca^{2+}$ ใน sarcoplasmic recticulum (Tornberg. 1996)

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าเฉลี่ยค่าความนุ่ม และค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (กก./ลบ.ซม) ของกล้ามเนื้อ Longissimus dorsi (LD) ที่อัตราการลดลงของค่า pH ในแต่ละกลุ่ม

| ลักษณะที่ศึกษา | | ระยะเวลาการบ่ม | อัตราการลดลงของค่า pH | | | ระดับความเชื่อมั่น[a] | SED[b] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ช้า | ปกติ | เร็ว | | |
| ความนุ่มจากการชิม[c] | | 2 | 3.16 | 4.09 | 4.22 | *** | 0.303 |
| | | 7 | 4.24 | 5.72 | 6.22 | *** | 0.246 |
| | | 14 | 5.64 | 5.99 | 5.83 | N/S | 0.248 |
| ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ | 60 °C | 2 | 6.33 | 4.24 | 3.43 | *** | 0.240 |
| | | 7 | 4.72 | 3.02 | 2.62 | *** | 0.197 |
| | | 14 | 3.61 | 2.41 | 2.02 | *** | 0.170 |
| | 80 °C | 2 | 12.25 | 7.77 | 7.06 | *** | 0.452 |
| | | 7 | 8.76 | 5.04 | 4.90 | *** | 0.459 |
| | | 14 | 6.67 | 3.31 | 3.25 | *** | 0.332 |

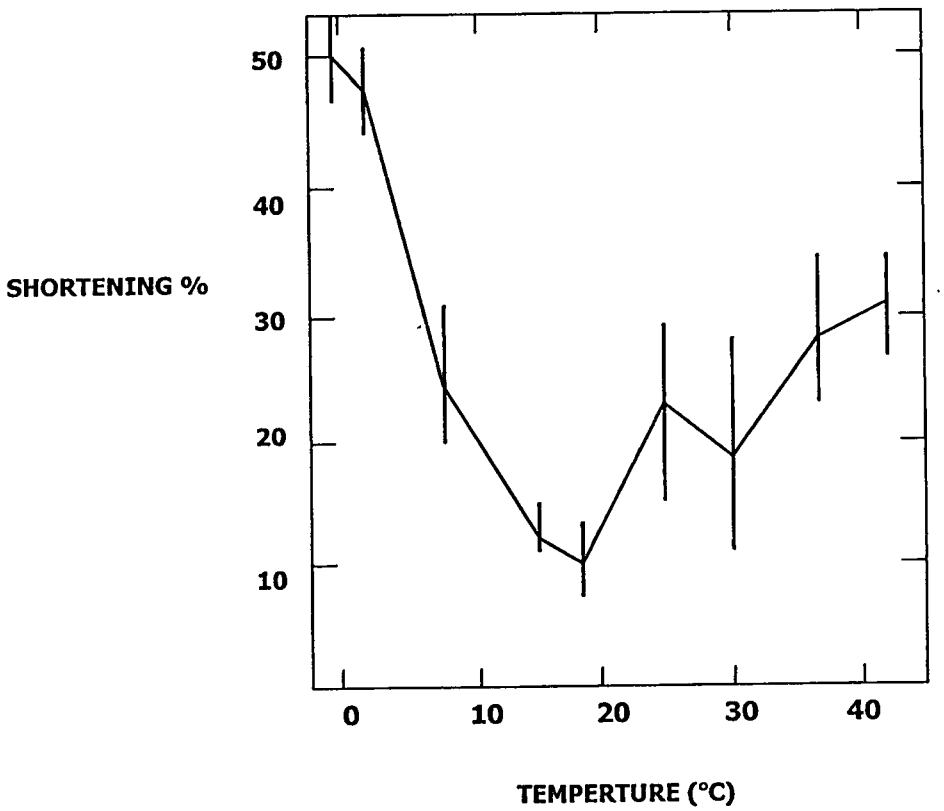
[a] ***= $p<0.001$; N/S = Not significant.

[b] Standard error of difference.

[c] 1=เหนียวที่สุด และ 8=นุ่มที่สุด

ที่มา: ดัดแปลงจาก O'Halloran *et al.* (1997)

การลดอุณหภูมิซากมีผลต่อความนุ่มของเนื้อ หากอุณหภูมิของกล้ามเนื้อต่ำลงมากๆ ก่อนที่ค่า pH จะลดต่ำลงถึงค่า pH สุดท้าย จะมีผลทำให้เนื้อมีความนุ่มลดลง กล้ามเนื้อที่มีอุณหภูมิต่ำมากๆ เวลาหลังสัตว์ตายใหม่ๆ จะทำให้ sarcoplasmic recticulum ซึ่งเป็นที่เก็บ $Ca^{2+}$ ในเซลล์กล้ามเนื้อ จะปล่อย $Ca^{2+}$ ออกมาโดย $Ca^{2+}$ ที่ถูกปล่อยออกมาจะส่งสัญญาณทำให้กล้ามเนื้อ ซึ่งยังมีพลังงานอยู่เกิดการหดตัวและกล้ามเนื้อที่หดสั้นลงจะส่งผลให้เนื้อมีความนุ่มน้อยลง (Tornberg. 1996) ได้มีการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในระหว่างการเก็บเนื้อกับเปอร์เซ็นต์ การหดตัวของกล้ามเนื้อในช่วงระยะก่อนการเกิด rigor mortis ดังภาพที่ 2.3 จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวของกล้ามเนื้อที่น้อยที่สุดอยู่ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 14-19 องศาเซลเซียส การหดตัวจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วมากที่อุณหภูมิของการเก็บที่ต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส (Lonergan. 2001)




**ภาพที่ 2.3** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการเก็บเนื้อและเปอร์เซ็นต์ของการหดตัวของกล้ามเนื้อโคก่อนการเกิด rigor mortis

ที่มา : Pearson and Young (1989)

Cold shortening เป็นการหดตัวของกล้ามเนื้อเนื่องจากความเย็น ซึ่งเป็นการหดตัวของกล้ามเนื้ออย่างรวดเร็วก่อนการเกิดกระบวนการหดตัวของกล้ามเนื้ออย่างถาวร เนื่องจากการลดอุณหภูมิของซากลงอย่างรวดเร็วภายหลังเสร็จสิ้นกระบวนการฆ่า (จุฑารัตน์ เศรษฐกุล. 2543) วิธีการลดอุณหภูมิที่ป้องกันการเกิด cold shortening ในเนื้อโคและแกะ คือการลดลงของอุณหภูมิภายในเนื้อภายหลังสัตว์ตาย 10 ชั่วโมง ไม่ควรทำให้อุณหภูมิภายในเนื้อลดลงต่ำกว่า 10 °C ก่อนที่ค่า pH ในเนื้อลดลงน้อยกว่า 6.2 (Bendall. 1973) โดยในกล้ามเนื้อภายหลังสัตว์ตาย การเกิดการหดตัวและการเกิดความเหนียวของเนื้อ จะขึ้นกับอุณหภูมิในช่วงเริ่มแรกของการเกิด rigor โดย Locker and Hagyard (1963) ได้ศึกษาถึงการหดตัวของกล้ามเนื้อ Sternomandibularis ของเนื้อโคในการลดอุณหภูมิ ซึ่งอุณหภูมิอยู่ในช่วงระหว่าง 2-37 °C และที่อุณหภูมิระหว่าง 14-19°C พบว่า ที่อุณหภูมิต่ำกล้ามเนื้อมีการหดตัวต่ำที่สุด เกิดการหดตัวของกล้ามเนื้อเนื่องจากความเย็น โดยกล้ามเนื้อจะเกิดการหดตัวอย่างรวดเร็วและรุนแรง ส่วนการเกิด heat shortening จะเกิดที่อุณหภูมิเกิน 19 °C แต่การหดตัวของกล้ามเนื้อจะเกิดรุนแรงน้อยกว่าการเกิด cold shortening

King *et al.* (2003) ได้ทำการศึกษาการลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็ว (rapid chilling) และการลดอุณหภูมิโดยวิธีปกติ (conventional chilling) ที่มีผลต่อคุณภาพเนื้อ ของโคลูกผสม ชาร์โรเล่ส์ x แองกัส ในกล้ามเนื้อ Longissimus thoracis (LT) และ Triceps brachii (TB) พบว่า อุณหภูมิในซากภายหลังสัตว์ตายที่ 1ชั่วโมง การลดอุณหภูมิทั้ง 2 วิธีไม่มีความแตกต่างกัน แต่จากภายหลังที่สัตว์ตาย 2 ชั่วโมง การลดอุณหภูมิแบบ rapid chilling ทำให้อุณหภูมิภายในกล้ามเนื้อลดลงอย่างรวดเร็ว และค่าแรงตัดผ่านเนื้อมีค่าสูงกว่าลดอุณหภูมิแบบ conventional chilling มีค่าเท่ากับ 9.9 และ 4.8 กก./ลบ.ซม. ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าในการลดอุณหภูมิแบบ rapid chilling มีเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายโปรตีน desmin ลดลง (30.5 และ 40.9% ตามลำดับ) ในขณะที่การลดอุณหภูมิแบบ rapid chilling มีความยาวของซาร์โคเมียร์หดสั้นกว่าการลดอุณหภูมิแบบ conventional chilling ($P<0.05$) ซึ่งเปอร์เซ็นต์การหดตัวของซาร์โคเมียร์ในกล้ามเนื้อ LT และ TB เท่ากับ 29 และ 34 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Hwang *et al.* (2004) ได้ทำการทดลองศึกษาผลการลดอุณหภูมิของซากที่ระยะต่างๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า pH และอุณหภูมิ ที่มีผลต่อการหดตัวของกล้ามเนื้อและความนุ่ม โดยใช้โคเพศผู้ตอนพันธุ์ฮันวู (Hanwoo) จำนวน 8 ตัว อายุประมาณ 26 เดือน น้ำหนักประมาณ 685 กิโลกรัม ภายหลังสัตว์ตาย 30 นาที นำกล้ามเนื้อ Longissimus dorsi มาทำการลดอุณหภูมิ แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม โดยทำการลดอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 5, 15 และ 36 °C จนครบ 24 ชั่วโมง จากการทดลองพบว่าอัตราการลดลงของค่า pH ที่ 3 และ 6 ชั่วโมง ภายหลังสัตว์ตาย มีความแตกต่างกัน ($P<0.05$) ในทุกระยะของการลดอุณหภูมิ ซึ่งค่า pH ที่ 3 และ 6 ชั่วโมง ภายหลังสัตว์ตาย ที่ทำการลดอุณหภูมิที่ 5 และ 15 °C มีค่า pH สูงกว่าที่อุณหภูมิ 36 °C ($P<0.05$) ซึ่งพบว่าการลดลงของค่า pH 6.2 ที่อุณหภูมิ 36 °C ใช้ระยะเวลาสั้นที่สุด และมีอุณหภูมิของเนื้อที่ค่า pH 6.2 สูงที่สุด ($P<0.05$) ส่วนความยาวของซาร์โคเมียร์ในกล้ามเนื้อพบว่าที่อุณหภูมิ 5 °C ความยาวซาร์โคเมียร์หดสั้นกว่าที่อุณหภูมิ 15 °C ($P<0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างกันกับที่อุณหภูมิ 36 °C ซึ่งที่อุณหภูมิ 5 °C จะมีค่าแรงตัดผ่านเนื้อเพิ่มขึ้น โดยค่าแรงตัดผ่านที่อุณหภูมิ 36 °C มีค่าต่ำที่สุด 49.1 N ดังแสดงตารางที่ 2.4 สอดคล้องกับ Dransfield *et al.* (1992) ที่พบว่าในกล้ามเนื้อ Pectoralis profundus ที่ลดอุณหภูมิลง 0 °C ระยะเวลาที่ค่า pH ถึง 6.2 ใช้ระยะเวลามากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับที่ใช้อุณหภูมิ 15 และ 30 °C และ Bendall (1973) กล่าวว่า เวลาและอุณหภูมิที่ค่า pH 6.2 นั้น เป็นความแตกต่างกันของกระบวนการเมตตาโบลิตในกล้ามเนื้อ และมีผลกระทบโดยตรงต่อการหดตัวของกล้ามเนื้อ และความนุ่มของเนื้อ

**ตารางที่ 2.4** แสดงค่า Least square means ของค่า pH, อุณหภูมิ, ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ และความยาวของซาร์โคเมียร์ที่การลดอุณหภูมิในระยะต่างๆ ของกล้ามเนื้อ Longissimus dorsi

| ลักษณะที่สังเกตุ | กล้ามเนื้อ Longisismus dorsi | | | Av.SE |
|---|---|---|---|---|
| | 5 °C | 15 °C | 36 °C | |
| pH ที่ 3 ชั่วโมง (ภายหลังสัตว์ตาย) | 6.68[a] | 6.66[a] | 6.12[b] | 0.072 |
| pH ที่ 6 ชั่วโมง (ภายหลังสัตว์ตาย) | 6.34[a] | 6.32[a] | 5.69[b] | 0.076 |
| อุณหภูมิที่ 3 ชั่วโมง (°C) (ภายหลังสัตว์ตาย) | 13.9[a] | 16.1[b] | 37.3[c] | 0.78 |
| อุณหภูมิที่ 6 ชั่วโมง (°C) (ภายหลังสัตว์ตาย) | 8.4[a] | 15.5[b] | 37.2[c] | 0.50 |
| เวลาที่ค่า pH 6.2 (ชั่วโมง) | 8.0[a] | 7.4[a] | 3.1[b] | 0.89 |
| อุณหภูมิที่ค่า pH 6.2 (°C) | 7.7[a] | 15.0[b] | 37.4[c] | 0.82 |
| ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (N) | 91.2[a] | 57.9[b] | 41.2[c] | 4.46 |
| ความยาวของซาร์โคเมียร์ (μm) | 1.52[a] | 1.76[b] | 1.45[a] | 0.056 |

[a, b, c] ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างทางสถิติ ($p<0.05$)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Hwang *et al.* (2004)

นอกจากนี้ Hwang *et al.* (2004) รายงานว่า ความยาวของซาร์โคเมียร์จะมีผลต่อความนุ่มในช่วงที่เกิดกระบวนการย่อยสลายโปรตีนอย่างช้าๆ หรือในช่วงที่ระยะเวลาการบ่มยังไม่เกิดขึ้น ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่าความเหนียวที่เกิดขึ้นจากการหดตัวของซาร์โคเมียร์นั้น เนื่องมาจากการเก็บเนื้อในอุณหภูมิต่ำๆ ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงระยะก่อนการเกิด rigor mortis และความนุ่มที่เกิดหลัง rigor mortis นั้นเป็นผลมาจากกลไกการทำงานของเอ็นไซม์ที่ทำให้เนื้อนุ่มมากกว่าการหดตัวของซาร์โคเมียร์

### 2.6.5 ชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อ

Klont *et al.* (1998) รายงานว่า เส้นใยกล้ามเนื้อแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ซึ่งแต่ละชนิดก็มีชื่อเรียกเฉพาะด้วยกันหลายชื่อขึ้นอยู่กับลักษณะที่ใช้ในการจำแนก เช่น สี กระบวนการ เมตาบอลิซึม หรือการหดตัวของกล้ามเนื้อ ได้แก่

1. Type I (slow–twitch oxidative, slow oxidative, β-red)

จัดเป็นพวก red fiber เส้นใยกล้ามเนื้อชนิดนี้จะมีองค์ประกอบของไมโอโกลบินสูง ไมโทคอนเดรีย เส้นเลือดฝอยจำนวนมาก และมีไกลโคเจนน้อย

2. Type IIA (fast–twitch oxidative, fast oxidative glycolytic, α-red)

จัดเป็น intermediate fiber ซึ่งเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดนี้จัดอยู่ระหว่างเส้นใยกล้ามเนื้อ type I และ type IIB นั่นคือ จะมีองค์ประกอบของไมโอโกลบินสูง ไมโทคอนเดรีย เส้นเลือดฝอยจำนวนมาก แต่มีไกลโคเจนสูง

3. Type IIB (fast–twitch glycolytic, fast glycolytic, α-white)

จัดเป็นพวก white fiber จะมีไมโอโกลบิน ไมโทคอนเดรียและจำนวนเส้นเลือดฝอยต่ำกว่าพวก red fiber และมีไกลโคเจนสูงกว่าพวก red fiber

Koohmaraie (1996) รายงานว่าชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อมีบทบาทสำคัญต่อความนุ่มของเนื้อภายหลังสัตว์ตาย ซึ่งในกล้ามเนื้อ slow–twitch (β-red) มีอัตราการสลายตัวของโปรตีนในเนื้อช้ากว่าในกล้ามเนื้อ fast–twitch (α–red และ α–white) เนื่องจากค่า pH ในเนื้อที่ลดลงเร็วทำให้เอ็นไซม์ในกระบวนการ proteolysis ทำงานในกล้ามเนื้อ fast–twitch ได้ดีกว่า และพบว่าในกล้ามเนื้อ slow–twitch (β-red) มีเอ็นไซม์ calpain ปริมาณที่สูง แต่ในขณะเดียวกันก็มีจำนวน calpastatin สูงเช่นกัน ซึ่งเอนไซม์ตัวนี้จะไปขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ calpain ที่ไปย่อยสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อ เป็นผลทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเอ็นไซม์ calpain ในกระบวนการ proteolysis เกิดได้น้อยเนื้อจึงนุ่มช้ากว่า โดยในกล้ามเนื้อที่มีปริมาณเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด red fiber ในสัดส่วนที่สูงกว่า white fiber เนื้อนั้นจะมีความเหนียวมากกว่า (Fiedler *et al.* 1999) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Geesink *et al.* (2006) พบว่าโคสายเลือด *Bos indicus* เป็นโคที่มีเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด red fiber ในองค์ประกอบของมัดกล้ามเนื้ออยู่สูง ซึ่งเนื้อจากโคสายเลือด *Bos indicus* นั้นมีความเหนียวมาก เนื่องจากเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด red fiber มีเอ็นไซม์ calpain ปริมาณสูง แต่ในขณะเดียวกันก็มีจำนวน calpastatin สูงเช่นกัน

ส่วนในการหดตัวของกล้ามเนื้อ Pearson and Young (1989) รายงานว่าเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด white muscle มี mitochondria จำนวนน้อย และมีการพัฒนา sarcoplasmic reticulum ดีกว่าในเส้นใยกล้ามเนื้อ red muscle ทำให้การเข้าและออกของ $Ca^{2+}$ ระหว่าง sarcoplasmic reticulum เป็นไปอย่างรวดเร็ว โอกาสของการเกิด cold shortening มีน้อยมาก และจากการศึกษาของ Cena *et al.* (1991) พบว่า เส้นใยกล้ามเนื้อที่ใช้ออกซิเจน (red fiber type intermediate; oxidative fibers) มีการหดตัวของซาร์โคเมียร์รุนแรงมากกว่าเส้นใยกล้ามเนื้อ white muscle นอกจากนี้ David *et al.* (1981) พบว่าในโคเพศผู้ตอนมีเปอร์เซ็นต์ของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด red fiber สูงกว่าโคสาวและมีเปอร์เซ็นต์เส้นใยกล้ามเนื้อชนิด white fiber ต่ำกว่า และพบว่าระดับพลังงานในอาหารที่เพิ่มขึ้นนั้นมีผลทำให้มีเปอร์เซ็นต์เส้นใยชนิด red fiber ลดลงและมีเปอร์เซ็นต์เส้นใยชนิด white fiber เพิ่มขึ้น

**2.6.6 เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Connective tissue)**

Sims and Bailey (1981) กล่าวว่า เนื้อเยื่อเกี่ยวพันเป็นเนื้อเยื่อที่ห่อหุ้มโครงสร้างในร่างกายสัตว์โดยกล้ามเนื้อจะถูกห่อหุ้มด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพันชื่อ อีพิไมเซียม(epimysium) มัดกล้ามเนื้อจะถูกห่อหุ้มด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพันชื่อ เพอริไมเซียม(perimysium) และเส้นใยกล้ามเนื้อจะถูกห่อหุ้มด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพันชื่อ เอนโดไมเซียม (endomysium) ความนุ่มเหนียวของเนื้อมีส่วนสัมพันธ์กับโปรตีนในเนื้อเยื่อเกี่ยวพันคือ คอลลาเจน ซึ่งเป็นโปรตีนที่พบมากที่สุดในเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ซึ่ง Kerry *et al.* (2002) ได้รายงานว่า ชนิดของการ crosslinking ภายใน connective tissue แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ heat-soluble bonds และ heat-insoluble bonds ซึ่งเปอร์เซ็นต์ของ insoluble bonds เพิ่มขึ้นตามอายุสัตว์ เนื้อจึงมีความเหนียวเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของ heat-insoluble collagen bonds ดังนั้น connective tissue จึงจะเกี่ยวข้องกับความนุ่มเหนียวของเนื้อ นอกจากนี้ Levrie (1970) พบว่า เมื่อสัตว์มีอายุมากขึ้นปริมาณเนื้อเยื่อเกี่ยวพันในกล้ามเนื้อจะลดลง และ Warris (2000) กล่าวว่า เมื่อสัตว์มีอายุมากขึ้นเนื้อจะมีความเหนียวเนื่องจากปริมาณตัวเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของคอลลาเจน intramolecuelar และ intermolecuelar cross link เพิ่มขึ้น และมีความแข็งแรงมากขึ้นเนื้อจึงมีความเหนียวกว่าสัตว์ที่มีอายุน้อย ซึ่งมีปริมาณของ intramolecuelar และ intermolecuelar cross link อยู่ต่ำและเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลอย่างหลวมๆ ถึงแม้ว่าเนื้อสัตว์ที่มีอายุน้อยจะนุ่มกว่า แต่กราฟความสัมพันธ์ความนุ่มเหนียวกับอายุก็ไม่ได้เป็นแบบเส้นตรงเสมอไป ทั้งนี้จากหลายงานวิจัยรายงานว่า สัตว์ในช่วงอายุที่กำลังพัฒนาร่างกายหรือปริมาณกล้ามเนื้อในร่างกายกำลังเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจะมีการขยายขนาดเส้นใยกล้ามเนื้อควบคู่ไปด้วยกันซึ่งจะทำให้ปริมาณของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันลดลงไปอย่างมาก ดังนั้นเนื้อโคที่ผ่านมาการขุนแล้วทำการฆ่า เมื่ออายุระหว่าง 12-18 เดือนนั้นจะมีความนุ่มกว่าเนื้อลูกโคที่อายุประมาณ 6 เดือน (ชัยณรงค์ คันธพนิต. 2529) นอกจากนี้ในกล้ามเนื้อที่มีการเคลื่อนไหวมากหรือต้องทำงานออกแรงมากจะพบว่ามีปริมาณของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันมากกว่ากล้ามเนื้อที่มีการเคลื่อนไหวน้อย (Kerry *et al.* 2002)

Johnson *et al.* (1990) ที่ทำการศึกษาปริมาณคอลลาเจนในกล้ามเนื้อสันนอกของโคลูกผสมพันธุ์แองกัสและพันธุ์บราห์มัน โคลูกผสมที่มีระดับเลือดบราห์มัน 0, 25, 50 และ 75 เปอร์เซ็นต์ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับปริมาณคอลลาเจนทั้งหมดและปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ในเนื้อ แต่พบว่าในเนื้อโคของกลุ่มลูกโคที่มีอายุเข้าฆ่า 7 เดือน มีปริมาณคอลลาเจนและปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ในเนื้อ (3.63 mg และ 23.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) มากกว่ากลุ่มโคที่มีอายุเข้าฆ่า 1 ปี (3.08 mg/g และ17.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ)

Nishimura *et al.* (1998) ทำการศึกษาความนุ่มของโคพันธุ์เจเปนนีส แบลค (Japanese Black) เพศผู้ตอน อายุ 32 เดือน ในกล้ามเนื้อ Semitendinosus พบว่า ที่ ค่าแรงตัดผ่านเนื้อลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และมีความสัมพันธ์ลดลงแบบเป็นเส้นตรงเมื่อเนื้อถูกบ่มนานเป็นเวลามากกว่า 10 วัน จนกระทั่งถึง 35 วัน หลังสัตว์ตาย ทั้งนี้เมื่อทำการวิเคราะห์จากเปอร์เซ็นต์

การแตกตัวของเส้นใยเพอริไมเซียมพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาผ่านไป 14 วัน หลังสัตว์ตาย และความแข็งแรงของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างช้าๆในระหว่างการบ่ม จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงเนื้อเยื่อเกี่ยวพันในเนื้อเกิดขึ้นน้อยมากในระหว่างการบ่ม แต่พบว่าหากยืดระยะเวลาในการบ่มให้นานขึ้นเนื่อเยื่อเกี่ยวพันจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยมีการแตกหักมากขึ้นจึงทำให้เนื้อโคมีความนุ่มเพิ่มขึ้น Salisbury and Crampton (1960) รายงานว่าเมื่อทำการเก็บเนื้อเป็นระยะเวลานาน 20-30 วัน เนื้อเยื่อเกี่ยวพันจะเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยเกิดการย่อยสลายตัวเอง (autolysis) จึงทำให้เนื้อนุ่มมีความนุ่มเพิ่มขึ้น และพบว่าในกล้ามเนื้อ Longissimus dorsi และ Semitendinosus มีปริมาณคอลลาเจนในกล้ามเนื้อลดลง เมื่อบ่มเนื้อไว้เป็นเวลานาน 28 วัน ทั้งนี้ Perason and Young (1989) กล่าวว่า เอ็นไซม์ cathepsin สามารถทำการย่อยสลาย fibrillar collagen ได้ โดยจะเข้าทำลายโมเลกุลของคอลลาเจนที่บริเวณพันธะ telopeptide ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ Tropocollagen มารวมกันและเกิดการเกาะกันที่ polypeptide เป็นผลให้เกิดความแข็งแรงขึ้นระหว่าง Tropocollagen molecule ที่เรียกว่า intermolecuelar cross link

**2.6.7 ปริมาณไขมันแทรก**

ไขมันแทรกเป็นไขมันที่สะสมอยู่ระหว่างแต่ละเส้นใยกล้ามเนื้อ สามารถมองเห็นเป็นจุดหรือเส้นสีขาวภายในกล้ามเนื้อ การสะสมของไขมันแทรกในส่วนต่างๆ ของร่างกายจะไม่เท่ากัน โดยจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นจากส่วนหัวไปยังส่วนท้ายของซาก ไขมันจะถูกสะสมไว้ในร่างกายเป็นลำดับสุดท้าย แต่จะถูกนำไปใช้ก่อนเมื่อร่างกายขาดแคลนพลังงาน (Dennis. 1997)

กล้ามเนื้อสัตว์ที่มีไขมันแทรกอยู่ภายในเซลล์กล้ามเนื้อ จะทำให้เนื้อมีความนุ่มขึ้น เนื่องจากไขมันแทรกที่อยู่ในระหว่างเซลล์นั้น ทำให้แรงยึดระหว่างเซลล์ของกล้ามเนื้อน้อยลงและไขมันเหล่านี้จะทำหน้าที่หล่อลื่น ในขณะที่เคี้ยวเนื้อ ทำให้เกิดความชุ่มฉ่ำภายในปากและรู้สึกว่านุ่มขึ้น ปริมาณไขมันแทรกในเนื้อจากสัตว์ที่มีอายุมากขึ้นอาจจะมีความสัมพันธ์กับความนุ่มของเนื้อ แต่ในสัตว์ที่มีอายุน้อยจะมีไขมันแทรกปริมาณน้อย ซึ่งไขมันแทรกก็จะไม่มีความหมายแต่อย่างใดเลย (ชัยณรงค์ คันธพนิต. 2529)

Savell and Cross (1988) ได้อธิบายเกี่ยวกับระดับไขมันแทรกในกล้ามเนื้อที่มีผลต่อความน่ากินแบ่งออกเป็น 2 ประเด็น คือ

ประเด็นแรก กล่าวคือ ระดับไขมันแทรกที่มีความสัมพันธ์กับความฉ่ำน้ำของเนื้อ ซึ่งเมื่อระดับไขมันแทรกในเนื้อเพิ่มขึ้น ผู้บริโภคเข้าใจว่าเนื้อนั้นมีความฉ่ำน้ำของเนื้อในระหว่างการเคี้ยวหรือการกัดชิ้นเนื้อครั้งแรก ซึ่งไขมันนั้นเป็นตัวกระตุ้นต่อมน้ำลายให้มีการหลั่งน้ำลายมากขึ้นจึงทำให้เนื้อนั้นมีความฉ่ำน้ำและกลืนได้ง่าย ซึ่งไขมันอาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความฉ่ำน้ำของเนื้อโดยทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้เมื่อนำเนื้อมาปรุงสุก ไขมันจะไปเคลือบที่เส้นใยกล้ามเนื้อ ซึ่งเนื้อจะมีความนุ่มและความฉ่ำน้ำของเนื้อเพิ่มขึ้น

ประเด็นที่สอง กล่าวคือ ระดับไขมันแทรกในกล้ามเนื้อที่มีผลต่อความน่ากิน ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของไขมันและความนุ่มในเนื้อ โดยมี 4 ทฤษฎีที่สนับสนุนความสัมพันธ์ของการเพิ่มขึ้นของระดับไขมันแทรกและความนุ่มของเนื้อ คือ

1) ทฤษฎีความหนาแน่น (bulk density theory) โดยทั่วไปไขมันในเนื้อนั้นมีความหนาแน่นต่ำกว่าโปรตีนในเนื้อที่ผ่านการปรุงสุก (heat-denatured protein) หากมีปริมาณไขมันแทรกในเนื้อเพิ่มขึ้น ไขมันจะไปลดความหนาแน่นในเนื้อลง ทำให้ความหนาแน่นในการกัดเนื้อลดลง จึงทำเนื้อมีความนุ่มขึ้น

2) ทฤษฎีของการหล่อลื่น (lubrication effect theory) ส่วนใหญ่ไขมันแทรกในกล้ามเนื้อเป็นไขมันพวก triglyceride ที่สะสมอยู่ในเนื้อเยื่อไขมัน ซึ่งแทรกอยู่ในเนื้อเยื่อเกี่ยวพันชั้นในที่หุ้มอยู่ระหว่างมัดกล้ามเนื้อแต่ละมัด เมื่อนำเนื้อมาทำการปรุงสุกไขมัน triglyceride จะหลอมละลายมาห่อหุ้มทั่วเส้นใยกล้ามเนื้อ ในขณะที่กัดชิ้นเนื้อ ไขมันก็จะถูกปล่อยออกมามีผลไปกระตุ้นการหลั่งน้ำลายเพิ่มขึ้น จึงทำให้เนื้อนั้นมีความฉ่ำน้ำ นอกจากนี้ไขมันยังทำให้เส้นใยกล้ามเนื้อลื่นและง่ายต่อการเคี้ยว เนื้อจึงมีความนุ่มเพิ่มขึ้น

3) ทฤษฎีการเป็นฉนวน (insurance theory) ไขมันสามารถป้องกันการเสียสภาพของโปรตีนได้ โดยปกติโปรตีนในเนื้อทำหน้าที่เกี่ยวกับการจับน้ำในกล้ามเนื้อ เมื่อนำเนื้อมาปรุงสุก โปรตีนจะเกิดการเสื่อมสภาพและสูญเสียความสามารถในการจับน้ำ ซึ่งไขมันจะเป็นฉนวนในการถ่ายเทความร้อนหรือชะลอการส่งผ่านความร้อนทำให้สูญเสียโปรตีนที่เสื่อมสภาพน้อยลง ส่งผลให้เนื้อสูญเสียความชุ่มชื้นในระหว่างการปรุงสุกลดลง

4) ทฤษฎีการลดการตึงตัว (strain theory) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการลดความตึงตัวของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันชั้นในที่ห่อหุมมัดกล้ามเนื้อ เนื่องจากไขมันแทรกเป็นเซลล์ไขมันที่กระจายอยู่ในเนื้อเยื่อเกี่ยวพันชั้นใน ดังนั้นในเนื้อที่มีการสะสมไขมันแทรกสูง เซลล์ไขมันที่มีจำนวนมากก็จะไปเบียดพื้นที่ของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ทำให้เนื้อเยื่อเกี่ยวพันลดการตึงตัวลง เป็นผลทำให้เนื้อมีควมนุ่มมากขึ้น

ในกล้ามเนื้อที่มีปริมาณไขมันแทรกสูงปริมาณของ fibrous protein ในกล้ามเนื้อจะลดลง โดยไขมันแทรกจะไปลดความต้านทานของกล้ามเนื้อต่อแรงตัดผ่านของเนื้อลง จึงทำให้เนื้อมีความนุ่มมากขึ้น นอกจากนี้พันธุกรรมเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการสะสมไขมันแทรก (Wood *et al.* 1999) ทั้งนี้การวัดระดับไขมันแทรกดูจากไขมันที่สะสมอยู่ในพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันนอก (Longissimus dorsi) โดยจะวัดตรงบริเวณหน้าตัดเนื้อสันระหว่างซี่โครงที่ 12 และ 13 (Dennis. 1997)

Huffman *et al.* (1990) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของโคขุนที่มีเลือดของพันธุ์แองกัสและโคลูกผสมแองกัส x บราห์มัน ที่ระดับเลือดบราห์มันแตกต่างกันคือ 25, 50 และ 75 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีระดับไขมันแทรกแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่พบว่ามีพื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน

ไม่แตกต่างกันทางสถิติ นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อน้ำหนักมีชีวิตเข้าฆ่าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหนาไขมันสันหลัง น้ำหนักซากอุ่น และผลผลิตซาก (yield grad) เพิ่มขึ้นด้วย รวมทั้งเมื่อระดับเลือดของบราห์มันเพิ่มสูงขึ้นเป็น 50 และ 75 เปอร์เซ็นต์ พบว่าจะทำให้ปริมาณไขมันแทรก มีค่าเท่ากับ 26.10, 25.00 และขนาดพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันนอก มีค่าเท่ากับ 23.80, 23.70 ตารางเซนติเมตร เมื่อคิดเป็นสัดส่วนต่อน้ำหนักซากอุ่น 100 กิโลกรัม จะเห็นว่าเมื่อระดับเลือดของบราห์มันเพิ่มสูงขึ้น ปริมาณระดับไขมันแทรกและขนาดพื้นที่หน้าตัดเนื้อลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ King *et al.* (2005) พบว่าโคที่มีระดับเลือด *Bos indicus* เพิ่มขึ้น จะทำให้ระดับไขมันแทรก ขนาดพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันนอก และเกรดคุณภาพซากลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ระยะเวลาการขุนมีอิทธิพลต่อระดับคะแนนไขมันแทรกของโคขุนลูกผสมเลือดชาร์โรเล่ส์ 50% ขึ้นไปผสมกับบราห์มัน ทั้งนี้เมื่อระยะเวลาในการขุนเพิ่มขึ้น ระดับคะแนนไขมันแทรกเพิ่มขึ้น โดยระยะเวลาในการขุนมากกว่า 550 วัน มีระดับไขมันแทรก (3.37) สูงกว่าโคที่มีระยะเวลาขุนน้อยกว่า 350 วัน 350-450 วัน และ 451-550 วัน (3.16, 3.18 และ 3.22 ตามลำดับ) ($P<0.05$) (เกียรติศักดิ์ รักสถาน. 2549)

มาลัย จงเจริญ (2546) ทำการศึกษาเปรียบเทียบระดับคะแนนของไขมันแทรกต่อคุณภาพเนื้อโคลูกผสมเลือดชาร์โรเล่ส์ 50% ขึ้นไปผสมกับบราห์มัน ที่อยู่ภายใต้ระบบการผลิตของสหกรณ์การเลี้ยงปศุสัตว์ กรป.กลาง โพนยางคำจำกัด จังหวัดสกลนคร ซึ่งมีระดับคะแนนไขมันแทรก 3-3.5 และ 4-5 โดยที่ระดับคะแนนไขมันแทรก 1 มีคะแนนต่ำสุด และ 5 มีคะแนนสูงสุด พบว่าเนื้อที่มีระดับไขมันแทรก 3-3.5 มีเปอร์เซ็นต์สูญเสียน้ำหนักระหว่างการปรุงสุกและค่าแรงตัดผ่านชิ้นเนื้อสูงกว่าเนื้อที่มีระดับไขมันแทรก 4-5 นอกจากนี้ยังพบว่าเนื้อที่มีระดับไขมันแทรก 3-3.5 มีเปอร์เซ็นต์ไขมันต่ำกว่าเนื้อที่มีระดับไขมันแทรก 4-5 และค่าสีของเนื้อทั้งค่า L* (lightness) และ b* (yellowness) ในเนื้อที่มีระดับไขมันแทรก 3-3.5 พบว่ามีค่าต่ำกว่าเนื้อที่มีระดับไขมันแทรก 4-5 ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบระดับคะแนนไขมันแทรก 3-3.5 และ 4-5 คุณภาพเนื้อโคลูกผสมเลือดชาร์โรเล่ส์ 50% ขึ้นไปผสมกับบราห์มัน ที่อยู่ภายใต้ระบบการผลิตของสหกรณ์การเลี้ยงปศุสัตว์ กรป.กลาง โพนยางคำ จำกัด

| ลักษณะที่ศึกษา | ระดับคะแนนไขมันแทรก | |
|---|---|---|
| | 3 – 3.5 | 4 - 5 |
| ความชื้น (%) | 72.86[a] | 66.91[b] |
| โปรตีน (%) | 24.67[a] | 23.35[b] |
| ไขมัน (%) | 3.83[b] | 11.22[a] |
| การสูญเสียน้ำหนักระหว่างปรุงสุก (%) | 31.14[a] | 26.96[b] |
| ค่าแรงตัดผ่านชิ้นเนื้อ (กิโลกรัม) | 3.65[a] | 2.59[b] |
| ค่าสีของเนื้อ | | |
| L* (lightness) | 38.25[a] | 41.69[b] |
| a* (redness) | 17.40 | 16.92 |
| b* (yellowness) | 6.72[b] | 7.35[a] |

[a,b] = ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ที่มา: ดัดแปลงจาก มาลัย คงเจริญ (2546)

**2.6.8 พันธุ์โค**

Pringle *et al.* (1997) ศึกษาระบบเอ็นไซม์ calpain ที่ช่วยย่อยสลายโปรตีนในเนื้อที่มีผลต่อคุณภาพเนื้อของโคลูกผสมพันธุ์แองกัสและพันธุ์บราห์มัน พบว่าโคลูกผสมที่มีระดับเลือด บราห์มัน 0, 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณเอ็นไซม์ μ-calpain ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 60.4, 58.2, 58.4, 53.0 และ 49.7 ยูนิต/50 กรัมของเนื้อ ตามลำดับ ส่วนปริมาณเอ็นไซม์ calpastatin และสัดส่วนของ calpastatin:μ-calpain เพิ่มขึ้นเมื่อระดับเลือดโคบราห์มันสูงขึ้น และพบว่าปริมาณเอ็นไซม์ μ-calpain มีค่าสหสัมพันธ์ทางบวกกับค่าคะแนนทดสอบระดับความนุ่มด้วยประสาทสัมผัสจากการชิม ($P<0.01$) และมีความสัมพันธ์ทางลบกับค่าแรงตัดผ่านเนื้อที่เวลาการบ่ม 5 และ 14 วัน หลังสัตว์ตาย ($P< 0.05$) เมื่อระดับเลือดโคบราห์มันสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Wheeler *et al.* (1990) รายงานว่าปริมาณเอ็นไซม์ calpastatin จะสัมพันธ์กับระดับเลือดของโคบราห์มัน โดยปริมาณเอ็นไซม์ calpastatin จะเพิ่มขึ้นและสัดส่วนของ calpastatin:μ-calpain จะสูงขึ้นเมื่อระดับเลือดโคบราห์มัน เพิ่มขึ้น แสดงว่าการที่เอ็นไซม์ calpastatin (calpain inhibitor) มีปริมาณเพิ่มขึ้น เอนไซม์ตัวนี้จะไปขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ calpain ที่ไปย่อยสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อ เป็นผลทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเอ็นไซม์ calpain ในกระบวนการ proteolysis (การย่อยสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อภายหลังสัตว์ตาย) ทำงานได้น้อย ส่งผลทำให้เนื้อมีความนุ่มลดลง

ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเอ็นไซม์ calpain ในกระบวนการ proteolysis (การย่อยสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อภายหลังสัตว์ตาย) ทำงานได้น้อย ส่งผลทำให้เนื้อมีความนุ่มลดลง

Wheeler *et al.* (1990) รายงานว่าโคที่มีระดับเลือด *Bos indicus* ที่เพิ่มสูงขึ้นเนื้อจะมีความเหนียวมากกว่าเมื่อเทียบกับเนื้อโคลูกผสมที่มีระดับเลือด *Bos indicus* ที่ต่ำกว่า และพบว่าเนื้อที่ได้จากโคลูกผสม *Bos indicus* จะมีความนุ่มน้อยกว่าเนื้อโคลูกผสม *Bos taurus* ถึงแม้จะมีระดับไขมันแทรกที่เท่ากันก็ตาม ทั้งนี้สอดคล้องกับ Marchall (1994) ที่ทำการศึกษาคุณภาพเนื้อของโคลูกผสมพันธุ์แองกัสหรือพันธุ์เฮียร์ฟอร์ด และพันธุ์บราห์มันพบว่าโคลูกผสมที่มีระดับเลือดโคบราห์มัน 25, 50 และ 75 เปอร์เซ็นต์ ระดับไขมันแทรกและความนุ่มของเนื้อลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีระดับไขมันแทรก (300-399 = slight, 400-499 = small) 393, 351 และ 306 และค่าแรงตัดผ่านเนื้อเท่ากับ 5.16, 5.80 และ 6.68 กก./ลบ.ซม. ตามลำดับ ($P< 0.05$)

**2.6.9 ระบบการเลี้ยง การให้อาหารและระยะเวลาการขุน**

โคเป็นสัตว์ที่ใช้ประโยชน์จากอาหารหยาบเป็นหลัก ปัจจุบันเป็นที่ยอมรับกันทั้งในยุโรป สหรัฐอเมริกา และออสเตรเลียว่าการเลี้ยงโคเนื้อและโคนมที่มีประสิทธิภาพ โดยใช้ต้นทุนต่ำต้องเลี้ยงด้วยอาหารหยาบเป็นหลัก ซึ่งอาหารหยาบที่สำคัญสำหรับโคคือหญ้าสด ในฤดูฝนมักมีหญ้าสดเกินความต้องการของโค จึงเก็บถนอมไว้เป็นอาหารสัตว์ในฤดูแล้ง โดยการทำหญ้าแห้งหรือหญ้าหมัก นอกจากหญ้าอาหารสัตว์แล้ว พืชตระกูลถั่วยังเป็นพืชอาหารสัตว์ที่มีคุณค่าทางอาหารสูงโดยเฉพาะโปรตีน ในประเทศไทยใช้ถั่วอาหารสัตว์ค่อนข้างน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับต่างประเทศ นอกจากนี้พบว่าการเลี้ยงโคเนื้อในประเทศไทยยังใช้เศษเหลือจากการปลูกพืชเป็นแหล่งอาหารหยาบ เช่น ฟางข้าว ต้นข้าวโพด ยอดอ้อย มันสำปะหลัง (มันเส้น) ต้นถั่วลิสง ต้นถั่วเหลือง เป็นต้น และผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการเกษตร เช่น กากน้ำตาล เปลือกสับปะรด และเหง้าสับปะรด เป็นต้น โดยมีการปรับปรุงคุณภาพอาหารหยาบเหล่านี้ด้วยการใช้สารเคมีพวกยูเรีย เพื่อเพิ่มการย่อยได้ให้สูงขึ้น ส่วนเปลือกสับปะรดมีการหมักกับวัตถุดิบอาหารสัตว์อื่น เช่น กากมะพร้าว รำข้าว มันเส้น เหง้า เพื่อผลิตเป็นอาหารหมัก (จุฑารัตน์ เศรษฐกุล และญาณิน โอภาสพัฒนกิจ. 2548)

กองอาหารสัตว์ (2549) รายงานว่า ในเปลือกสับปะรดเมื่อนำไปวิเคราะห์คุณค่าทางอาหาร พบว่า มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนประมาณ 0.69 เปอร์เซ็นต์ไขมัน 0.53 เปอร์เซ็นต์เยื่อใย 2.27 เปอร์เซ็นต์เถ้า 1.01 และเปอร์เซ็นต์คาร์โบไฮเดรต 74.73 ซึ่งเป็นแหล่งอาหารอีกชนิดหนึ่งที่ให้พลังงานสูง จินดา สนิทวงศ์ ณ อยุธยา (2547) กล่าวถึงการใช้เปลือกสับปะรดเลี้ยงสัตว์ว่า มีการใช้เปลือกสับปะรดทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ เช่น มาเลเซีย ฟิลิปินส์ และสหรัฐอเมริกา เป็นต้น โดยเฉพาะการนำไปเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น โคเนื้อ โคนม และแกะ เป็นต้น การใช้เปลือกสับปะรดเลี้ยงโคเป็นวิธีการที่ง่ายและสะดวกโดยสามารถใช้ได้หลายรูปแบบคือ ในสภาพสด หมัก และแห้ง หากมีปริมาณเปลือกสับปะรดเป็นจำนวนมากและสามารถหาได้ตลอดทั้งปี จะใช้เป็นอาหารเสริม

กับหญ้าหรือฟางข้าวที่ใช้เป็นอาหารหลัก หรือใช้เปลือกสับปะรดเลี้ยงอย่างเดียว แต่จำเป็นต้องเสริมวัตถุอาหารสัตว์หรืออาหารข้น เพื่อช่วยเพิ่มคุณค่าให้สัตว์ได้รับโภชนะต่างๆครบตามความต้องการของร่างกาย เช่น รำข้าว ข้าวโพดบด การใช้เลือกสับปะรดสดเลี้ยงโค โดยทั่วไปจะมีความน่ากินต่ำ การหมักจะเป็นการเพิ่มความน่ากินและยังเป็นการถนอมไว้ใช้ในช่วงที่ขาดแคลน โดยอาจกองทิ้งไว้ชั่วระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งการใช้เปลือกสับปะรดหมักเลี้ยงโค จะได้รับการตอบสนองที่ดีจากโคเมื่อเลี้ยงร่วมกับอาหารข้น การใช้ในรูปแบบแห้งเป็นการผึ่งแดดให้แห้งเนื่องจากสับปะรดมีความชื้นสูง ใช้ระยะเวลาประมาณ 4-5 วัน ซึ่งเปลือกสับปะรดแห้งสามารถนำมาผสมใช้เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตร่วมกับอาหารข้นได้ นอกจากนี้ Sethakul *et al.* (2008) รายงานว่า ในซากโคลูกผสมบราห์มันที่มีระดับเลือดสูง ที่ขุนด้วยอาหารข้นและเลี้ยงด้วยอาหารหยาบเป็นเปลือกสับปะรด พบว่า มีความหนาของไขมันสันหลังเท่ากับ 0.98 เซนติเมตร และมีเปอร์เซนต์ไขมันในเนื้อ เท่ากับ 2.87 จากที่กล่าวมาเมื่อนำเปลือกสับปะรดมาเลี้ยงโค ทำให้โคมีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่าโคที่กินหญ้าเพียงอย่างเดียว

อาหารข้น เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับโคขุนคุณภาพ เพื่อทำให้โคมีน้ำหนักส่งฆ่าที่ต้องการและได้เนื้อที่มีไขมันแทรก ดังนั้นจึงต้องให้อาหารข้นที่มีระดับพลังงานและโปรตีนที่เหมาะสมกับความต้องการของโคในช่วงต่างๆของการขุนด้วย ปัจจุบันมีการใช้อาหารผสมระหว่างอาหารหยาบและอาหารข้น หรือที่เรียกว่า อาหารสำเร็จรูป TMR (Total mixed ration) อาจจะมีการอัดเม็ดหรือไม่ก็ได้ สามารถนำไปใช้เลี้ยงโคได้เลยโดยไม่ต้องให้อาหารหยาบเพิ่มอีก เพราะมีโภชนะครบถ้วนตามความต้องการของโค เหมาะสำหรับฟาร์มที่มีข้อจำกัดในด้านแหล่งอาหารหยาบ (จุฑารัตน์ เศรษฐกุล และญาณิน โอภาสพัฒนกิจ. 2548)

Bowling *et al.* (1978) ศึกษาระบบการจัดการโคเนื้อที่มีต่อการผลิต คุณภาพเนื้อในโคเพศผู้ตอนพันธุ์ซานต้า เจอร์ทรูดิช (Santa Gertrudis) ที่เข้าฆ่าเมื่ออายุ 1 ปี และอายุ 2 ปี โดยแบ่งระบบการจัดการเป็น 3 ระบบ คือ ระบบที่ 1 เลี้ยงปล่อยแปลงหญ้า ระบบที่ 2 เลี้ยงปล่อยแปลงหญ้าและทำการเสริมอาหารข้นในแปลงหญ้า และระบบที่ 3 การขุนในคอกเป็นเวลา 100-130 วัน เมื่อทดสอบระดับความนุ่มด้วยประสาทสัมผัสของผู้ชิม พบว่าเนื้อโคที่มาจากระบบขุนในคอกมีคะแนนความนุ่มจากการชิม รสชาติและความชุ่มฉ่ำของเนื้อดีกว่าเนื้อโคที่ปล่อยในแปลงหญ้าทั้ง 2 กลุ่ม ($P<0.05$) แต่จากการทดสอบความเหนียวโดยวิธีหาค่าแรงตัดผ่านเนื้อของเนื้อโคที่มาจากระบบการเลี้ยงที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 4.91, 5.09 และ 4.82 กก./ลบ.ซม. เมื่อเข้าฆ่าที่อายุ 1 ปี และมีค่า 4.91, 4.73 และ 4.86 กก./ลบ.ซม. เข้าฆ่าเมื่ออายุ 2 ปี ตามลำดับ ซึ่งจากค่าที่ได้แสดงให้เห็นว่าการจัดการทั้ง 3 ระบบนี้ไม่มีผลต่อค่าแรงตัดผ่านเนื้อในโคทั้งสองกลุ่มอายุที่เข้าฆ่าอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$)

Nuernberg *et al.* (2005) ศึกษาระบบการเลี้ยงด้วยอาหารข้นและหญ้าเป็นอาหารหลักที่มีผลต่อคุณภาพเนื้อในโคเพศผู้พันธุ์เยอรมัน โฮลสไตน์ (German Holstein) จำนวน 33 ตัว และเยอรมัน ซิมเมนทอล (German Simmental) จำนวน 31 ตัว การจัดการเลี้ยงแบ่งดังนี้ 1) เลี้ยงใน

โรงเรือนให้อาหารข้นเป็นอาหารหลัก ช่วงฤดูหนาวให้อาหารข้นผสมกากถั่วเหลือง ข้าวบาร์เลย์ และกากน้ำตาล 2) ระบบการเลี้ยงหญ้าเป็นหลักปล่อยให้โคแทะเล็มในทุ่งหญ้าช่วงฤดูร้อนและในช่วงฤดูหนาวเลี้ยงในโรงเรือน 3 เดือนก่อนเข้าฆ่า ให้หญ้าหมัก ฟางข้าวและอาหารข้นผสมเมล็ดลินซีด 10 เปอร์เซ็นต์ โคเข้าฆ่าเมื่อมีน้ำหนัก 620 กิโลกรัม ผลการทดลองพบว่า ในโคพันธุ์ เยอรมันโฮลสไตน์ และเยอรมัน ซิมเมนทอล ที่เลี้ยงด้วยอาหารข้นเป็นหลัก มีค่าความสว่างของสี (L*) เท่ากับ 33.08 และ35.78 และจากกลุ่มที่เลี้ยงด้วยหญ้าเป็นอาหารหลักมีค่าเท่ากับ 29.25 และ 32.2 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าโคที่เลี้ยงด้วยหญ้าเป็นหลักสีของเนื้อจะคล้ำกว่าที่เลี้ยงด้วยอาหารข้นเป็นหลักและพบว่าระบบการเลี้ยงด้วยอาหารข้น มีเปอร์เซ็นต์ไขมันแทรกเพิ่มขึ้นและค่าแรงตัดผ่านของเนื้อลดลงกว่าการเลี้ยงด้วยหญ้าเป็นหลักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าเนื้อโคที่เลี้ยงด้วยหญ้ามีความเหนียวมากกว่าเนื้อโคที่เลี้ยงด้วยอาหารข้นเป็นหลัก และเนื้อโคพันธุ์เยอรมัน โฮลสไตน์ ที่เลี้ยงด้วยหญ้าเป็นหลักให้โคแทะเล็มในทุ่งหญ้ามีความเหนียวมากกว่าเนื้อโคในกลุ่มอื่น

Sami *et al.* (2004) ศึกษาระบบการเลี้ยงแบบขุนในคอก (intensive system) และเลี้ยงแบบกึ่งปล่อย (extensive system) ระยะเวลาการขุน 100 และ 138 วัน ที่มีผลต่อคุณภาพเนื้อโคพันธุ์ซิมเมนทอล เพศผู้ โดยระบบการเลี้ยงแบบ intensive ให้อาหารข้นผสม 3.39 กก. DM/วัน และข้าวโพดหมักให้แบบกินไม่จำกัด ส่วนระบบการเลี้ยงแบบ extensive ให้อาหารข้นผสม 0.89 กก. DM/วัน และข้าวโพดหมักให้แบบกินจำกัด โดยพบว่าที่ระยะเวลาขุน 100 และ 138 วัน ในโคที่ถูกเลี้ยงแบบ intensive มีน้ำหนักเมื่อส่งฆ่าสูงกว่าการเลี้ยงแบบ extensive (495.6, 673.7 และ 489.6, 484.5 กิโลกรัม ตามลำดับ) โดยโคที่เลี้ยงด้วยระบบ intensive ที่ระยะเวลาในการขุน 138 วัน มีน้ำหนักเมื่อส่งฆ่าสูงสุด แต่พบว่าระยะเวลาในการขุนภายใต้ระบบการเลี้ยงแบบ intensive และ extensive ไม่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต และยังพบว่าระบบการให้อาหารและระยะเวลาการขุนมีผลต่อน้ำหนักซากสัตว์ โดยโคที่เลี้ยงแบบ intensive มีผลทำให้น้ำหนักซากอุ่นสูงกว่า มีระดับไขมันแทรกในกล้ามเนื้อในระดับสูงกว่าการเลี้ยงแบบ extensive ทั้งนี้ระยะเวลาการให้อาหารไม่มีผลต่อไขมันแทรกในกล้ามเนื้อ

ทางด้านคุณภาพเนื้อ พบว่าในระบบการเลี้ยงแบบ intensive มีปริมาณไขมันแทรกในกล้ามเนื้อ Longissimus Dorsi เพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันความชุ่มฉ่ำของเนื้อลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนคุณภาพเนื้อ โดยค่าแรงตัดผ่านเนื้อ ปริมาณคอลลาเจน ความชุ่มฉ่ำ กลิ่น รสของเนื้อ และความยาวซาร์โคเมียร์ ไม่พบความแตกต่างภายใต้ระบบการเลี้ยงและระยะเวลาในการขุน แต่พบว่าที่ระยะเวลาการขุนนาน 138 วัน ภายใต้การเลี้ยงแบบ intensive เนื้อมีค่าคะแนนความนุ่มจากการชิมมากกว่า (3.92; 1=เหนียว และ 6 = นุ่มมากที่สุด) และยังพบว่าลักษณะเส้นใยกล้ามเนื้อมีแนวโน้มละเอียดมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการขุนนานขึ้นแต่ไม่พบความแตกต่างในระบบการเลี้ยง

**2.6.10 สารเร่งเจริญเติบโตและการใช้ฮอร์โมน**

สารเร่งการเจริญเติบโต หรือ Growth hormone เป็นสารที่สามารถเพิ่มอัตราการเจริญเติบโต หรือการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารในสัตว์ที่มีสุขภาพสมบรูณ์และได้รับโภชนะครบถ้วนตามความต้องการของร่างกายในแต่ละระยะการเจริญเติบโต ได้แก่ สารปฏิชีวนะ (antibiotics) ฮอร์โมน เป็นต้น

โดยทั่วไปสารเร่งการเจริญเติบโตนิยมใช้เพื่อเร่งการสะสมเนื้อ และลดการสะสมไขมันในร่างกายเรียกว่า partitioning agent สารเร่งการสร้างเนื้อแดงที่สำคัญและเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายได้แก่ β-agonists ซึ่ง β-agonists เป็นกลุ่มสารสังเคราะห์ที่ออกฤทธิ์ต่อระบบประสาทส่วนของ sympathepic เน้นกระตุ้นที่ตำแหน่ง β-site จึงมีชื่อเรียกว่า β-adrenerigic agent หรือ β-agonists เป็นสารที่มีผลต่อการทำงานของ beta-adrenoreceptors ที่บริเวณผิวของเซลล์ไขมันและกล้ามเนื้อ และใช้ได้ดีที่สุดในระยะสุดท้ายของการขุน การใช้ β-agonists พบว่าทำให้ปริมาณไขมันแทรก (marbling) ในกล้ามเนื้อลดลง ($P<0.01$) และยังพบว่าเนื้อมีความนุ่มลดลง แต่ไม่พบว่ามีผลต่อ สีและการอุ้มน้ำของเนื้อ (จุฑารัตน์ เศรษฐกุล. 2539)

Luno *et al.* (1999) ได้ทำการศึกษาผลของการใช้สารเคลนบูเทอรอลที่มีผลต่อปริมาณเอ็นไซม์ที่ย่อยสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อ ใช้โคชาร์โรเล่ส์ เพศเมีย อายุ 8 เดือน โดยพบว่า การใช้สารเคลนบูเทอรอลมีผลต่อปริมาณเอ็นไซม์ที่อยู่ในรูป μ-calpain ในกล้ามเนื้อ Longissmus dorsi ที่ช่วงเวลา 3 และ 24 ชั่วโมงภายหลังสัตว์ตาย ซึ่งโคที่ได้รับสารเคลนบูเทอรอลทำให้มีปริมาณเอ็นไซม์ μ-calpain น้อยกว่าในโคกลุ่มควบคุม (กลุ่มโคที่ไม่ได้รับสารเคลนบูเทอรอล) แต่ไม่พบความแตกต่างในส่วนของเอ็นไซม์ m-calpain ซึ่งโคที่ได้รับสารเคลนบูเทอรอลในอาหารทำให้การทำงานของเอ็นไซม์ μ-calpain ลดลง ($P<0.05$) ถึง 31 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่โคที่ได้รับสารเคลนบูเทอรอลมีปริมาณเอ็นไซม์ calpastatin มากกว่าในโคกลุ่มควบคุม โดยการทำงานของเอ็นไซม์ calpastatin เพิ่มขึ้น 49 เปอร์เซ็นต์ และสัดส่วนของเอ็นไซม์ μ-calpain/calpastatin มีปริมาณลดลงถึง 53 เปอร์เซ็นต์ ($P<0.01$) ดังตารางที่ 2.6 แสดงให้เห็นว่าการใช้สารเบต้า-อะดรีเนอจิก อะโกนิสต์ มีผลต่อการลดลงของปริมาณเอ็นไซม์ย่อยโปรตีนในเนื้อสัตว์ในช่วงภายหลังสัตว์ตายตลอดจนระยะการบ่มซาก ซึ่งการลดลงของเอ็นไซม์ย่อยโปรตีนนั้น มีผลต่อความนุ่มของเนื้อ ทำให้เนื้อมีความนุ่มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับ Geesink *et al.* (1993) กล่าวว่า การใช้สารเบต้า-อะดรีเนอจิก อะโกนิสต์ สารดังกล่าวจะเป็นตัวที่ไปลดการทำงานของเอ็นไซม์ μ-calpain ในกล้ามเนื้อสัตว์ลง ขณะที่ Koohmaraie *et al.* (1991) พบว่าสารเบต้า-อะดรีเนอจิก อะโกนิสต์ ทำให้เนื้อโคมีความนุ่มลดลงเนื่องจากทำให้การสลายตัวของ myofibrillar protein ลดลง เป็นผลจากสารเบต้า-อะดรีเนอจิก อะโกนิสต์ ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเอ็นไซม์ m-calpain ลดลง และพบว่าสารดังกล่าวจะไปมีส่วนในการเพิ่มปริมาณเอ็นไซม์ calpastatin ซึ่งทำหน้าที่ในการขัดขวางการทำงานของเอ็นไซม์ calpain

**ตารางที่ 2.6** ผลของการใช้สารเบต้า-อะดรีเนอจิก อะโกนิสต์ เคลนบูเทอรอลต่อเอ็นไซม์ calpastatin และ μ -calpain ในกล้ามเนื้อ Longissimus dorsi ของโคเพศเมีย

| ลักษณะที่สังเกต | กลุ่มควบคุม | กลุ่มสารเคลนบูเทอรอล |
|---|---|---|
| μ-calpain ที่ 3 ชั่วโมง (ภายหลังสัตว์ตาย) | 0.071 | 0.049* |
| μ-calpain ที่ 24 ชั่วโมง (ภายหลังสัตว์ตาย) | 0.035 | 0.016** |
| m-calpain ที่ 3 ชั่วโมง (ภายหลังสัตว์ตาย) | 0.830 | 0.055 NS |
| m-calpain ที่ 24 ชั่วโมง (ภายหลังสัตว์ตาย) | 0.190 | 0.029 NS |
| calpastin ที่ 3 ชั่วโมง (ภายหลังสัตว์ตาย) | 0.840 | 0.125** |
| calpastin ที่ 24 ชั่วโมง (ภายหลังสัตว์ตาย) | 0.030 | 0.071* |
| μ-calpain/calpastatin ที่ 3 ชั่วโมง (ภายหลังสัตว์ตาย) | 0.840 | 0.390** |

NS = P>0.05, * = P<0.05, ** = P<0.01

ที่มา : ดัดแปลงจาก Luno *et al.* (1999)

Smith *et al.* (2007) ทำการศึกษาการเสริมฮอร์โมนในกลุ่ม anabolic steroids ที่มีผลต่อคุณภาพเนื้อของโคพันธุ์แองกัส โดยทำการแบ่งกลุ่มการให้ฮอรโมนออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มควบคุมไม่ทำการเสริมฮอร์โมนในอาหาร กลุ่มที่ 2 ทำการเสริมฮอร์โมน anabolic ชื่อทางการค้า Synovex-Plus (estradiol benzoate 28 mg และ trenbolone acetate 200 mg) โดยเสริมในอาหารที่มีระดับโปรตีน 12.5% มีระยะเวลาขุนนาน 108 วัน จากผลการศึกษาพบว่าในกลุ่มที่ทำการเสริมฮอร์โมนมีน้ำหนักซากอุ่นมากกว่ากลุ่มควบคุม มีค่าเท่ากับ 375.62 และ 338.84 กิโลกรัม ตามลำดับ และยังพบว่าในกลุ่มที่ทำการเสริมฮอร์โมนมีขนาดพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันใหญ่กว่ากลุ่มควบคุม มีค่าเท่ากับ 612 และ 566 ตามลำดับ (500=ระดับน้อย และ 600=ระดับปานกลาง) โดยมีค่าแรงตัดผ่านเนื้อที่ 24 ชั่วโมงภายหลังสัตว์ตายในกลุ่มควบคุมมีค่าแรงตัดผ่านเนื้อต่ำกว่ากลุ่มที่ทำการเสริมฮอร์โมน (P<0.01) (2.68 และ 3.26 กก./ลบ.ซม.)

### 2.6.11 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อ

โดยทั่วไปแล้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อจะเล็กหรือใหญ่ขึ้นอยู่กับอิทธิพลของหลายปัจจัย เช่น ชนิดของสัตว์ เพศ อายุ ระดับโภชนะ (ชัยณรงค์ ดันธพนิต. 2529)ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อในสัตว์เพศผู้ไม่ตอนจะใหญ่กว่าเพศผู้ตอนและเพศเมียและเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อแกะมีขนาดเล็กกว่าของ สุกร หรือโค

Tuma *et al.* (1962) รายงานว่าในกล้ามเนื้อ Logissimus dorsi ของโคพันธุ์เฮียร์ฟอร์ด เมื่อโคมีอายุเพิ่มขึ้นขนาดของเส้นใยกล้ามเนื้อมีขนาดใหญ่เพิ่มขึ้น จาก 53.9 ไมครอน เมื่อมีอายุ 6 เดือน เพิ่มขนาดเป็น 65.1 ไมครอน เมื่อมีอายุได้ 24 เดือน

ปิยะดา ทวิชศรี (2544) ศึกษาอิทธิพลของชนิดสัตว์เคี้ยวเอื้องและอัตราการเจริญเติบโตที่มีผลต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อในกล้ามเนื้อสันนอก โดยเป็นสัตว์เคี้ยวเอื้องเพศผู้ไม่ตอน คือ โคนมลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชี่ยน (ระดับเลือด 75 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป) โคเนื้อพันธุ์กำแพงแสน (โคพื้นเมือง 25% x บราห์มัน 25% x ชาโรเล่ส์ 50%) และกระบือปลัก ที่มีอัตราการเจริญเติบโต 0.5 และ 1.0 กิโลกรัม/วัน (เลี้ยงด้วยอาหารข้นในระดับ 1.0 และ 1.75 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ตามลำดับ) มีน้ำหนักเข้าฆ่าประมาณ 400 กิโลกรัม โดยพบว่าโคนมลูกผสม โฮลสไตน์ฟรีเชี่ยน มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อน้อยกว่ากระบือปลักและโคเนื้อพันธุ์กำแพงแสน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 67.35, 71.07 และ 78.23 ไมครอน ตามลำดับ ($P<0.01$) และพบว่าโคเนื้อพันธุ์กำแพงแสนมีแนวโน้มค่าแรงตัดผ่านเนื้อสูงกว่าโคนมลูกผสมและกระบือปลัก ทั้งนี้ในสัตว์เคี้ยงเอื้องที่มีอัตราการเจริญเติบโต 1.0 กิโลกรัม/วัน มีแนวโน้มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อมากกว่ากลุ่มที่มีอัตราการเจริญเติบโต 0.5 กิโลกรัม/วัน

จันทร์พร เจ้าทรัพย์ (2538) ได้ทำการศึกษาในกล้ามเนื้อสันนอกของกระบือและโคขุนลูกผสมบราห์มันอายุน้อย โดยทั้งโคและกระบือเริ่มทำการขุนเมื่ออายุประมาณ 1-2 ปี เป็นเวลา 8 เดือน แบ่งระบบการเลี้ยงออกเป็น 3 กลุ่ม คือ ที่เลี้ยงด้วยอาหารข้นระดับ 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวและอาหารหยาบให้กินเต็มที่ และกลุ่มสุดท้ายเลี้ยงด้วยหญ้าเพียงอย่างเดียว พบว่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดของสัตว์เคี้ยวเอื้อง ในขณะที่พบว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารข้นในระดับ 1.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อมากกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารข้นในระดับ 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว และพบว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารข้นระดับ 1 และ1.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อมากกว่ากลุ่มที่กินหญ้าเพียงอย่างเดียว โดยมีค่าเท่ากับ 63.72, 57.71 และ 51.20 ไมครอน ตามลำดับ ($P<0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับ จุฑารัตน์ และคณะ (2545) ทำการศึกษาในโคนมลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชี่ยน (โฮลสไตน์ 75% ขึ้นไป) เพศผู้ไม่ตอน ที่เลี้ยงด้วยอาหารข้น 2 ระดับ คือ 1.0 และ 1.75 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว มีน้ำหนักเข้าฆ่าประมาณ 400 กิโลกรัม พบว่าระดับอาหารข้นมีอิทธิพลต่อขนาดเส้นใยกล้ามเนื้อ โดยกลุ่มที่ได้รับอาหารข้นในระดับ 1.75 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อมากกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารข้นในระดับ 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว โดยมีค่าเท่ากับ 69.65 และ 64.35 ไมครอน ตามลำดับ ($P<0.05$)

**2.6.12 ชนิดของกล้ามเนื้อ**

Dransfield (1994a) กล่าวว่า ชนิดของกล้ามเนื้อมีอิทธิพลอย่างยิ่งต่อคุณภาพของเนื้อ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านของความนุ่ม จากการทดลองของ Rhee *et al.* (2004) ได้ทำการศึกษาในโคลูกผสมชาโรเล่ส์ x MARC III ถึงความสัมพันธ์ของความนุ่มกับกล้ามเนื้อ ทั้ง 11 ชนิด ได้แก่ กล้ามเนื้อ Longissimus (สันนอก), กล้ามเนื้อ Psoas major (สันใน), กล้ามเนื้อ Gluteus medius (สันสะโพก), กล้ามเนื้อ Semimembranosus (สะโพกพับใน), กล้ามเนื้อ Adductor (สะโพกพับนอกเนื้อหางจระเข้), กล้ามเนื้อ Biceps femoris (สะโพกพับนอกเนื้อจระเข้), กล้ามเนื้อ Semitendinosus (สะโพกเนื้อหมอน), กล้ามเนื้อ Rectus femoris (สะโพกเนื้อลูกมะพร้าว), กล้ามเนื้อ Triceps brachii (ไหล่), กล้ามเนื้อ Infraspinstus (ไหล่ส่วนเนื้อใบพาย), และกล้ามเนื้อ Supraspinatus (ไหล่เนื้อสันในเทียมที่ติดอยู่กับกระดูกใบพาย) ดังตารางที่ 2.7 และพบว่ากล้ามเนื้อ Psoas major และ Infraspinstus มีค่าแรงตัดผ่านเนื้อต่ำและมีคะแนนความนุ่มมากกว่ากล้ามเนื้อชนิดอื่น ($P<0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าความยาวของซาร์โคเมียร์ของกล้ามเนื้อ Psoas major ยาวมากที่สุด และความยาวรองลงมาคือกล้ามเนื้อ Triceps brachii, Infraspinstus Rectus femoris และ Semitendinosus ซึ่งมีความยาวซาร์โคเมียร์ยาวมากกว่า 2 ไมโครเมตร ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Shackelford *et al.* (1995) พบว่า กล้ามเนื้อ Psoas major และ Infraspinstus ของโคลูกผสมพันธุ์เฮียร์ฟอร์ด แองกัส และบราห์มัน มีความนุ่มมากกว่ากล้ามเนื้อชนิดอื่น ($P<0.05$) และ Dransfield (1994a) พบว่ากล้ามเนื้อ Psoas major มีความนุ่มสูงสุด เนื่องจากมีปริมาณคอลลาเจนที่สะสมในกล้ามเนื้อต่ำและมีความยาวของซาร์โคเมียร์เฉลี่ยประมาณ 3.4 ไมโครเมตร

ตารางที่ 2.7 แสดงค่าเฉลี่ยที่ได้จากคะแนนทดสอบประสาทสัมผัสจากการชิม ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ และความยาวของซาร์โคเมียร์ ในกล้ามเนื้อแต่ละชนิด

| ชนิดกล้ามเนื้อ | คะแนนทดสอบประสาทสัมผัสจากการชิม[a] | ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (กิโลกรัม) | ความยาวซาร์โคเมียร์ (ไมโครเมตร) |
|---|---|---|---|
| Psoas major | $7.4^{f}$ | $2.95^{i}$ | $2.94^{c}$ |
| Infraspinstus | $5.9^{g}$ | $3.27^{h}$ | $2.25^{e}$ |
| Rectus femoris | $4.9^{j}$ | $3.86^{g}$ | $2.19^{f}$ |
| Biceps femoris | $3.7^{m}$ | $3.87^{g}$ | $1.81^{j}$ |
| Triceps brachii | $5.2^{i}$ | $3.98^{g}$ | $2.41^{d}$ |
| Longissimus | $5.7^{h}$ | $3.99^{g}$ | $1.80^{j}$ |
| Semitendinosus | $4.1^{l}$ | $4.29^{f}$ | $2.12^{g}$ |
| Gluteus medius | $4.7^{k}$ | $4.44^{ef}$ | $1.66^{k}$ |
| Semimembranosus | $4.2^{l}$ | $4.64^{de}$ | $1.80^{j}$ |
| Adductor | $4.3^{l}$ | $4.73^{cd}$ | $1.90^{i}$ |
| Supraspinatus | $4.1^{l}$ | $4.95^{c}$ | $1.94^{h}$ |

[a] การทดสอบประสาทสัมผัสจากการชิม โดยมีการให้ระดับคะแนน 8 ระดับ (1=เหนียวที่สุด และ 8=นุ่มที่สุด)

$^{c,d,e,f,g,h,i,j,k,l,m}$ = ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ที่มา : ดัดแปลงมาจาก Rhee *et al.* (2004)

### 2.6.13 การแขวนซากและการกระตุ้นซากด้วยไฟฟ้า

การแขวนซากแบบปกติจะแขวนที่เอ็นร้อยหวาย (Achilles tendon) ซึ่งแนวของเส้นใยกล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อ เช่น psoas จะถูกขึงในแนวดิ่ง แต่กล้ามเนื้อส่วนใหญ่จะมีแนวของเส้นใยกล้ามเนื้ออยู่ตามแนวนอน ดังนั้นการเปลี่ยนจุดที่แขวนซากที่ตำแหน่งกระดูกเชิงกรานหรือเรียกว่า pelvic suspension หรือ tenderstretch ทำให้กล้ามเนื้อส่วนใหญ่ถูกยืดตามแนวเส้นใยกล้ามเนื้อได้มากขึ้น ทำให้มีผลต่อการหดตัวของซาร์โคเมียร์เมื่อกล้ามเนื้อเข้าสู่สภาวะ rigor mortis ไม่มากเท่ากับการแขวนซากที่เอ็นร้อยหวาย (จุฑารัตน์ เศรษฐกุล. 2539) ซึ่ง Owens and Gardner (1999) รายงานว่าในกล้ามเนื้อ Longissimus Dorsi ที่โคถูกแขวนซากที่ตำแหน่งกระดูกเชิงกราน พบว่าน้ำหนักซากและค่าแรงตัดผ่านเนื้อเพิ่มขึ้น การแขวนซากที่ตำแหน่งกระดูกเชิงกรานเป็นการช่วยทำให้กล้ามเนื้อ Longissimus ยืดขยายออกได้ดี

Sorheim *et al.* (2001) ได้ทำการศึกษาผลของการแขวนซากที่ตำแหน่งกระดูกเชิงกรานและที่เอ็นร้อยหวาย ของโคพันธุ์นอร์เวย์เจียน เรด (Norwegian Red) อายุ 16-19 เดือน และมีน้ำหนักซาก 293 กิโลกรัม โดยทำการลดอุณหภูมิของซากลง 2 วิธี คือ 1) ลดอุณภูมิซากลงอย่างรวดเร็ว (Fast chilling rate) ใช้อุณหภูมิที่ 5 °C และ2) ลดอุณภูมิซากลงปานกลาง (Medium chilling rate)

โดยใช้อุณหภูมิที่ 9 °C เป็นเวลา 10 ชั่วโมงภายหลังสัตว์ตาย ต่อมาทำการบ่มกล้ามเนื้อ Longissmus dorsi เป็นเวลา 8 วัน ที่อุณหภูมิ 4 °C พบว่า ทั้งการลดอุณหภูมิซากลงอย่างรวดเร็วและปานกลาง ความยาวของซาร์โครเมียร์ ของซากที่ทำการแขวนซากตำแหน่งกระดูกเชิงกราน มีความยาวมากกว่าการแขวนซากที่ตำแหน่งเอ็นร้อยหวาย ($P<0.05$) ซึ่งการลดอุณภูมิซากลงอย่างรวดเร็วความยาวของซาร์โครเมียร์เพิ่มขึ้น 23 เปอร์เซ็นต์ และการลดอุณภูมิซากลงปานกลางในการแขวนซากที่ตำแหน่งกระดูกเชิงกราน พบว่ากล้ามเนื้อ Longissmus dorsi ถูกยืดออกยาวเพิ่มขึ้น 9 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อกล้ามเนื้อถูกยืดออกค่าแรงตัดผ่านเนื้อจากการแขวนซากตำแหน่งกระดูกเชิงกรานที่ลดอุณภูมิซากลงอย่างรวดเร็ว ค่าแรงตัดผ่านเนื้อลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการแขวนซากที่ตำแหน่งเอ็นร้อยหวาย ($P<0.05$) ซึ่งค่าแรงตัดผ่านเนื้อลดลง 41 เปอร์เซ็นต์

การแขวนซากที่ตำแหน่งกระดูกเชิงกรานหรือเรียกว่า pelvic suspension หรือ tenderstretch ทำให้กล้ามเนื้อส่วนใหญ่ถูกยืดตามแนวเส้นใยกล้ามเนื้อได้มากขึ้น ซึ่งกล้ามเนื้อส่วนใหญ่จะมีแนวของเส้นใยกล้ามเนื้ออยู่ตามแนวนอนทำให้มีผลต่อการหดตัวของซาร์โคเมียร์ เมื่อกล้ามเนื้อเข้าสู่สภาวะ rigor mortis ไม่มากเท่ากับการแขวนซากที่เอ็นร้อยหวาย (จุฑารัตน์ เศรษฐกุล. 2539) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Anstrom *et al.* (2006) ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบการแขวนซากที่ตำแหน่งกระดูกเชิงกรานกับการแขวนซากแขวนที่เอ็นร้อยหวายที่มีผลต่อความนุ่ม ในโคพันธุ์เรด (Red) และ ไวท์ สวีดิช (White Swedish) พบว่าการแขวนซากที่กระดูกเชิงกรานรูปร่างของกล้ามเนื้อ Semimembranosus เรียบแบนและยาวขึ้นเนื่องจากถูกยืดออกตามแนวเส้นใยกล้ามเนื้อ ซึ่งกล้ามเนื้อมีความยาวเพิ่มขึ้น 38 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่แขวนซากตำแหน่งเอ็นร้อยหวาย ดังภาพที่ 2.4

**ภาพที่ 2.4** การยืดตัวของกล้ามเนื้อ Semimembranosus ด้านซ้ายจากการแขวนซากที่ตำแหน่งกระดูกเชิงกราน และด้านขวาจากการแขวนซากแขวนที่เอ็นร้อยหวาย

ที่มา: Anstrom *et al.* (2006)

เมื่อกล้ามเนื้อถูกยืดออกส่งผลให้ความยาวของซาร์โครเมียร์เพิ่มขึ้น ($P<0.001$) และพบว่าในการแขวนซากแขวนที่เอ็นร้อยหวายและการแขวนซากที่ตำแหน่งกระดูกเชิงกรานมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนภายในตัวอย่างของความยาวซาร์โครเมียร์ลดลงจาก 11.3 เปอร์เซ็นต์ เป็น 6.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ($P<0.001$) ค่าแรงตัดผ่านเนื้อลดลง 21 เปอร์เซ็นต์ จาก 67.7 นิวตัน เป็น 53.3 นิวตัน และความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity, WHC) เพิ่มสูงขึ้น ($P<0.05$) เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำในระหว่างการบ่ม (purge during storage) และเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำในระหว่างการทำให้สุก (cooking loss) ลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

การใช้กระแสไฟฟ้ากระตุ้นซากอุ่นทันทีภายหลังสัตว์ตาย ได้เริ่มนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์ เพื่อเพิ่มความนุ่ม ซึ่ง Hwang and Thompson (2001) รายงานว่าการกระตุ้นซากด้วยแรงดันไฟฟ้าสูง (high voltage stimulation, HV) โดยทั่วไปมีประสิทธิภาพในการปรับปรุงความนุ่มของเนื้อ และในอุตสาหกรรมการผลิตเนื้อ การกระตุ้นซากด้วยแรงดันไฟฟ้าต่ำ (low voltage stimulation, LV) (ประมาณ 20 - 90 โวลต์ ขนาดของกระแสไฟฟ้าน้อยกว่าเท่ากับ 1 แอมแปร์ ใช้เวลาในการกระตุ้น เป็นรอบหรือต่อเนื่อง 15-20 วินาที) จะใช้โดยตรงภายหลังจากการทำให้สัตว์สลบ ขณะที่การกระตุ้นซากด้วยแรงดันไฟฟ้าสูง (มากกว่าเท่ากับ 550 โวลต์ ขนาดของกระแสไฟฟ้าไม่ประมาณ 5-15 แอมแปร์ ใช้เวลาในการกระตุ้น 15-20 เป็นเวลา 2 นาที เว้นระยะระหว่างรอบ รอบละ 1 วินาที) จะใช้ภายหลังกระบวนการฆ่า โดยทั่วไปใช้ภายหลังสัตว์ตาย 20-60 นาที และในการกระตุ้นซากด้วยแรงดันไฟฟ้าสูงและต่ำ ประมาณ 30 นาที ภายหลังสัตว์ตาย พบว่าชนิดของการกระตุ้นมีความแตกต่างกันเล็กน้อย ในอัตราการลดลงของ pH และความนุ่มของเนื้อ ซึ่งชนิดของการกระตุ้นมีผลกระทบต่อความนุ่มของเนื้อเล็กน้อย (Shaw *et al.* 1996)

การกระตุ้นซากด้วยกระแสไฟฟ้าทันทีหลังเสร็จสิ้นกระบวนการฆ่า เป็นการช่วยเร่งการปล่อย $Ca^{2+}$ ออกจาก sarcoplasmic reticulum และเร่งการใช้พลังงานที่มีอยู่ในกล้ามเนื้อให้หมดอย่างรวดเร็ว ทำให้ค่า pH ลดลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เกิด rigor mortis ได้ในเวลาอันรวดเร็ว ซึ่งจะมีผลทำให้กล้ามเนื้อเกิดการหดตัวอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ยังช่วยลดระยะเวลาในการบ่มซากทำให้เนื้อมีความนุ่มเพิ่มขึ้นภายในเวลา 2 ถึง 3 วัน โดยไม่แตกต่างจากการบ่มซากในเวลา 2 ถึง 3 สัปดาห์ (Swatland. 1997)

โดย จุฑารัตน์ เศรษฐกุล (2539) กล่าวว่า การใช้กระแสไฟฟ้ากระตุ้นซากสามารถป้องกันการเกิด cold shortening และเร่งการเกิด rigor mortis ให้เร็วขึ้น ซึ่งจะมีผลทำให้ขบวนการ autolysis ที่เกิดขึ้นโดยการทำงานของเอ็นไซม์ภายในเนื้อระหว่างการบ่มเนื้อ เกิดขึ้นได้เร็วขึ้น ทำให้เนื้อมีความนุ่มในระยะสั้นลง จากการใช้กระแสไฟฟ้ากระตุ้นซากยังมีผลโดยตรงที่ทำให้เนื้อนุ่มขึ้น โดยการฉีกขาดของเส้นใยกล้ามเนื้อ และการกระตุ้นด้วยไฟฟ้ามีผลทำให้เกิดการแตกตัวและการฉีกขาดของ lysosomal membrane ทำให้เกิดการปลดปล่อย lysosomal enzyme สอดคล้องกับ Duston *et al.*

(1980) รายงานว่า การแตกตัวของ lysosomal membrane เป็นผลจากการใช้กระแสไฟฟ้ากระตุ้นซาก ยิ่งในสภาวะที่เป็นกรดอย่างรวดเร็ว ทำให้เอ็นไซม์ cathepsin ที่อยู่ใน lysosomal ไหลออกมาและย่อยสลายเส้นใยกล้ามเนื้อ และเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ทำให้เนื้อนุ่มขึ้น

ในการศึกษาน้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนในเนื้อโดยเทคนิค SDS-PAGE เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงถึงการย่อยของโปรตีน พบว่าซากโคที่ถูกกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า พบว่าเกิดการสลายตัวของ troponin-T ทำให้มีปริมาณลดลงและเกิดเป็นโปรตีน polypeptide สายสั้นขนาด 30 kDa มีปริมาณเพิ่มขึ้น และในกล้ามเนื้อพบว่าจะมีรอยแตกของเซลล์เนื้อเยื่อเป็นช่วงๆ ตลอดเส้นใยกล้ามเนื้อ ซึ่งแสดงว่าการกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มความนุ่มของเนื้อโค โดยการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางกายภาพของกล้ามเนื้อ (Ho *et al.* 1997)

กล้ามเนื้อสันนอกหลังจากกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า เมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนทันที จะพบ Z-line เกิดการหดตัวบริเวณ I-band จะแคบกว่าพวกที่ไม่ได้รับการกระตุ้น แต่ทั้งนี้ความยาวซาร์โคเมียร์จะไม่แตกต่างกันทางสถิติระหว่างเนื้อที่ได้รับและไม่ได้รับการกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า ส่วนกล้ามเนื้อที่ถูกกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้าแล้ว เมื่อนำไปเก็บที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง จะพบว่า Z-line มีการแตกออก ซึ่งไม่พบในเนื้อที่ไม่ถูกกระตุ้น

ภายหลังจากสัตว์ตายที่ 24 ชั่วโมง ซากที่ได้รับการกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า เมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนจะพบว่ามีรอยแยกและแตกของเซลล์เนื้อเยื่อเป็นช่วงๆ การขาดหายไปของ I-band, A-band หรือ Z-line และการฉีกขาดของเส้นใยฝอยทำให้เกิดที่ว่างบริเวณ Z-line เพราะเนื่องจากเกิดการทำลายโครงสร้างทางกายภาพของเส้นใยกล้ามเนื้อและการสลายตัวของโปรตีนในเนื้อที่ได้รับการกระตุ้น จึงทำให้เนื้อนุ่มขึ้น (Taylor and Cornell. 1985) ถึงแม้ว่าการใช้ไฟฟ้ากระตุ้นซากจะมีผลทางบวกในด้านความนุ่มของเนื้อ แต่ในการกระตุ้นซากใช้เวลานานรวมกับการลดอุณหภูมิซากลงอย่างช้าๆ อาจมีผลเสียต่อความนุ่มของเนื้อ นอกจากนี้ความสามารถในการอุ้มน้ำ และค่าความคงตัวของสีอาจจะมีผลทางด้านลบด้วย (Geesink *et al.* 2001)

## 2.7 อิทธิพลบางประการที่มีผลต่อค่าสีของเนื้อ

สีของเนื้อสดที่จำหน่ายเป็นปัจจัยสำคัญที่ผู้บริโภคใช้เป็นตัวตัดสินความสดของเนื้อ และเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ผู้บริโภคตัดสินใจที่จะเลือกซื้อเนื้อ เพื่อใช้ในการประกอบอาหาร โดยผู้บริโภคต้องการเนื้อที่มีสีแดงสดและในการนำเนื้อวางจำหน่ายเป็นเวลานาน จะทำให้สีแดงสดของเนื้อลดลง สีของเนื้อเปลี่ยนไปสีน้ำตาล ซึ่งเป็นขบวนการปกติในการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อ โดยสีเป็นลักษณะทางกายภาพอย่างแรกที่ผู้บริโภคสามารถมองเห็นได้ ดังนั้นเมื่อมองเห็นสีของเนื้อไม่เป็นไปตามที่ต้องการ ซึ่งการที่ผู้บริโภคจะตัดสินใจว่าจะเลือกซื้อหรือไม่ซื้อเนื้อนั้น มักจะขึ้นกับความแตกต่างสีของเนื้อ (Daniel. 2002) และสีที่มองเห็นเป็นผลมาจาก 1) hue คลื่นแสงที่ตา

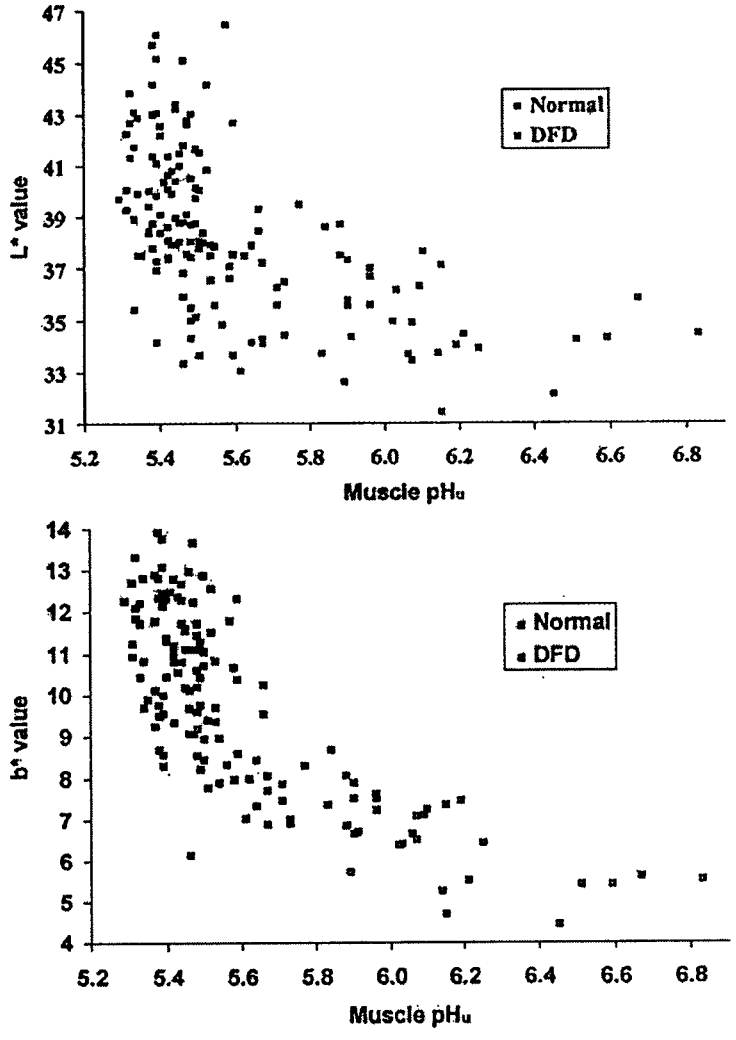
มนุษย์มองเห็นได้เรียกเป็นสีต่างๆ (แดง, ม่วง, เขียว, และ น้ำเงิน ฯลฯ) 2) chroma และ saturation คือ ความเข้มของสีนั้นๆ และ 3) value หรือ lightness คือการสะท้อนของสี ความสดใสของสี (สัญชัย จตุรสิทธา. 2543)

**2.7.1 การเปลี่ยนแปลงของค่า pH ในเนื้อ**

สัตว์ที่ไม่ทนต่อความเครียด โดยทั่วไปสัตว์พวกนี้มักมีอุณหภูมิร่างกายสูง จะเร่งอัตราความเร็วในการสลาย glycogen ทำให้ค่า pH ของกล้ามเนื้อลดลงเร็วภายใน 1 ชั่วโมง ภายหลังสัตว์ตาย วัดค่า pH เมื่อชั่วโมงแรกภายหลังฆ่าได้ < 5.8 ส่งผลให้เกิด PSE (pale soft exudative) ในเนื้อมีลักษณะสีซีดน้ำเยิ้มและเหลว ซึ่งก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เนื้อค่อนข้างนิ่มและอ่อนตัว การที่มีน้ำเยิ้มออกมาบริเวณผิวหน้าของเนื้อทำให้แสงที่มาตกกระทบผิวเนื้อสะท้อนกลับไปได้มาก จึงทำให้เห็นว่าเนื้อมีสีซีดจางกว่าปกติ ไม่ใช่เพราะเนื้อ PSE มีเม็ดสีน้อยกว่าเนื้อปกติ มักพบในสุกร แต่พบน้อยมากในเนื้อโค แกะ ซึ่งบางครั้งสัตว์เหล่านี้ถ้าสามารถผ่านความเครียดนี้ไปได้ อาจจะให้เนื้อที่สีเข้ม แน่นและผิวแห้ง ในกรณีของสัตว์ทนเครียดนั้น จะสามารถรักษาอุณหภูมิปกติและสภาวะของ homeostasis ของกล้ามเนื้อได้ จากการสลาย glycogen ซึ่งอัตราความเร็วของกระบวนการไกลโคไลซิสช้ามาก จึงทำให้ค่า pH ของกล้ามเนื้อมีค่าสูง สามารถจับน้ำไว้ได้มากกว่าปกติทำให้เนื้อมีความอุ้มน้ำสูง และสีจึงเข้มจัดเพราะไมโอโกลบินไม่ได้ถูกปล่อยออกไปมาก ในขณะเดียวกันผิวหน้าก็จะแห้ง จึงเป็นเนื้อที่เรียกว่า DFD (dark firm dry) นี้มักเกิดขึ้นในโค วัดค่า pH ที่ 24 ชั่วโมงหลังการฆ่า มีค่า > 6.0 (ชัยณรงค์ คันธพนิต. 2529)

ความสามารถของไมโอโกลบินในการจับกับออกซิเจนจะเสียสภาพไปเมื่อโกลบินโปรตีนเกิดการเสื่อมสภาพไป กรณีของเนื้อ PSE ค่า pH ของกล้ามเนื้อจะลดต่ำลงอย่างมากในเวลาอันรวดเร็วขณะที่อุณหภูมิของซากยังสูงอยู่เป็นเหตุทำให้โปรตีนเกิดการเสื่อมสภาพไปและชักนำให้เกิดการออกซิเดชั่น (Oxidation) ของ Ferrous form ($Fe^{2+}$)ในฮีมของไมโอโกลบินกลายเป็น Ferric form ($Fe^{3+}$) ทำให้เนื้อมีสีน้ำตาล สำหรับเนื้อ DFD เกิดจากเนื้อสัตว์ที่มีค่า pH สูงจนทำให้ความสามารถในการจับน้ำของโปรตีนสูง ดังนั้นน้ำในเนื้อส่วนใหญ่จะถูกจับไว้ภายในกล้ามเนื้อและเหล็กภายในฮีมยังคงอยู่ในสภาวะที่เป็น $Fe^{2+}$ จึงทำให้เนื้อมีสีแดงคล้ำ (Warriss. 2000)

Wulf and Wise (1999) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าสีของเนื้อในเนื้อสันนอกของซากโคขุนลูกผสมเพศผู้ตอน จำนวน 145 ตัว โดยมีเกณฑ์ค่า pH ที่ 24 ชั่วโมงภายหลังสัตว์ตาย ที่มีผลต่อค่า L* และ b*ของเนื้อ ซึ่งในเนื้อปกติ ค่า pH 5.3-5.7 และเนื้อ DFD ค่า pH 5.6-5.8 จากการทดลองพบว่าค่าสี L* และ b*ของเนื้อที่มีค่า pH ช่วง 5.3-5.7 มีค่าสูงกว่าเนื้อที่มีค่า pH ช่วง 5.6-5.8 ดังภาพที่ 2.5




**ภาพที่ 2.5** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า L* และ b* กับค่า pH สุดท้าย (pHu)

**ที่มา :** Wulf and Wise (1999)

Wulf and Page (2000) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีต่อคุณภาพเนื้อและค่า pH ที่ 24 ชั่วโมงภายหลังสัตว์ตาย ที่มีผลต่อค่าแรงตัดผ่านเนื้อที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน โดยใช้เนื้อโคที่พบทั่วไปในประเทศสหรัฐอเมริกา จำนวน 100 ตัว พบว่าค่า pH ที่ 24 ชั่วโมงภายหลังสัตว์ตาย เท่ากับ 5.54 ค่าสี L* เท่ากับ 39.37 ค่า a* เท่ากับ 24.30 และส่วนค่า b* มีค่าเท่ากับ 10.55 และพบว่าค่าแรงตัดผ่านเนื้อที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน ของกล้ามเนื้อ Longissimus, Psoas major Rectus femoris และ Semitendinosus เท่ากับ 4.15, 3.27, 3.72 และ 4.22 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าค่า pH มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (r = 0.29) ค่า L* a* และ b* มีความสัมพันธ์ในทางลบกับค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (r = -0.42, -0.39 และ -0.41 ตามลำดับ) และพบว่า ค่า b* ที่สูงกว่า 9.99 และค่า L* ที่มากกว่า 37.96 เนื้อจะมีความนุ่มเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ Page *et al.* (2001) รายงานว่าค่าสีของเนื้อ

(L* a* และ b*) มีความสัมพันธ์ทางลบกับค่า pH ของเนื้อ ซึ่งพบว่าค่า a* และ b* มีความสัมพันธ์กับค่า pH มากกว่าค่า L* ซึ่งค่าความสัมพันธ์ทางลบระหว่างค่าสีของเนื้อและค่า pH เป็นผลมาจากค่าสีในกล้ามเนื้อที่เกิดจากน้ำที่เป็นอิสระเกิดการสะท้อนกลับของแสง และการเกิด oxygenation ของ myoglobin และเมื่อค่า pH ในเนื้อสูงขึ้น โปรตีนสามารถจับกับน้ำได้มากและมีน้ำที่เป็นอิสระออกมาจากก้อนเนื้อจำนวนน้อย ดังนั้นเมื่อเนื้อที่มีค่า pH สูง เนื้อจะมีสีคล้ำเพราะน้ำที่เป็นอิสระออกซึมออกมาได้น้อย ทำให้มีการสะท้อนกลับของแสงน้อยเช่นกัน (Ledward *et al.* 1992)

**2.7.2 พันธุ์**

Page *et al.* (2001) ทำการสำรวจค่าสีของเนื้อโคที่พบทั่วไปในประเทศสหรัฐอเมริกา จำนวน 1000 ตัว โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 กลุ่มสายพันธุ์ 1) กลุ่มสายพันธุ์โคทั่วไปที่เลี้ยงในอเมริกา (Native) จำนวน 887 ตัว 2) กลุ่มสายพันธุ์โคนม (Dairy) จำนวน 48 ตัว และ3) กลุ่มสายพันธุ์อเมริกัน บราห์มัน จำนวน 65 ตัว ซึ่งจากการสำรวจค่าสีของเนื้อพบว่าในกลุ่มสายพันธุ์โคพื้นเมืองอเมริกามีค่า L*=39.6, a*=25.1 และ b*=11.0 กลุ่มสายพันธุ์โคนม L*=37.6 a*=23.4 และ b*=9.7 และกลุ่มสายพันธุ์อเมริกันบราห์มันมีค่า L*39.89, a*=25.2 และ b*=11.1

Wulf *et al.* (1997) ทำการศึกษาคุณภาพของเนื้อจากโคสายพันธุ์ *Bos taurus* และโคสายพันธุ์ *Bos indicus* พบว่าในโคสายพันธุ์ *Bos taurus* มีค่าคะแนนไขมันแทรกสูงกว่า *Bos indicus* ค่าแรงตัดผ่านเนื้อต่ำกว่าและเนื้อมีความนุ่มมากกว่า ส่วนค่าสีพบว่าเนื้อโคสายพันธุ์ *Bos taurus* มีค่าความสว่าง (L*) สูงกว่าโคสายพันธุ์ *Bos indicus* (37.60 และ 36.39 ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ค่าสีแดง (a*) ในโคสายพันธุ์ *Bos indicus* มีค่าสูงกว่าโคสายพันธุ์ *Bos taurus* (23.7 และ 23 ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ซึ่งพบว่าค่า a* ของกลุ่มโคสายพันธุ์ *Bos indicus* นั้นมีปริมาณเม็ดสีมากกว่าโคสายพันธุ์ *Bos Taurus*

**2.7.3 อายุ**

Ozawa *et al.* (2000) ได้ทำการศึกษาคุณภาพเนื้อของโคพันธุ์เจเปนนีส แบลค (Japanese Black) ในกล้ามเนื้อสันนอก Longissimus Thoracis ที่จำแนกออกเป็น 3 กลุ่มตามอายุเข้าฆ่า ได้แก่ กลุ่ม A (โคเข้าฆ่าอายุ 31 เดือน) กลุ่ม B (โคเข้าฆ่าอายุ 24 เดือน) และ C (โคเข้าฆ่าอายุ 25 เดือน) โดยพบว่าโคในกลุ่ม A มีค่าความสว่างของเนื้อ (L*) และค่าสีเหลืองของเนื้อ (b*) สูงกว่ากลุ่มอื่นๆ นอกจากนี้ยังพบว่าเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด red fiber ($\beta R$, $\alpha W$) มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าสีแดงของเนื้อ (a*) อีกด้วย ทั้งนี้ค่าสีของเนื้อมีความสัมพันธ์กับปริมาณไขมันแทรกภายในกล้ามเนื้อสัตว์ โดยเฉพาะค่า b* ซึ่งเป็นผลมาจากการที่กล้ามเนื้อนั้นๆ มีการสะสมของไขมันแทรกมากเนื้อจึงมีความนุ่ม โดย Wulf *et al.* (1997) รายงานว่า ค่า b* สามารถใช้เป็นตัวทำนายความนุ่มของเนื้อได้อย่างแม่นยำมากที่สุด ซึ่งค่า b* จะมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับระดับของ marbling score และมี

ความสัมพันธ์ทางลบกับค่าแรงตัดผ่านเนื้ออย่างมีนัยสัมพันธ์ทางสถิติ ($P<0.05$) ซึ่งพบว่าค่า b* มีค่าเพิ่มมากขึ้นหรือมีระดับไขมันแทรกเพิ่มมากขึ้น ความนุ่มของเนื้อก็จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Goni *et al.* (2007) ที่ได้ทำการศึกษาค่าสีในเนื้อโคพื้นเมืองประเทศสเปน จากกล้ามเนื้อสันนอก โดยพบว่าค่า b* มีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับค่าแรงตัดผ่านเนื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ Wariss (2000) กล่าวว่า ในสัตว์ที่มีอายุมากจะมีเม็ดสี myoglobin มากกว่าสัตว์ที่มีอายุน้อย เนื้อของสัตว์ที่มีอายุมากจึงมีสีแดงเข้มมากกว่า และยังพบอีกว่าความเข้มข้นของเม็ดสี myoglobin และ hemoglobin ในสัตว์แต่ละชนิดจะแตกต่างกัน

**ตารางที่ 2.8** แสดงคุณภาพเนื้อของโคพันธุ์เจเปนนีส แบลค ในกล้ามเนื้อสันนอก (Longissimus Thoracis) ที่จำแนกออกเป็น 3 กลุ่มตามอายุเข้าฆ่า

| กลุ่ม | n | Fat content | ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ | ค่าสีของเนื้อ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | (กก./ลบ.ซม.) | L* | a* | b* |
| A | 11 | 27.6[a] | 5.1 | 48.2[a] | 22.9 | 16.9[a] |
| B | 16 | 22.6[b] | 6.3 | 44.9[b] | 22.2 | 15.4[b] |
| C | 8 | 12.5[c] | 6.2 | 43.3[b] | 22.3 | 15.5[b] |

[a,b,c] = ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Ozawa *et al.* (2000)

### 2.7.4 ชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อ

Klont *et al.* (1998) ทำการศึกษารวบรวมงานวิจัยหลายเรื่องที่เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อต่อคุณภาพเนื้อ พบว่าชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อโค โดยเส้นใยกล้ามเนื้อพวก red fiber หรือ slow–twitch มีองค์ประกอบของไมโทคอนเดรียและไมโอโกลบินสูง และมีหลอดเลือดฝอย จำนวนมาก ทำให้สามารถจับกับออกซิเจนได้สูงทำให้ถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย เกิด metmyoglobin ทำให้สีของเนื้อเปลี่ยนเป็นสีคล้ำเร็วกว่า

### 2.7.5 ระบบการเลี้ยง

Sami *et al.* (2004) ศึกษาระบบการเลี้ยงแบบ intensive และ extensive และระยะเวลาการขุนที่ 100 และ 138 วัน ในโคพันธุ์ซิมเมนทอล เพศผู้ ระบบการเลี้ยงแบบ intensive ให้อาหารข้นผสม 3.39 kgDM/วัน และข้าวโพดหมักให้แบบกินไม่จำกัด ส่วนระบบการเลี้ยงแบบ extensive ให้อาหารข้นผสม 0.89 kgDM/วัน และข้าวโพดหมักให้แบบกินจำกัด โดยพบว่าในระบบการเลี้ยงและระยะเวลาในการขุน ค่าความสว่างของเนื้อ (L*) ไม่มีความแตกต่างกัน ส่วนค่าสีเหลืองของเนื้อ (b*) จะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการขุนนานขึ้นอย่างมีนัยสัมพันธ์ทางสถิติ แต่พบว่ากลุ่มโคที่ขุนเป็น

เวลา 138 วัน ภายใต้ทั้งระบบการเลี้ยงแบบ intensive และ extensive มีค่าสีแดงของเนื้อ (a*) (20 และ 20.7 ตามลำดับ) สูงกว่ากลุ่มที่ระยะเวลาขุน 100 วัน (18.5 และ 19.4 ตามลำดับ) (P<0.05)

Jaturasitha *et al.* (2008) ได้ทำการศึกษาคุณภาพเนื้อโคพันธุ์พื้นเมืองไทยโดยใช้ลูกโคเพศผู้อายุ 1 ปี และเลี้ยงต่อเป็นระยะเวลา 2 ปี แบ่งการเลี้ยงออกเป็น 2 ระบบ คือ ระบบแรกเลี้ยงด้วยหญ้ากินนี (*Panicum maxima*)เพียงอย่างเดียว ระบบที่สองเลี้ยงด้วยหญ้ากินนีร่วมกับถั่วท่าพระสไตโล (*Stylosanthes guianensis*) มีการเสริมเกลือ วิตามินและแร่ธาตุอย่างเต็มที่ แต่ไม่มีการเสริมด้วยอาหารข้น อายุเข้าฆ่าเฉลี่ย 3 ปี เพื่อศึกษาคุณภาพเนื้อ พบว่าในเนื้อโคพื้นเมืองระบบแรกที่เลี้ยงด้วยหญ้ากินนีเพียงอย่างเดียวและระบบที่สองที่เลี้ยงด้วยหญ้ากินนีร่วมกับถั่วท่าพระสไตโล ในกล้ามเนื้อ Longissimus dorsi (LD) มีค่าความสว่าง (L*) เท่ากับ 36.0 และ 37.4 ตามลำดับ ส่วนกล้ามเนื้อ Semitendinosus (ST) มีค่า L* เท่ากับ 36.2 และ 37.2 ตามลำดับ และกล้ามเนื้อ Infraspinatus (IF) มีค่า L* เท่ากับ 35.5 และ 37.1 ตามลำดับ ทางด้านค่าสีแดงของ (a*) โคที่เลี้ยงแบบระบบแรกและระบบที่สอง ในกล้ามเนื้อ LD มีค่า a* เท่ากับ 20.0 และ 19.6 ตามลำดับ กล้ามเนื้อ ST มีค่า a* เท่ากับ 20.1 และ 19.7 ตามลำดับ และกล้ามเนื้อ IF มีค่า a* เท่ากับ 20.4 และ 19.9 ตามลำดับ จากผลการศึกษาพบว่าในกล้ามเนื้อ LD ของโคที่เลี้ยงแบบระบบที่สอง ด้วยหญ้ากินนีร่วมกับถั่วท่าพระสไตโล มีค่า L* มากกว่าระบบแรกที่เลี้ยงด้วยหญ้ากินนีเพียงอย่างเดียว (P<0.05) และไม่พบความแตกต่างทางสถิติในกล้ามเนื้อ ST และ IF ส่วนค่า a* ในกล้ามเนื้อ LD, ST และ IF ไม่พบความแตกต่างทางสถิติของโคทั้งสองระบบการเลี้ยง

ทางด้านความนุ่มเหนียวทำการวัดด้วยแรงตัดผ่านเนื้อ พบว่าในเนื้อโคพื้นเมืองระบบแรกที่เลี้ยงด้วยหญ้ากินนีเพียงอย่างเดียวและระบบที่สองที่เลี้ยงด้วยหญ้ากินนีร่วมกับถั่วท่าพระสไตโล ในกล้ามเนื้อ LD มีค่าแรงตัดผ่านเนื้อเท่ากับ 4.21 และ 3.96 กิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนกล้ามเนื้อ ST จะมีค่าเท่ากับ 4.28 และ 3.97 กิโลกรัม ตามลำดับ และกล้ามเนื้อ IF จะมีค่า *L** เท่ากับ 4.51 และ 4.39 กิโลกรัม ตามลำดับ จากผลการศึกษาพบว่าเนื้อโคที่เลี้ยงแบบระบบที่สอง ด้วยหญ้ากินนีร่วมกับถั่วท่าพระสไตโล มีค่าแรงตัดผ่านเนื้อน้อยกว่าระบบแรกที่เลี้ยงด้วยหญ้ากินนีเพียงอย่างเดียว (P<0.05)

Cranwell *et al.* (1996) ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาการขุนที่มีผลต่อคุณภาพเนื้อ Longissimus ของแม่โคคัดทิ้งสายพันธุ์ British อายุเฉลี่ยประมาณ 5 ปี ที่ทำการขุนในระยะเวลาที่แตกต่างกัน 3 เวลา คือ 0, 28 และ 56 วัน ทำการขุนด้วยอาหารข้นที่มีระดับโปรตีน 11.9 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาพบว่าที่ระยะเวลาขุนนานขึ้นให้ค่า L* a* และ b* เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยค่า L* มีค่าเท่ากับ 32.1, 33.5 และ 35.0 ค่า a* มีค่าเท่ากับ 21.2, 21.8 และ 23.7 ส่วนค่า b* มีค่าเท่ากับ 8.0 8.4 และ 9.6 ตามลำดับ ส่วนค่าแรงตัดผ่านเนื้อมีค่าลดลงในทุกระยะของการขุนที่เพิ่มขึ้น (P<0.05) ในขณะที่ Bruce *et al.* (2004) ได้ทำการทดลองระบบการให้อาหารข้นเพียงอย่างเดียว เปรียบเทียบกับเลี้ยงด้วยหญ้าเพียงอย่างเดียว ในโคเพศผู้ตอน พันธุ์บราห์มัน ทำการขุนเป็น

เวลานาน 74 วัน พบว่า โคที่เลี้ยงด้วยอาหารข้นเพียงอย่างเดียว ให้ค่าสีของเนื้อสูงกว่าการเลี้ยงด้วยหญ้าเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยมีค่า L* 41.5 และ 37.7 ค่า a* มีค่าเท่ากับ 22.4 และ 20.2 ส่วนค่า b* มีค่าเท่ากับ 12.3 และ 10.5 ตามลำดับ จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า การขุนโคด้วยอาหารข้นในระดับสูงเป็นเวลานาน จะมีค่าสีของเนื้อสูงกว่าการขุนโคในระยะสั้น เนื่องจากการการขุนโคในระยะเวลานานนั้นร่างกายโคจะมีการสะสมของโปรตีนและการสะสมไขมันในกล้ามเนื้อมากกว่าการขุนในเวลาสั้น

**2.7.6 ระยะเวลาการบ่ม**

Moloney *et al.* (2008) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาการบ่มที่มีผลต่อค่าสีจากกล้ามเนื้อสันนอก (Longissimus dorsi; LD) ของโคลูกผสมชาร์โรเล่ส์กับฟรีเชี่ยน ที่เลี้ยงด้วยอาหารข้น 6 กก./วัน และหญ้าอย่างเต็มที่ โดยมีระยะเวลาการบ่ม 2 และ 14 วัน ซึ่งค่าสีของเนื้อทำการวัดจากค่า L*, a*, b* และ Saturation พบว่าค่า L*, a*, b* และ Saturation ที่ระยะเวลาการบ่ม 14 วัน (36.2, 13.6, 9.8 และ 19.9 ตามลำดับ) มีค่าสูงกว่าที่ระยะเวลาการบ่ม 2 วัน (34.0, 13.6, 7.80 และ 15.7) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Bruce *et al.* (2004) ได้ทำการศึกษาสีของเนื้อโคที่ผ่านระยะเวลาการบ่มเปรียบเทียบกับเนื้อโคที่ไม่ผ่านการบ่ม ในเพศผู้ตอนพันธุ์บราห์มัน จากกล้ามเนื้อสันนอก (LD) โดยมีระยะเวลาการบ่มที่ 1 และ 14 วัน พบว่าเนื้อที่ผ่านการบ่มจะมีค่า L* a* และ b* เท่ากับ 40.63, 22.09 และ 12.03 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าเนื้อที่ไม่ผ่านการบ่ม โดยมีค่าเท่ากับ 38.50 20.47 และ 10.70 ตามลำดับ ซึ่งจากการทดลองทั้ง 2 นี้แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาในการบ่มที่เพิ่มขึ้นทำให้เนื้อมีสีสดมากขึ้น นอกจากนี้ วิชิต พรหมอินทร์ (2549) ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาการบ่มที่มีผลต่อคุณภาพเนื้อของเนื้อโคขุนภายใต้ระบบการผลิตของสหกรณ์โคเนื้อกำแพงแสนในกล้ามเนื้อสันนอก (Longissimus dorsi) ที่ระยะเวลาการบ่ม 1, 5, 7, 14 และ 20 วันหลังการฆ่า พบว่ามีค่าสีของเนื้อ ค่าความสว่าง (L*) มีค่าเท่ากับ 38.08, 38.58, 38.71, 40.56 และ 40.02 ตามลำดับ ค่าสีแดง (a*) มีค่าเท่ากับ 16.99, 17.01, 18.48, 17.67 และ 18.80 ตามลำดับ ค่าสีเหลือง (b*) มีค่าเท่ากับ 5.01, 6.45, 7.31, 7.76 และ 7.94 ตามลำดับ

Warriss and Brown (1987) กล่าวว่าเมื่อระยะเวลาการบ่มที่เพิ่มขึ้นค่าสีของเนื้อมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากการเสียสภาพของโปรตีนในกล้ามเนื้อ ทำให้ประสิทธิภาพในการจับตัวกับน้ำในกล้ามเนื้อลดลง ดังนั้นเมื่อมีแสงเข้ามาตกกระทบน้ำที่ซึมออกมาจากเนื้อ ทำให้เกิดการสะท้อนกลับของแสงได้มากขึ้น เมื่อมีการมองเนื้อนั้นราวกลับว่าเนื้อมีสีสดขึ้น ซึ่ง Page *et al.* (2001) พบว่า ค่า b* (yellowness) มีความสัมพันธ์กับสีของไขมันในเนื้อที่เพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการบ่ม โดยพบว่าสีของไขมันขาวนวลมากขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นผลสืบเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีของไขมัน ซึ่งเกิดปฏิกิริยา lipid oxidation มีผลทำให้เกิดการหืนของไขมัน ซึ่ง

สอดคล้องกับรายงานของ Berruga *et al.* (2005) ค่า b* จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น ทั้งนี้พบว่าค่า b* มีความสัมพันธ์กับค่า thiobarbituric acid (TBA) ที่เป็นดัชนีวัดความเสื่อมสภาพของไขมัน

# บทที่ 3
# วิธีการดำเนินงานวิจัย

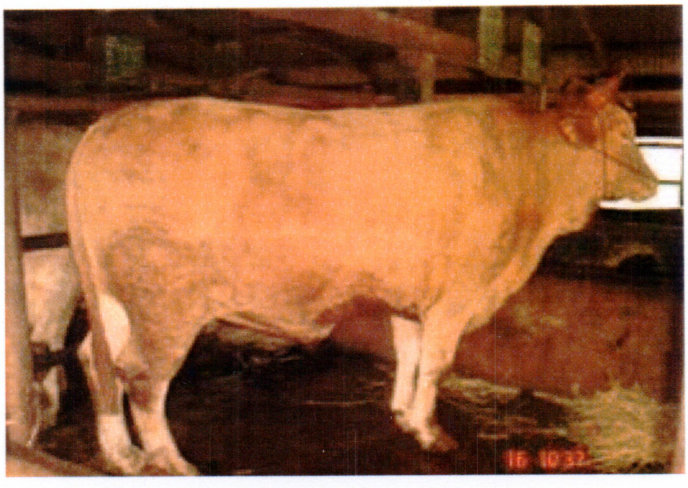
## 3.1 สัตว์ทดลอง

การศึกษาครั้งนี้ใช้โค 5 ประเภท ประกอบไปด้วย

1. โคเนื้อลูกผสมเลือดยุโรปภายใต้ระบบการผลิตของสหกรณ์โคเนื้อกำแพงแสน (KU) โดยโคมีเลือดสายพันธุ์ชาโรเล่ส์ ประมาณ 50% x บราห์มัน ประมาณ 25% x พื้นเมืองไทยประมาณ 25% อายุเฉลี่ย 2½ ปี เป็นโคเพศผู้ถูกตอน และเลี้ยงโดยสมาชิกสหกรณ์ ขุนด้วยอาหารผสมเสร็จหรือที่เรียกกันว่า ที เอ็ม อาร์ (total mixed ration, TMR) และเสริมด้วยหญ้า ระยะเวลาขุนนาน 8-10 เดือน ใช้โคจำนวน 30 ตัว น้ำหนักมีชีวิตส่งเข้าโรงฆ่าเฉลี่ย 525 กิโลกรัม เข้าฆ่าที่โรงฆ่าสัตว์ศูนย์วิจัยและพัฒนาผลิตผลจากสัตว์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัด นครปฐม

**ภาพที่ 3.1** โคเนื้อลูกผสมพันธุ์ชาโรเล่ส์ ประมาณ 50% x บราห์มัน ประมาณ 25% x พื้นเมืองไทย ประมาณ 25% ภายใต้ระบบการผลิตของสหกรณ์โคเนื้อกำแพงแสน

2. โคเนื้อลูกผสมเลือดยุโรปชาโรเล่ส์ 50% ขึ้นไปกับโคพันธุ์บราห์มัน และหรือโคพันธุ์พื้นเมืองไทยเลี้ยงภายใต้ระบบการผลิตของสหกรณ์การเลี้ยงปศุสัตว์ กรป.กลาง โพนยางคำจำกัด จังหวัดสกลนคร อายุเฉลี่ย 3½ ปี เป็นโคเพศผู้ถูกตอน เลี้ยงด้วยอาหารข้นและหญ้าสดหรือฟางข้าว เป็นเวลา 12-18 เดือน มีการเสริมกากน้ำตาลหลังจากขุนไปแล้ว 4 เดือน ใช้โคจำนวน 9 ตัว น้ำหนักมีชีวิตส่งเข้าโรงฆ่าเฉลี่ย 664 กิโลกรัม เข้าฆ่าที่โรงฆ่าสัตว์ของสหกรณ์การเลี้ยงปศุสัตว์ กรป.กลาง โพนยางคำจำกัด จังหวัด สกลนคร



**ภาพที่ 3.2** โคเนื้อลูกผสมพันธุ์ชาโรเล่ส์ 50 % ขึ้นไป ภายใต้ระบบการผลิตของสหกรณ์การเลี้ยงปศุสัตว์ กรป.กลาง โพนยางคำจำกัด จังหวัด สกลนคร

3. โคเนื้อลูกผสมพันธุ์บราห์มันเลือดสูงระหว่างโคพันธุ์บราห์มันกับโคพื้นเมืองไทย อายุเฉลี่ย 3 ปี เป็นโคเพศผู้ไม่ตอนแต่ฝังฮอร์โมน ขุนด้วยอาหาร TMR และเสริมด้วยหญ้าสดหรือฟางข้าว เป็นเวลา 3-4 เดือน ภายใต้ระบบการเลี้ยงของฟาร์มบริษัทประกอบบีฟโปรดักส์ จำนวน 16 ตัว น้ำหนักมีชีวิตส่งเข้าฆ่าประมาณเฉลี่ย 497 กิโลกรัม เข้าฆ่าที่โรงฆ่าสัตว์ประกอบบีฟโปรดักส์ จังหวัด ราชบุรี

**ภาพที่ 3.3** โคเนื้อลูกผสมพันธุ์บราห์มันเลือดสูง เลี้ยงด้วยอาหาร TMR เป็นอาหารหลัก

4. โคเนื้อลูกผสมพันธุ์บราห์มันเลือดสูงระหว่างโคพันธุ์บราห์มันกับโคพื้นเมืองไทย อายุเฉลี่ย 3 ปี เป็นโคเพศผู้ไม่ตอนแต่ฝังฮอร์โมน เลี้ยงด้วยอาหารข้นและเปลือกสับปะรดเป็นอาหารหยาบ เป็นเวลา 6 เดือน ภายใต้ระบบการเลี้ยงของ สุรสิงห์ ฟาร์ม จังหวัด ชลบุรี จำนวน 10 ตัว น้ำหนักมีชีวิตส่งเข้าฆ่าประมาณเฉลี่ย 542 กิโลกรัม เข้าฆ่าที่โรงฆ่าสัตว์บริษัทไทยพรีเมี่ยมบีฟแลมป์แอนด์เวล จำกัด จังหวัด ชลบุรี

**ภาพที่ 3.4** โคเนื้อลูกผสมพันธุ์บราห์มันเลือดสูงเลี้ยงด้วยเปลือกสับปะรดเป็นอาหารหยาบ

5. โคพันธุ์พื้นเมืองไทย (Thai native cattle) อายุเฉลี่ย 2 ปี ไม่ตอน ที่เลี้ยงปล่อยแทะเล็มหญ้าตามธรรมชาติในเขต จังหวัด ประจวบคีรีขันธ์ เป็นโคเพศผู้ จำนวน 11 ตัว น้ำหนักมีชีวิตประมาณเฉลี่ย 214 กิโลกรัม เข้าฆ่าที่โรงฆ่าสัตว์บริษัทประกอบบีฟโปรดักส์ จังหวัด ราชบุรี

**ภาพที่ 3.5** โคพันธุ์พื้นเมืองไทย เลี้ยงภายใต้ระบบปล่อยแทะเล็มหญ้าตามธรรมชาติ

## 3.2 อุปกรณ์

1. เครื่องมือวัดค่าความเป็นกรด-ด่างในเนื้อ (pH meter รุ่น SevenGo™ pH meter SG2; Mettler Toledo และ Electrode-WTW pH-sentex®)
2. เครื่องบรรจุสุญญากาศ (Vacuum packge; VAMA)
3. ถุงพลาสติกชนิดสุญญากาศ (Polyvinyl chloride, PVC)
4. อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath; Memmert)
5. เครื่องมือวัดอุณหภูมิใจกลางเนื้อแบบอิเลคโทรนิค (รุ่น ab321870; Rexor industri)
6. เครื่องมือวัดสีเนื้อ (Chromameter CR–300; Minolta)
7. เครื่องมือวัดค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (Instron model 1011)
8. เครื่องชั่งอิเลคโทรนิค (TE/J 15.1; Metler)
9. เครื่องมือสกัดไขมัน (Labconco glodfisch; Tecator)
10. เครื่องวิเคราะห์โปรตีน (Gerhardt; Kjeldatherm)
11. ตู้อบแห้ง (Hot air oven, Memmert model CM 500; Germany)
12. กล้องจุลทรรศน์ (Compound microscope; Olympus CX-40)
13. Helium-neon laser

## 3.3 สารเคมี

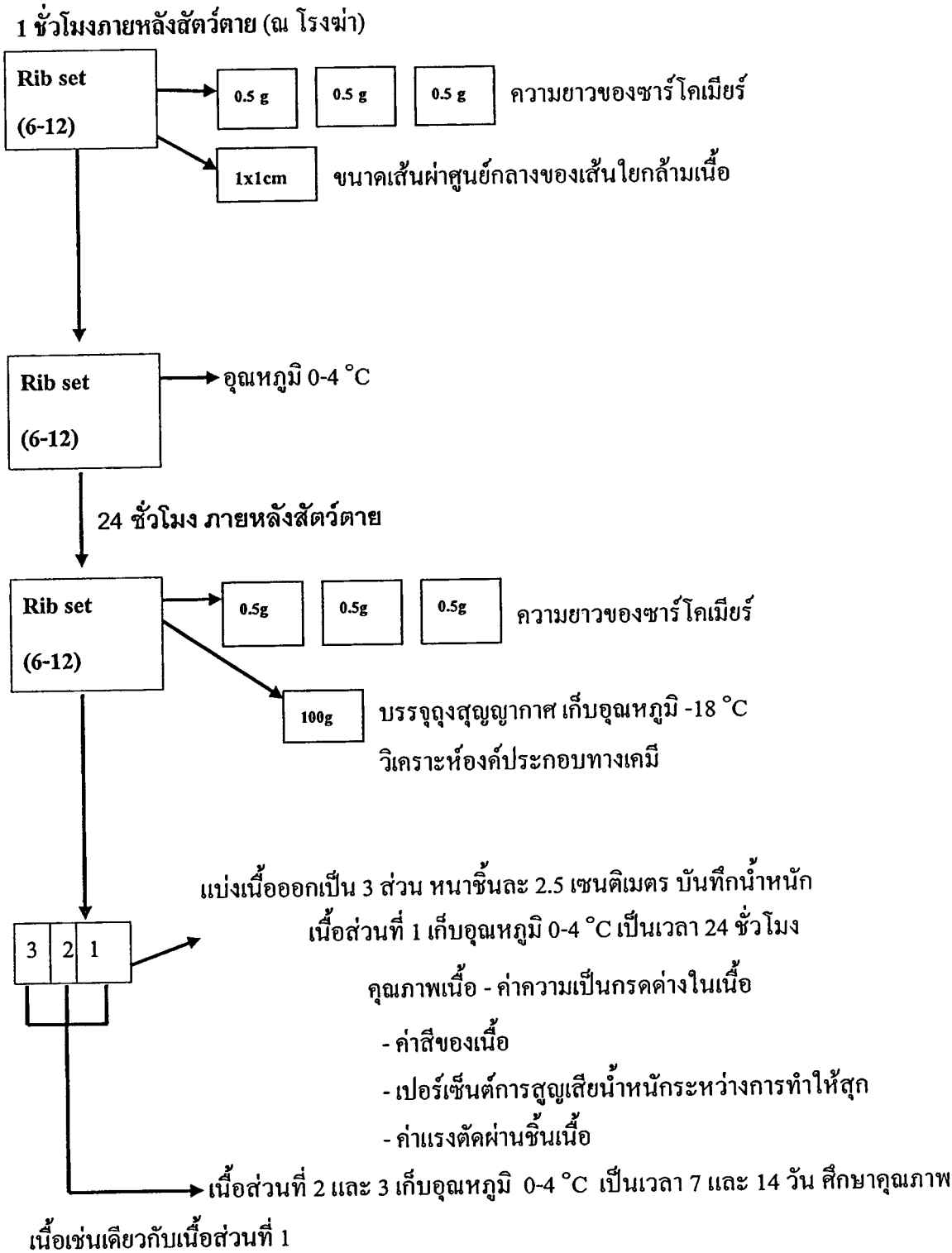
1. น้ำกลั่น (Distilled water)
2. Sodium chloride (Nacl; Merck) ความเข้มข้น 0.9%
3. Neutral formaline (Ajax Finechem) ความเข้มข้น 40%
4. Potassium chloride (KCl; Ajax Finechem)
5. Glutaral dehyde (Ajax Finechem) ความเข้มข้น 25%
6. Boric acid (BDH; Ajax Finechem) ความเข้มข้น4%
7. Ethylenediaminetetraacetic acid disodium salt (EDTA; AnalaR®)
8. Dichloromethane (Ajax Finechem)
9. Sulfuric acid ($H_2SO_4$; Mearck) ความเข้มข้น 93-98%
10. Sodium hydroxide (NaOH; Carlo) ความเข้มข้น 45%

## 3.4 วิธีการ

### 3.4.1 การเตรียมตัวอย่าง

ชั่งน้ำหนักโคมีชีวิต ณ โรงฆ่า ภายหลังอดอาหารเป็นเวลาอย่างน้อย 12 ชั่วโมง หลังจากกระบวนการฆ่าเสร็จสิ้นซากจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ซีก โดยการศึกษานี้ใช้ส่วนของกล้ามเนื้อ Longissmus thoracis บริเวณ rib set (กล้ามเนื้อระหว่างซี่โครง) คู่ที่ 6-12 ของซากซีกซ้าย

เก็บตัวอย่างชิ้นเนื้อที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมง ภายหลังจากสัตว์ตาย ที่โรงฆ่าสัตว์ โดยตัดชิ้นเนื้อขนาด 1x1 เซนติเมตร แช่ชิ้นเนื้อในสาร neutral formaline 4 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ในตู้เย็นอุณหภูมิ 8 °C เพื่อวิเคราะห์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อ และเก็บตัวอย่างชิ้นเนื้อขนาด 0.5 กรัม ตัวอย่างละ 3 ชิ้น เพื่อวิเคราะห์ความยาวของซาร์โคเมียร์ ทำการเก็บชิ้นส่วนเนื้อสันนอกไว้ในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 0-4 °C จนครบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเก็บตัวอย่างชิ้นเนื้อขนาดเท่าเดิม เพื่อวิเคราะห์หาความยาวของซาร์โคเมียร์ ที่ 24 ชั่วโมงภายหลังสัตว์ตาย จากนั้นทำการตัดแบ่งชิ้นเนื้อสันนอกส่วนที่เหลือ ให้มีน้ำหนักประมาณ 100 กรัม บรรจุถุงสุญญากาศเก็บในตู้แช่แข็งอุณหภูมิ -18 °C เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีต่อไป (โปรตีน%, ความชื้น%, ไขมัน% และปริมาณคอลลาเจนในเนื้อ) ส่วนเนื้อที่เหลือจะทำการศึกษาระยะเวลาการบ่มต่อคุณภาพเนื้อ โดยทำการตัดแบ่งเนื้อออกเป็น 3 ส่วน ให้ได้รูปแบบชิ้นเนื้อสเต็กหนา 2.5 เซนติเมตร บันทึกน้ำหนักทุกส่วน เนื้อส่วนที่1 เป็นการศึกษาคุณภาพเนื้อหลังจากเก็บไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ภายหลังสัตว์ตาย โดยทำการวัด ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าสีของเนื้อ ค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการทำให้สุก และค่าแรงตัดผ่านเนื้อ และชิ้นเนื้ออีก 2 ส่วน จะบรรจุลงในถุงพลาสติกใสในสภาพสุญญากาศและเก็บรักษาในห้องเย็นที่มีอุณหภูมิ 0-4 °C เป็นระยะเวลา 7 และ 14 วัน ภายหลังสัตว์ตาย หลังจากบ่มเนื้อครบตามกำหนดแล้ว นำเนื้อมาศึกษาคุณภาพเนื้อเช่นเดียวกับเนื้อส่วนที่ 1 ดังแสดงในภาพที่ 1




**ภาพที่ 3.6** ขั้นตอนการศึกษาคุณภาพเนื้อ

**3.4.2 ศึกษาคุณภาพเนื้อของพันธุ์โคเนื้อภายใต้ระบบการเลี้ยงที่ต่างกัน และปัจจัยด้านระยะเวลาการบ่มต่อคุณภาพเนื้อ**

3.4.2.1. ศึกษาขนาดของเส้นใยกล้ามเนื้อ ตามวิธี Tuma *et al.* (1962)

1.1ทำการเก็บตัวอย่างที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมง หลังสัตว์ตาย ขนาด 1x1 เซนติเมตร แช่ชิ้นเนื้อในสาร neutral formaline 4 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ในตู้เย็นอุณหภูมิ 8 °C

1.2หั่นเป็นชิ้นด้วยมีดให้หนาประมาณ 1/8 นิ้ว แล้วนำเนื้อไปปั่นด้วยเครื่องปั่น เติมสารละลาย NaCl 0.9 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 50 มิลลิลิตร แล้วปั่นด้วยความเร็วต่ำประมาณ 30 วินาที หรือจนกว่าชิ้นเนื้อจะแหลกละเอียด

1.3นำสารละลายที่ปั่นได้หยดลงบนแผ่นกระจกสไลด์ นำไปวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อภายใต้กล้องจุลทรรศน์ compound microscope กำลังขยาย 15x X 10x ทำการวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อ โดยวัดตามจำนวนช่องที่มองเห็นผ่าน ocular micrometer ในกระบอกของเลนส์ตา ทำการวัดความยาว 50 ช่อง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

1.4 การหาค่า conversion factor (CF) ใส่ ocular micrometer ในกระบอกของเลนส์ตา และวาง stage micrometer บนแท่นวางสไลด์ จากนั้นดูภายใต้กล้องว่าแต่ละกำลังขยาย จำนวนช่องของ ocular micrometer เท่ากับกี่ช่องของ stage micrometer

1 mm = 1000 micron

$$CF = \frac{\text{จำนวนช่อง stage micrometer}}{\text{จำนวนช่อง ocular micrometer}}$$

1.5 การหาขนาดเส้นใยกล้ามเนื้อ

D = CF x ความยาว 1 ช่อง stage micrometer (L) x 1000

(เมื่อ D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกล้ามเนื้อ มีหน่วยเป็น ไมครอน)

CF = ค่า conversion factor

L = ค่าความยาวของ 1 ช่อง stage micrometer มีหน่วยเป็น เซนติเมตร

3.4.2.2. ศึกษาความยาวซาร์โคเมียร์ของเนื้อโค ทำการเก็บตัวอย่างเนื้อที่ระยะเวลา 1 และ 24 ชั่วโมง ภายหลังสัตว์ตาย

1. ทำการเตรียม solution A โดยเติม KCl 7.46 กรัม Boric acid 2.49 กรัม EDTA 1.85 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 700 มิลลิลิตร เติม Glutadialdehyde 25 เปอร์เซ็นต์ 100 มิลลิลิตร ทำการปรับค่า pH ให้ได้ค่า pH = 7.1 หลังจากนั้นทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1 ลิตร และเตรียม

solution B โดยเติม KCl 1.86 กรัม Boric acid 2.49 กรัม EDTA 1.85 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 700 มิลลิลิตร เติม Glutadialdehyde 25 เปอร์เซ็นต์ 100 มิลลิลิตร ทำการปรับค่า pH ให้ได้ค่า pH = 7.1 หลังจากนั้นทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1 ลิตร

2. ตัดชิ้นเนื้อของกล้ามเนื้อ Longissmus thoracis ที่บริเวณระหว่างซี่โครงคู่ที่ 6–12 (ซีกซ้าย) ตัวอย่างละ 3 ชิ้น ชิ้นละประมาณ 0.5 กรัม แช่ใน solution A 25 มิลลิลิตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นย้ายชิ้นเนื้อจาก solution A มาแช่ใน solution B 25 มิลลิลิตร เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง

3. ใช้คีมคีบชิ้นเนื้อมาเล็กน้อย มาวางบนแผ่นกระจกสไลด์ ใช้ช้อนตักสารเหลือกขยี้ชิ้นเนื้อให้แตก แล้วนำแผ่นกระจกสไลด์ที่เตรียมเสร็จ ไปทำการวัดความยาวซาร์โคเมียร์ด้วยเครื่อง Helium-neon laser 10 mW โดยใช้ไม้บรรทัดวัดความกว้างของแสงเลเซอร์ที่ทะลุผ่านตัวอย่างบนสไลด์ ลงมายังพื้นรองรับภาพในหน่วยเซนติเมตร ทำการวัดตัวอย่างละ 30 ซ้ำ แล้วนำผลที่ได้มาเข้าสมการในการหาค่าความยาวซาร์โคเมียร์หน่วยวัด μm ตามวิธีของ De Smet. (2004)

4. การหาค่าความยาวซาร์โคเมียร์โดยใช้สมการ (ในหน่วยวัด μm)

$$\mu = 0.6328 \sqrt{\frac{(D)^2}{(T)^2} + 1}$$

เมื่อ $\mu$ = ความยาวซาร์โคเมียร์มีหน่วยเป็นไมโครเมตร

D = ระยะห่างระหว่างแผ่นสไลด์กับจอรับภาพ

2T = ค่าความยาวซาร์โคเมียร์ที่วัดได้จากข้อ 2.3

3.4.2.3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของเนื้อโค ทำการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ภายในกล้ามเนื้อสันนอกที่ระยะเวลา 1, 7 และ 14 วัน ภายหลังสัตว์ตาย ด้วยเครื่องมือวัดค่าความเป็นกรด-ด่างในเนื้อ

3.4.2.4. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อ ที่ระยะเวลา 1, 7 และ 14 วัน หลังจากที่ทำการวัดค่าความเป็นกรด-ด่างในเนื้อแล้ว นำชิ้นเนื้อส่วนนั้นมาตัดโดยให้หน้าตัดของชิ้นเนื้อสัมผัสอากาศนาน 45 นาที จากนั้นทำการวัดค่าสีบริเวณหน้าตัดชิ้นเนื้อด้วยเครื่องมือวัดสีเนื้อ (ยี่ห้อ Minolta Chromameter CR-300) จะแสดงผลในรูปของ L* (lightness), a* (redness) และ b* (yellowness)

3.4.2.5. ศึกษาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการทำให้สุกของเนื้อ ที่ระยะเวลา 1, 7 และ 14 วัน นำตัวอย่างชิ้นเนื้อสันนอกจากข้อ 5 มาตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า หนาประมาณ 2.5 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักแต่ละชิ้นบันทึกน้ำหนักเริ่มต้น เป็น C1 ใส่ชิ้นเนื้อลงในถุงสุญญากาศนำไปเข้าเครื่องบรรจุสุญญากาศ จากนั้นนำไปต้มที่อุณหภูมิ 75 °C นาน 45-50 นาที หรือจนกระทั่งอุณหภูมิใจกลางเนื้อประมาณ 70 °C นำถุงที่บรรจุเนื้อที่ผ่านการทำให้สุกแล้วไปทำให้เย็น โดยแช่ในน้ำไหลผ่านประมาณ 25-30 นาที นำเนื้อออกจากถุงแล้วชั่งน้ำหนักเป็นค่า C2 คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการทำให้สุก โดยสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงสุก} = \frac{(C1 - C2)}{C1} \times 100$$

3.4.2.6. ศึกษาความนุ่มของเนื้อโดยวิธีการวัดค่าแรงตัดผ่านเนื้อ ที่ระยะเวลา 1, 7 และ 14 วัน นำตัวอย่างชิ้นเนื้อที่ผ่านขั้นตอนการหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการปรุงสุก โดยใช้มีดตัดเนื้อตามแนวความยาวของเส้นใยกล้ามเนื้อเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 1 x 3 x 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ให้มีพื้นที่หน้าตัดของขนาดชิ้นเนื้อประมาณ 1ตารางเซนติเมตร ตัวอย่างละ 10 ชิ้น จากนั้นนำชิ้นเนื้อไปวัดค่าแรงตัดผ่านเนื้อด้วยเครื่องมือวัดค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (Instron model 1011) โดยวางให้อยู่ในแนวตัดขวางของเส้นใยกล้ามเนื้อ กำหนดหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

3.4.2.7. การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อโค โดยวิธี proximate analysis เพื่อหาความชื้น โปรตีน และไขมัน ตามวิธีการของ AOAC (1995) ในตัวอย่างชิ้นเนื้อก่อนการบ่ม

3.4.2.8. ศึกษาปริมาณคลอลาเจนในเนื้อ ตามวิธีของ De Smet. (2004)

โดยทำการเก็บตัวอย่างที่ระยะเวลาการบ่ม 1, 7 และ 14 วัน ภายหลังสัตว์ตาย

1. ทำการชั่งตัวอย่างเนื้อบด 4.00 ± 0.02 กรัม นำมาใส่ในหลอด centrifuge (80 ml กับ screw cap) แล้วเติม ¼ ringer solution 20 มิลลิลิตร ต่อมานำไป homogenizer แล้วนำไปต้มใน water bath ที่อุณหภูมิ 77 °C เป็นเวลา 66 นาที แล้วแช่เย็นเป็นระยะ และทำให้เย็นในอุณหภูมิห้อง ต่อมานำไป centrifuge เป็นเวลา 10 นาที ที่ 2500 g.

2. การ hydrolysis โปรตีน

2.1 คอลลาเจนที่ไม่ละลาย (Insoluble collagen) คือส่วนที่ตกตะกอน (pellet, P) โดยในส่วนที่ตกตะกอน(P) จะใช้ช้อนตักสารตักใส่ flask ขนาด 125 มิลลิลิตร เติม HCl 6 N 30 มิลลิลิตร แล้วนำไป hydrolysis ในตู้อบ 110 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (เปิดตู้อบเขย่าเป็นระยะ) จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 จนหมด ใส่ลงใน volumetrick flask ขนาด 100 มิลลิลิตร ล้างด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลลิตร ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ให้ตกตะกอน

2.2 นำสารละลายที่ได้จากการ hydrolyze ของส่วนที่ตกตะกอน นำมาปรับค่า pH ให้ได้ค่า pH ระหว่าง 4 และ 9 (pH-meter) จากนั้นนำปิเปตมาดูดสารละลาย P มา 5 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำ ($H_2O$) แล้วทำการปรับปริมาตรให้ได้ 50 มิลลิลิตร ต่อมาดูดสารละลาย P มา 2 มิลลิลิตร แล้วเติม Chloramine-T 1 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องปืนเวลา 20 นาที จึงเติม color reagent 1 มิลลิลิตร นำไปต้มใน water bath ที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 20 นาที ต่อมาทำให้เย็นโดยการเปิดน้ำให้ไหลผ่านหลอดทดลอง ภายหลังเมื่อสารเย็นแล้วนำมาวัดด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ 558 nm

2.3 คอลลาเจนที่ละลาย (Soluble collagen) คือส่วนใส (supernatant, S) ทำการเท ส่วนใส(S) ใส่ flask ขนาด 125 มิลลิลิตร เติม HCl 12 N ในปริมาตรที่เท่ากันกับส่วนใส แล้วนำไป hydrolysis ในตู้อบ 110 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (เปิดตู้อบเขย่าเป็นระยะ) จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 จนหมด ใส่ลงใน volumetrick flask ขนาด 100 มิลลิลิตร ล้างด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลลิตร ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ให้ตกตะกอน

2.4 นำสารละลายที่ได้จากการ hydrolyze ของส่วนใส นำมาปรับค่า pH ให้ได้ค่า pH ระหว่าง 4 และ 9 (pH-meter) จากนั้นนำปิเปตมาดูดสารละลาย S มา 8 ml ผสมกับน้ำ ($H_2O$) ทำการปรับปริมาตรให้ได้ 25 มิลลิลิตร ต่อมาดูดสารละลาย S มา 2 มิลลิลิตร แล้วเติม Chloramine-T 1 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องปืนเวลา 20 นาที จึงเติม color reagent 1 มิลลิลิตร ต้มใน water bath ที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 20 นาที ต่อมาทำให้เย็นโดยการเปิดน้ำให้ไหลผ่านหลอดทดลอง ภายหลังเมื่อสารเย็นแล้วนำมาวัดด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ 558 nm

## 3.5 การวางแผนการทดลอง

3.5.1 ศึกษาหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อ และความยาวของซาร์โคเมียร์ที่ระยะเวลา 1 และ 24 ชั่วโมง ภายหลังสัตว์ตาย ในกล้ามเนื้อ Longissmus thoracis บริเวณซี่โครงคู่ที่

6-12 โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomized Design, CRD) ซึ่งมีกลุ่มทดลองคือ โคเนื้อต่างสายพันธุ์ภายใต้ระบบการผลิต 5 กลุ่ม ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้อ 7.1

3.5.2 ศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าสีของเนื้อ ค่าแรงตัดผ่านชิ้นเนื้อ เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการทำให้สุก ปริมาณคอลาเจน ในกล้ามเนื้อ Longissmus thoracis บริเวณซี่โครงคู่ที่ 6-12 โดยจัดกลุ่มการทดลองแบบ 5 x 3 factorial in CRD ซึ่งกำหนดให้

ปัจจัยที่ 1 คือ โคเนื้อต่างสายพันธุ์ภายใต้ระบบการผลิตในประเทศไทย 5 กลุ่ม ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้อ 7.1

ปัจจัยที่ 2 คือ ระยะ เวลาการบ่ม ทำการเก็บเนื้อไว้ในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1, 7 และ 14 วัน ภายหลังสัตว์ตาย

## 3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

3.6.1 นำข้อมูลที่ได้ศึกษาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อ และความยาวของซาร์โคเมียร์ที่ระยะเวลา 1 และ 24 ชั่วโมง ภายหลังสัตว์ตาย ของกล้ามเนื้อ Longissmus thoracis บริเวณซี่โครงคู่ที่ 6-12 มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test (DMRT) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป

3.6.2 ศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าสีของเนื้อ ค่าแรงตัดผ่านชิ้นเนื้อ เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการทำให้สุก ปริมาณคอลาเจน มาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยวิธี DMRT ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป

# บทที่ 4

# ผลการทดลอง

## 4.1 ผลของพันธุ์โคเนื้อภายใต้ระบบการผลิตโคที่แตกต่างกันต่อความยาวของซาร์โคเมียร์และความยาวเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อ ในกล้ามเนื้อสันนอก (Longissimus thoracis )

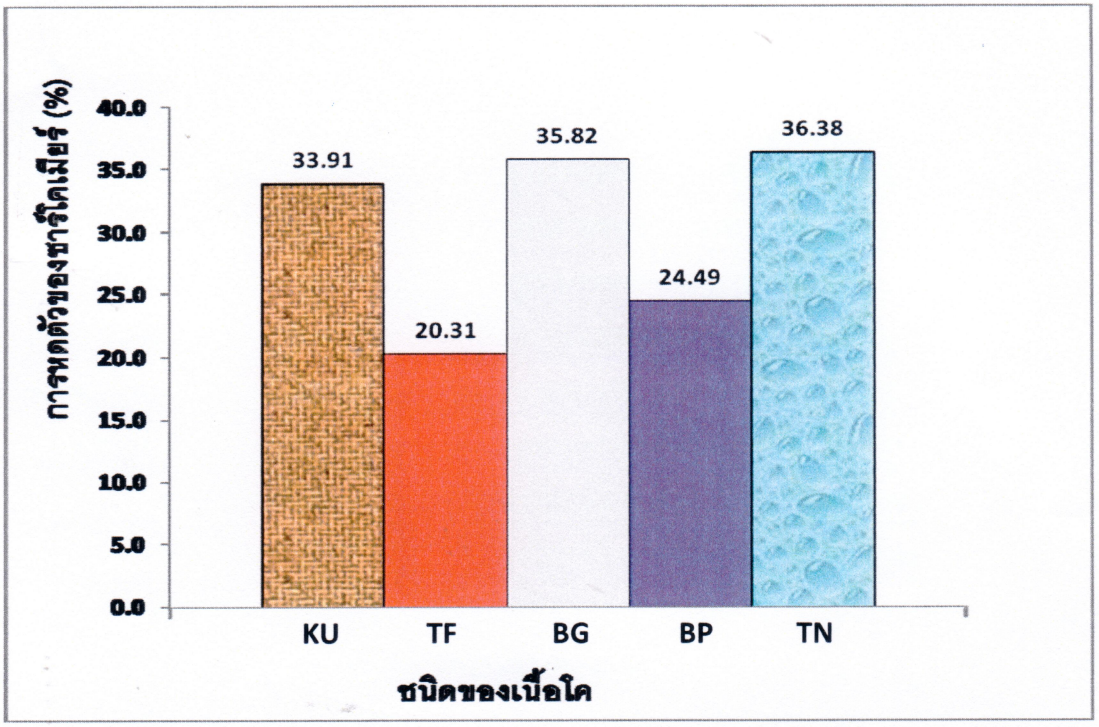
จากการศึกษา พบว่า ไม่พบความแตกต่างทางสถิติในเนื้อโคต่างพันธุ์ที่ภายใต้ระบบการผลิตโคที่แตกต่างกันของความยาวของซาร์โคเมียร์ที่ 1 ชั่วโมงภายหลังสัตว์ตาย แต่จากการศึกษาความยาวของซาร์โคเมียร์ที่ 24 ชั่วโมงภายหลังสัตว์ตาย พบว่า ในเนื้อโคขุนโพนยางคำ (TF) มีความยาวของซาร์โคเมียร์มากที่สุดเฉลี่ย 1.63 μm เมื่อเทียบกับเนื้อโคภายใต้ระบบการผลิตอื่นๆ ($P<0.05$) ในขณะที่เนื้อโคขุนลูกผสมบราห์มันกินเปลือกสับปะรดหมัก (BP) เนื้อโคลูกผสมบราห์มันเลี้ยงด้วยหญ้า (BG) เนื้อโคขุนกำแพงแสน (KU) และเนื้อโคพื้นเมือง (TN) ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ ทั้งนี้เมื่อคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การหดตัวของซาร์โคเมียร์ในเส้นใยกล้ามเนื้อ พบว่า เนื้อโคขุนลูกผสมบราห์มัน BP และเนื้อโค TF หดตัวน้อยที่สุดเท่ากับ 24.49 และ 20.31 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่าง BP และ TF แต่ทั้งเนื้อโคขุนลูกผสมบราห์มัน BP และ TF หดตัวน้อยกว่าเนื้อโค KU เนื้อโคขุนลูกผสมบราห์มัน BG และเนื้อโค TN ซึ่งมีค่าเท่ากับ 33.91, 35.82 และ 36.38 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ($P<0.05$) ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่าง KU, BG และ TN

ด้านขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อพบว่าในเนื้อโค TF มีความยาวของเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 98.47 μm เมื่อเทียบกับเนื้อโคภายใต้ระบบการผลิตอื่นๆ ($P<0.05$) ในขณะที่เนื้อโคขุนลูกผสมบราห์มัน BP และ BG มีความยาวเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อ (86.35 และ 87.79 μm ตามลำดับ) มากกว่าเนื้อโค KU และเนื้อโค TN (77.93 และ 66.18 μm ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้เนื้อโค TN มีความยาวเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อสั้นกว่าเนื้อโคภายใต้ระบบการผลิตอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.1

**ตารางที่ 4.1** ความยาวของซาร์โคเมียร์และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อของเนื้อโคภายใต้ระบบการผลิตโคที่แตกต่างกัน 5 ระบบการผลิต

| ลักษณะที่ศึกษา | KU | TF | BP | BG | TN | SEM | P-value |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| น้ำหนักเข้าฆ่า (กก.) | 525.00 | 664.00 | 542.00 | 497.00 | 214.00 | - | - |
| ความยาวของซาร์โคเมียร์ (µm) | | | | | | | |
| 1 ชั่วโมง | 1.95 | 1.89 | 1.90 | 1.99 | 1.97 | 0.0102 | 0.0519 |
| 24 ชั่วโมง | 1.28$^{b}$ | 1.63$^{a}$ | 1.43$^{b}$ | 1.27$^{b}$ | 1.25$^{b}$ | 0.0276 | 0.0002 |
| การหดตัวของซาร์โคเมียร์ (%) | 33.91$^{a}$ | 20.31$^{b}$ | 24.49$^{b}$ | 35.82$^{a}$ | 36.38$^{a}$ | 1.2800 | 0.0004 |
| ความยาวเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อ (µm) | 77.93$^{c}$ | 98.47$^{a}$ | 86.35$^{b}$ | 87.79$^{b}$ | 66.18$^{d}$ | 1.4720 | 0.0001 |

$^{a,b,c,d}$ = ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P <0.05)




KU = โคขุนกำแพงแสน, TF = โคขุนโพนยางคำ, BG = โคขุนลูกผสมบราห์มันที่กินหญ้า, BP = โคขุนลูกผสมบราห์มันที่กินเปลือกสับปะรด, TN= โคพื้นเมืองไทย

**กราฟที่ 4.1** แสดงเปอร์เซ็นต์การหดตัวความยาวซาร์โคเมียร์ของเนื้อโคภายใต้ระบบการผลิตโคที่แตกต่างกัน

## 4.2 ผลของพันธุ์โคเนื้อภายใต้ระบบการผลิตโคที่แตกต่างกันต่อองค์ประกอบทางเคมีในกล้ามเนื้อสันนอก ( Longissimus thoracis )

ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีในเนื้อโคต่างพันธุ์ภายใต้ระบบการผลิตโคที่แตกต่างกัน พบว่าเนื้อโคพื้นเมือง (TN) เนื้อโคลูกผสมบราห์มันเลี้ยงด้วยหญ้า (BG) และเนื้อโคขุนลูกผสมบราห์มันกินเปลือกสับปะรดหมัก (BP) มีปริมาณความชื้นแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 75.55, 75.16 และ 74.02 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีค่าสูงกว่าเนื้อโคขุนกำแพงแสน (KU) และเนื้อโคขุนโพนยางคำ (TF) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 72.30 และ 68.89 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ($P<0.05$) ขณะเดียวกันเนื้อโค TF มีปริมาณไขมันในเนื้อสูงที่สุด (8.58%) สูงกว่าเนื้อโคภายใต้ระบบการผลิตอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนเนื้อโค KU มีปริมาณไขมันในเนื้อสูงรองลงมา (4.55%) ซึ่งสูงกว่าเนื้อโค BP, BG และ TN อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 2.87, 1.83 และ 0.77 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่เนื้อโค TN มีปริมาณไขมันต่ำที่สุดแต่ไม่แตกต่างจากเนื้อโคลูกผสมบราห์มัน BG ทั้งนี้ปริมาณโปรตีนในเนื้อโคทุกกลุ่มที่ทำการศึกษาไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ภายหลังสัตว์ตาย ที่ 24 ชั่วโมง ปริมาณคอลลาเจนทั้งหมดในเนื้อโคทุกกลุ่มที่ทำการศึกษาไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้พบว่าเนื้อโคขุนลูกผสมที่มีเลือดชาร์โรเล่ส์ (เนื้อโค TF และ KU) มีปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้มีค่าเท่ากัน โดยมีค่าเท่ากับ 0.15 เปอร์เซ็นต์ แต่น้อยกว่าเนื้อโคลูกผสมบราห์มัน BG BP และเนื้อโค TN (0.26, 0.28 และ 0.31 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.2

**ตารางที่ 4.2** องค์ประกอบทางเคมีของกล้ามเนื้อสันนอกของโคเนื้อภายใต้ระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกัน

| ลักษณะที่ศึกษา | KU | TF | BG | BP | TN | SEM | P-value |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ความชื้น(%) | $72.30^{b}$ | $68.89^{c}$ | $75.16^{a}$ | $74.02^{a}$ | $75.55^{a}$ | 0.3494 | 0.0001 |
| โปรตีน(%) | 21.91 | 21.41 | 21.85 | 21.83 | 21.30 | 0.1410 | 0.5828 |
| ไขมัน(%) | $4.55^{b}$ | $8.58^{a}$ | $1.83^{cd}$ | $2.87^{c}$ | $0.77^{d}$ | 0.3306 | 0.0001 |
| ปริมาณคอลลาเจนทั้งหมดในเนื้อ (mg/g) (24 ชม.หลังสัตว์ตาย) | 2.64 | 2.87 | 2.86 | 2.35 | 3.09 | 0.1675 | 0.7537 |
| คอลลาเจนที่ละลายได้ (mg/g) (24 ชม.หลังสัตว์ตาย) | $0.15^{c}$ | $0.15^{c}$ | $0.26^{ab}$ | $0.28^{a}$ | $0.31^{a}$ | 0.0211 | 0.0176 |

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

## 4.3 ผลของพันธุ์โคเนื้อภายใต้ระบบการผลิตโคที่แตกต่างกันในประเทศไทยและระยะเวลาการบ่มที่มีผลต่อคุณภาพเนื้อ

### 4.3.1 ผลของพันธุ์โคเนื้อภายใต้ระบบการผลิตโคที่แตกต่างและระยะเวลาการบ่มที่มีผลต่อค่า pH ในเนื้อ

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าระบบการผลิตโคที่แตกต่างกันมีอิทธิพลต่อค่า pH ในเนื้อ โดยพบว่าในเนื้อโค TF มีค่า pH ต่ำที่สุด (5.50) เมื่อเทียบกับเนื้อโคภายใต้ระบบการผลิตอื่นๆ ($P<0.05$) ต่อมาคือเนื้อโคขุนลูกผสมบราห์มัน BG มีค่า pH เท่ากับ 5.55 ซึ่งต่ำกว่าเนื้อโค KU และเนื้อโค TN ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.60 และ 5.61 ($P<0.05$) ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างจากเนื้อโคขุนลูกผสมบราห์มัน BP ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.58

ในส่วนของระยะเวลาการบ่มที่แตกต่างกันพบว่าไม่มีผลต่อค่า pH ในเนื้อ (จากตารางที่ 4.3) และไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างระบบการผลิตโคและระยะเวลาการบ่มที่มีต่อค่า pH ในเนื้อ

**ตารางที่ 4.3** ค่า pH ในกล้ามเนื้อสันนอกของโคแต่ละระบบการผลิตโคที่แตกต่างกันที่ระยะเวลาการบ่ม 1, 7 และ 14 วัน

| ระบบการผลิต | ระยะเวลาการบ่ม (วัน) | | | ค่าเฉลี่ยของเนื้อโคจากแต่ละระบบการผลิต | SEM |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 7 | 14 | | |
| KU | 5.59 | 5.59 | 5.60 | $5.60^{a}$ | 0.0079 |
| TF | 5.56 | 5.42 | 5.52 | $5.50^{c}$ | 0.0232 |
| BG | 5.56 | 5.53 | 5.57 | $5.55^{b}$ | 0.0102 |
| BP | 5.58 | 5.59 | 5.57 | $5.58^{ab}$ | 0.0226 |
| TN | 5.65 | 5.61 | 5.57 | $5.61^{a}$ | 0.0357 |
| ค่าเฉลี่ยในแต่ละระยะเวลาการบ่ม | 5.59 | 5.55 | 5.57 | | |
| SEM | 0.0121 | 0.0164 | 0.0130 | | |

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

**4.3.2 ผลของพันธุ์โคเนื้อภายใต้ระบบการผลิตโคที่แตกต่างและระยะเวลาการบ่มที่มีต่อค่าสีของเนื้อ (L*, a*, b*)**

4.3.2.1 ค่าความสว่าง (L* ) (lightnesss)

จากการศึกษาพบว่าระบบการผลิตโคมีอิทธิพลต่อค่าความสว่างหรือค่า L* (lightness) ของเนื้อ พบว่าเนื้อโคขุนลูกผสมบราห์มัน BG มีค่า L* ต่ำสุด (37.01) เมื่อเทียบกับเนื้อโคกลุ่มอื่นๆ ($P<0.05$) แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติกับเนื้อโคพื้นเมือง (TN) ($P>0.05$) และพบว่าในเนื้อโคขุนกำแพงแสน (KU) มีค่า L* น้อยกว่าเนื้อโคขุนลูกผสมบราห์มัน BP ($P<0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างกับเนื้อโคขุนโพนยางคำ (TF) โดยมีค่าเท่ากับ 39.12, 40.26 และ 41.65 ตามลำดับ และพบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่าง BP และ TF

สำหรับในส่วนของระยะเวลาการบ่มที่แตกต่างกันพบว่ามีอิทธิพลต่อค่า L* ของเนื้อ โดยที่ระยะเวลาในการบ่มเนื้อนานขึ้นพบว่าค่า L* เพิ่มขึ้น ซึ่งในการบ่มเนื้อผ่านไป 14 วันพบว่าสีของเนื้อมีความสว่างสูงสุด (40.75) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างระบบการผลิตโคและระยะเวลาในการบ่มที่มีผลต่อค่า L*

**ตารางที่ 4.4** ค่าสีของค่า L* ในกล้ามเนื้อสันนอกของโคแต่ละระบบการผลิตโคที่แตกต่างกันที่ระยะเวลาการบ่ม 1, 7 และ 14 วัน

| ระบบการผลิต | ระยะเวลาการบ่ม (วัน) | | | ค่าเฉลี่ยของเนื้อโค | SEM |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 7 | 14 | จากแต่ละระบบการผลิต | |
| KU | 38.08 | 38.71 | 40.57 | $39.12^{b}$ | 0.4673 |
| TF | 38.76 | 40.74 | 41.30 | $40.26^{ab}$ | 0.7159 |
| BG | 35.52 | 36.18 | 39.33 | $37.01^{c}$ | 0.3785 |
| BP | 40.15 | 41.48 | 43.31 | $41.65^{a}$ | 0.8936 |
| TN | 37.41 | 38.90 | 39.25 | $38.52^{bc}$ | 0.7523 |
| ค่าเฉลี่ยในแต่ละระยะเวลาการบ่ม | $37.98^{y}$ | $39.20^{y}$ | $40.75^{x}$ | | |
| SEM | 0.4387 | 0.4809 | 0.5139 | | |

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

$^{x,y}$= ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

4.3.2.2 ค่า a* (redness)

จากการศึกษาค่า a* (redness) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความมีสีแดงของเนื้อ โดยจะสัมพันธ์กับปริมาณของ myoglobin ในเนื้อ พบว่าระบบการผลิตโคมีอิทธิพลต่อค่า a* ของเนื้อ ซึ่งในเนื้อโคขุนโพนยางคำ (TF) มีค่า a* สูงสุด (22.5) เมื่อเทียบกับเนื้อโคภายใต้ระบบการผลิตอื่นๆ ($P<0.05$) ในขณะที่ค่า a* ของเนื้อโคขุนลูกผสมบราห์มัน BP, BG และเนื้อโคขุนกำแพงแสน (KU) ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) แต่ค่า a* ของเนื้อโคพื้นเมือง (TN) มีค่าต่ำสุด (15.23) เมื่อเทียบกับเนื้อโคภายใต้ระบบการผลิตอื่นๆ

จากการศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาการบ่มพบว่ามีอิทธิพลต่อค่า a* เมื่อระยะเวลาในการบ่มนานขึ้นจะพบว่าค่า a* จะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยที่ค่า a* ในระยะเวลาการบ่มที่ 1 วัน น้อยที่สุด (16.76) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่อย่างไรก็ตามในระยะเวลาการบ่มที่ 7 และ 14 วันไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.5 ทั้งนี้ไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างระบบการผลิตโคและระยะเวลาในการบ่มที่มีผลต่อค่า a*

**ตารางที่ 4.5** ค่าสีของค่า a* ในกล้ามเนื้อสันนอกของโคแต่ละระบบการผลิตโคที่แตกต่างกันที่ระยะเวลาการบ่ม 1, 7 และ 14 วัน

| ระบบการผลิต | ระยะเวลาการบ่ม (วัน) | | | ค่าเฉลี่ยของเนื้อโค | SEM |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 7 | 14 | จากแต่ละระบบการผลิต | |
| KU | 14.82 | 18.48 | 18.34 | $17.22^{b}$ | 0.4316 |
| TF | 21.49 | 22.48 | 23.43 | $22.59^{a}$ | 0.4378 |
| BG | 16.05 | 18.56 | 19.70 | $18.10^{b}$ | 0.3660 |
| BP | 16.36 | 18.49 | 19.80 | $18.20^{b}$ | 0.4321 |
| TN | 15.07 | 15.50 | 16.01 | $15.53^{c}$ | 0.3855 |
| ค่าเฉลี่ยในแต่ละระยะเวลาการบ่ม | $16.76^{y}$ | $18.78^{x}$ | $19.46^{x}$ | | |
| SEM | 0.3163 | 0.5141 | 0.3368 | | |

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

$^{x,y}$ = ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

4.3.2.3 ค่า b* (yellowness)

จากการศึกษาค่า b* (yellowness) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงระดับความมีสีเหลืองของเนื้อ โดยจะสัมพันธ์กับระดับไขมันแทรกในเนื้อ พบว่าระบบการผลิตโคมีอิทธิพลต่อค่า b* ของเนื้อ ซึ่งเนื้อโคพื้นเมือง (TN) มีค่า b* ต่ำสุด (5.50) เมื่อเทียบกับเนื้อโคกลุ่มอื่นๆ ($P<0.05$) ในขณะที่ค่า b* ของเนื้อโคขุนลูกผสมบราห์มัน ที่กินเปลือกสับปะรด (BP) และที่กินหญ้า (BG) เนื้อโคขุนกำแพงแสน (KU) ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) แต่อย่างไรก็ตามเนื้อโคขุนโพนยางคำ (TF) พบว่ามีค่า b* สูงที่สุด (9.86) เมื่อเทียบกับเนื้อโคภายใต้ระบบการผลิตอื่นๆ ($P<0.05$)

ในส่วนการศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาการบ่มพบว่ามีอิทธิพลต่อค่า b* โดยเมื่อระยะเวลาบ่มนานขึ้นจะพบว่า b* จะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในระยะเวลาการบ่มที่ 1 7 และ 14 วัน มีค่า b* เท่ากับ 5.76, 7.60 และ 8.54 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.6 และไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างระบบการผลิตโคและระยะเวลาในการบ่มที่มีผลต่อค่า b*

**ตารางที่ 4.6** ค่าสีของค่า b* ในกล้ามเนื้อสันนอกของโคแต่ละระบบการผลิตโคที่แตกต่างกันที่ระยะเวลาการบ่ม 1, 7 และ 14 วัน

| ระบบการผลิต | ระยะเวลาการบ่ม (วัน) | | | ค่าเฉลี่ยของเนื้อโค | SEM |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 7 | 14 | จากแต่ละระบบการผลิต | |
| KU | 5.01 | 7.31 | 7.76 | $6.69^{b}$ | 0.2448 |
| TF | 8.55 | 9.92 | 11.10 | $9.86^{a}$ | 0.3975 |
| BG | 5.07 | 7.32 | 8.68 | $7.02^{b}$ | 0.2980 |
| BP | 5.90 | 7.43 | 8.97 | $7.43^{b}$ | 0.4004 |
| TN | 4.27 | 6.01 | 6.21 | $5.50^{c}$ | 0.4095 |
| ค่าเฉลี่ยในแต่ละระยะเวลาการบ่ม | $5.76^{z}$ | $7.60^{y}$ | $8.54^{x}$ | | |
| SEM | 0.2055 | 0.3062 | 0.2287 | | |

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

$^{x,y,z}$ = ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

**4.3.3 ผลของพันธุ์โคเนื้อภายใต้ระบบการผลิตโคที่แตกต่างและระยะเวลาการบ่มต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการทำให้สุก**

จากการศึกษาพบว่าระบบการผลิตโคมีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการทำให้สุกของเนื้อ โดยพบว่าในเนื้อโคขุนโพนยางคำ (TF) มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการทำให้สุกต่ำสุด มีค่าเท่ากับ 26.15 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับเนื้อโคภายใต้ระบบการผลิตอื่นๆ ($P<0.05$) และในเนื้อโคขุนลูกผสมบราห์มัน BP และเนื้อโคขุนกำแพงแสน (KU) ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 29.62 และ 30.17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่พบว่าเนื้อโคขุน KU มีค่ามากกว่าเนื้อโคขุนลูกผสมบราห์มัน BG ซึ่งมีค่าเท่ากับ 28.08 เปอร์เซ็นต์ ($P<0.05$) แต่อย่างไรก็ตามเนื้อโคพื้นเมือง (TN) พบว่ามีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการทำให้สุกของเนื้อสูงที่สุด (32.38) เมื่อเทียบกับเนื้อโคภายใต้ระบบการผลิตอื่นๆ ($P>0.05$)

สำหรับในส่วนของระยะเวลาการบ่มที่แตกต่างกันพบว่ามีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการทำให้สุกของเนื้อ พบว่าที่ระยะเวลาการบ่มนานขึ้นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการทำให้สุกเพิ่มขึ้น ซึ่งในการบ่มเนื้อที่ 14 วันพบว่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการทำให้สุกของเนื้อสูงสุด (30.45) แตกต่างอย่างมีมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ทั้งนี้ไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างระบบการผลิตโคและระยะเวลาในการบ่มที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการทำให้สุก

**ตารางที่ 4.7** เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการทำให้สุก ในกล้ามเนื้อสันนอกของโคภายใต้ระบบการผลิตโคที่แตกต่างกันที่ระยะเวลาการบ่ม 1, 7 และ 14 วัน

| ระบบการผลิต | ระยะเวลาการบ่ม (วัน) | | | ค่าเฉลี่ยของเนื้อโคจากแต่ละระบบการผลิต | SEM |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 7 | 14 | | |
| KU | 29.30 | 30.23 | 31.03 | $30.17^{b}$ | 0.8206 |
| TF | 25 | 26.49 | 26.94 | $26.15^{d}$ | 0.7487 |
| BG | 27.91 | 26.40 | 29.93 | $28.08^{c}$ | 0.4337 |
| BP | 30.70 | 28.79 | 29.36 | $29.62^{bc}$ | 0.5123 |
| TN | 30.04 | 32.14 | 34.97 | $32.38^{a}$ | 1.7051 |
| ค่าเฉลี่ยในแต่ละระยะเวลาการบ่ม | $28.59^{x}$ | $28.81^{x}$ | $30.45^{y}$ | | |
| SEM | 0.5702 | 0.4358 | 0.4588 | | |

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

$^{x,y}$ = ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

**4.3.4 ผลของพันธุ์โคเนื้อภายใต้ระบบการผลิตโคที่แตกต่างและระยะเวลาการบ่มต่อค่าแรงตัดผ่านเนื้อ**

จากการศึกษาพบว่าระบบการผลิตโคมีอิทธิพลต่อค่าแรงตัดผ่านของเนื้อ โดยเนื้อโคขุนโพนยางคำ (TF) มีค่าแรงตัดผ่านของเนื้อต่ำที่สุด (3.96 กก./ลบ.ซม.) เมื่อเทียบกับเนื้อโคภายใต้ระบบการผลิตอื่นๆ ($P<0.05$) และพบว่าเนื้อโคขุนกำแพงแสน (KU) มีค่าแรงตัดผ่านเนื้อรองลงมาจาก TF คือ มีเท่ากับ 5.61 กก./ลบ.ซม. และเนื้อโคขุนลูกผสมบราห์มัน ที่กินเปลือกสับปะรด (BP) มีค่าเท่ากับ 9.52 กก./ลบ.ซม. ซึ่งต่ำกว่าค่าแรงตัดผ่านเนื้อของเนื้อโคขุนลูกผสม บราห์มันที่กินหญ้า (BG) และเนื้อโคพื้นเมือง (TN) ที่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 13.10 และ 14.03 กก./ลบ.ซม. ตามลำดับ

อิทธิพลของระยะเวลาการบ่มพบว่ามีอิทธิพลต่อค่าแรงตัดผ่านเนื้อในทุกระยะเวลาการบ่ม โดยพบว่าเนื้อที่บ่มนานในระยะเวลา 1 วัน มีค่าแรงตัดผ่านเนื้อสูงกว่าเนื้อที่มีระยะเวลาการบ่มนาน 7 และ 14 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 11.14, 8.80 และ 7.80 กก./ลบ.ซม. ตามลำดับ และไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างระบบการผลิตโคและระยะเวลาในการบ่มที่มีผลต่อค่าแรงตัดผ่านเนื้อ ดังแสดงในตารางที่ 4.8

**ตารางที่ 4.8** ค่าแรงตัดผ่านเนื้อในกล้ามเนื้อสันนอกของโคแต่ละระบบการผลิตโคที่แตกต่างกันที่ระยะเวลาการบ่ม 1, 7 และ 14 วัน (กก./ลบ.ซม.)

| ระบบการผลิต | ระยะเวลาการบ่ม (วัน) | | | ค่าเฉลี่ยของเนื้อโคจากแต่ละระบบการผลิต | SEM |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 7 | 14 | | |
| KU | 7.39 | 5.00 | 4.46 | $5.61^{c}$ | 0.1499 |
| TF | 5.10 | 3.71 | 3.06 | $3.96^{d}$ | 0.2841 |
| BG | 15.53 | 12.45 | 11.33 | $13.10^{a}$ | 0.5545 |
| BP | 11.88 | 8.10 | 8.58 | $9.52^{b}$ | 0.6789 |
| TN | 15.78 | 14.74 | 11.56 | $14.03^{a}$ | 0.5714 |
| ค่าเฉลี่ยในแต่ละระยะเวลาการบ่ม | $11.14^{x}$ | $8.80^{y}$ | $7.80^{z}$ | | |
| SEM | 0.5591 | 0.5213 | 0.4503 | | |

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

$^{x,y,z}$ = ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

### 4.3.5 ผลของพันธุ์โคเนื้อภายใต้ระบบการผลิตโคที่แตกต่างและระยะเวลาการบ่มต่อปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ ในเนื้อ

จากการศึกษาพบว่าระบบการผลิตโคมีอิทธิผลต่อปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ ในเนื้อ พบว่าเนื้อโคขุนโพนยางคำ (TF) มีปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ ในเนื้อต่ำสุด (0.15 mg/g ) เมื่อเทียบกับเนื้อโคภายใต้ระบบการผลิตอื่นๆ ($P<0.05$) แต่ไม่แตกต่างจากเนื้อโคขุนกำแพงแสน (KU) ($P>0.05$) และพบว่าเนื้อโคขุนลูกผสมบราห์มัน BG และเนื้อโคพื้นเมือง (TN) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.29 และ 0.27 mg/g ตามลำดับ แต่ไม่จากเนื้อเนื้อโคขุนลูกผสมบราห์มัน BP ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.26 mg/g ($P>0.05$)

ในส่วนของระยะเวลาการบ่มที่แตกต่างกันพบว่าไม่มีผลต่อปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ ในเนื้อ ดังแสดงในตารางที่ 4.9 และไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างระบบการผลิตโคและระยะเวลาการบ่มที่มีต่อปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ ในเนื้อ

**ตารางที่ 4.9** ปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ ในเนื้อในกล้ามเนื้อสันนอกของโคภายใต้ระบบการผลิตโคที่แตกต่างกันที่ระยะเวลาการบ่ม 1, 7 และ 14 วัน (mg/g)

| ระบบการผลิต | ระยะเวลาการบ่ม (วัน) | | | ค่าเฉลี่ยของเนื้อโค | SEM |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 7 | 14 | จากแต่ละระบบการผลิต | |
| KU | 0.15 | 0.16 | 0.23 | $0.18^{bc}$ | 0.1972 |
| TF | 0.15 | 0.14 | 0.17 | $0.15^{c}$ | 0.2540 |
| BG | 0.26 | 0.32 | 0.30 | $0.29^{a}$ | 0.2517 |
| BP | 0.28 | 0.28 | 0.21 | $0.26^{ab}$ | 0.2096 |
| TN | 0.31 | 0.28 | 0.24 | $0.27^{a}$ | 0.2338 |
| ค่าเฉลี่ยในแต่ละระยะเวลาการบ่ม | 0.23 | 0.24 | 0.23 | | |
| SEM | 0.0211 | 0.0286 | 0.0205 | | |

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

**4.3.6 อิทธิพลของพันธุ์โคเนื้อภายใต้ระบบการผลิตโคที่แตกต่างและระยะเวลาการบ่มที่มีผลต่อปริมาณคอลลาเจนทั้งหมด ในเนื้อ**

จากตารางที่ 4.10 ผลการศึกษาปริมาณคอลลาเจนทั้งหมดในเนื้อ พบว่าอิทธิพลของระบบการผลิตโคและระยะเวลาการบ่มไม่มีผลต่อปริมาณคอลลาเจนทั้งหมดในเนื้อ (จากตารางที่ 4.10) และไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างระบบการผลิตโคและระยะเวลาการบ่มที่มีต่อค่าปริมาณคอลลาเจนทั้งหมดในเนื้อ

**ตารางที่ 4.10** ปริมาณคอลลาเจนทั้งหมดในเนื้อของกล้ามเนื้อสันนอกของโคภายใต้ระบบการผลิตโคที่แตกต่างกันที่ระยะเวลาการบ่ม 1, 7 และ 14 วัน (mg/g)

| ระบบการผลิต | ระยะเวลาการบ่ม (วัน) | | | ค่าเฉลี่ยของเนื้อโคจากแต่ละระบบการผลิต | SEM |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 7 | 14 | | |
| KU | 2.64 | 2.53 | 3.06 | 2.74 | 0.2061 |
| TF | 2.87 | 2.05 | 2.89 | 2.60 | 0.2567 |
| BG | 2.86 | 2.76 | 3.49 | 3.03 | 0.2600 |
| BP | 2.35 | 3.50 | 2.73 | 2.86 | 0.2220 |
| TN | 3.09 | 3.03 | 2.59 | 2.90 | 0.2551 |
| ค่าเฉลี่ยในแต่ละระยะเวลาการบ่ม | 2.76 | 2.77 | 2.95 | | |
| SEM | 0.1675 | 0.2112 | 0.1729 | | |

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

# บทที่ 5
# วิจารณ์ผลการทดลอง

## 5.1 ผลของพันธุ์โคเนื้อภายใต้ระบบการผลิตโคที่แตกต่างกันต่อความยาวของซาร์โคเมียร์และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อ ในกล้ามเนื้อสันนอก (Longissimus thoracis)

จากการศึกษาพบว่า เนื้อโคต่างพันธุ์ภายใต้ระบบการผลิตที่แตกต่างกันมีความยาวของซาร์โคเมียร์ที่ 1 ชั่วโมง ภายหลังสัตว์ตายไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ภายหลังสัตว์ตายที่ 24 ชั่วโมง เนื้อโคขุนโพนยางคำ (TF) มีความยาวซาร์โคเมียร์ยาวที่สุด รองลงมาคือเนื้อโคขุนลูกผสมบราห์มันที่กินเปลือกสับปะรด (BP) ซึ่งยาวกว่าเนื้อโคขุนลูกผสมบราห์มันที่กินหญ้า (BG) และเนื้อโคพื้นเมือง (TN) และทำนองเดียวกันพบว่าเนื้อโคขุน TF และเนื้อโคขุน BP มีเปอร์เซ็นต์ของการหดตัวของซาร์โคเมียร์น้อยกว่าเนื้อโคขุน KU เนื้อโคขุน BG และเนื้อโค TN ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ เหตุที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากโคขุนโพนยางคำ มีระยะเวลาขุนนานที่สุด (12-14 เดือน) และมีน้ำหนักเข้าฆ่าสูงสุด รองลงมาคือ โคขุนลูกผสมบราห์มันที่กินเปลือกสับปะรดที่มีระยะเวลาการขุนนานกว่าโคขุนลูกผสมบราห์มันที่กินหญ้าและเนื้อโคพื้นเมือง ซึ่งโคจะได้รับอาหารพลังงานสูงเป็นระยะเวลานาน มีผลทำให้ไขมันหุ้มซากหนาและประกอบกับมีน้ำหนักซากสูง เนื่องจากน้ำหนักโคมีชีวิตเข้าฆ่าสูงกว่ามาก จึงมีผลทำให้การระบายความร้อนออกจากตัวซากภายหลังสิ้นสุดกระบวนการฆ่าเป็นไปได้ช้ากว่า ทำให้การลดลงของอุณหภูมิภายในซากเป็นไปได้ช้า (Smith *et al.* 1976) นอกจากนี้ไขมันหุ้มซากจะช่วยป้องกันความเย็นจากอุณหภูมิในห้องเย็นไม่ให้แทรกผ่านเข้ามาในเนื้อได้เร็ว ซึ่งเป็นการยืดระยะเวลาของการลดอุณหภูมิในซากลง และช่วยป้องกันการหดตัวของซาร์โคเมียร์อย่างรวดเร็วที่นำไปสู่การเกิดการหดตัวอย่างรุนแรงเนื่องจากความเย็น (cold shortening) สอดคล้องกับ Heinemann *et al.* (2003) ที่รายงานว่าเนื้อโคที่ไขมันหุ้มซากหนาจะมีซาร์โคเมียร์ยาวกว่าเนื้อโคที่มาจากซากที่มีไขมันหุ้มซากบาง ในทำนองเดียวกันกับ Bowling *et al.* (1977) และ Burson *et al.* (1980) กล่าวว่าโคที่เลี้ยงด้วยหญ้าและเสริมด้วยอาหารข้น เช่นพวกเมล็ดธัญญพืชต่างๆ (grain feed) หรือ อาหารข้นที่มีพลังงานสูงจะมีความยาวซาร์โคเมียร์ที่ยาวกว่าโคที่เลี้ยงด้วยหญ้าเพียงอย่างเดียว จากการศึกษาครั้งนี้แม้จะไม่ได้ทำการวัดความหนาของไขมันหุ้มซาก แต่ได้ทำการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณไขมันในเนื้อ พบว่า โคขุนโพนยางคำมีปริมาณไขมันแทรกสูงที่สุด ในขณะที่โคขุนลูกผสมบราห์มันที่กินหญ้าและเนื้อโคพื้นเมืองมีปริมาณไขมันแทรกต่ำที่สุด ด้านเนื้อโคขุนกำแพงแสนซึ่งมีปริมาณไขมันแทรกสูงกว่าโคขุนลูกผสมบราห์มันที่กินเปลือกสับปะรด แต่พบว่าซาร์โคเมียร์มีความยาวสั้นกว่า อาจจะเนื่องมาจากการระบายความร้อนจากซาก

โคมีประสิทธิภาพมากกว่า เพราะโคขุนกำแพงแสนมีน้ำหนักตัวเข้าฆ่าน้อยกว่า ซากของโคขุนลูกผสมบราห์มันที่กินเปลือกสับปะรดไม่ได้ทำการลดอุณหภูมิซากทันทีภายหลังการฆ่า โดยซากจะแขวนอยู่ภายนอกห้องเย็นประมาณ 3 ชั่วโมง ก่อนที่จะนำซากเข้าห้องเย็น

นอกจากนี้การที่เนื้อโคขุนลูกผสมบราห์มัน BG และเนื้อโค TN มีเปอร์เซ็นต์การหดตัวของซาร์โคเมียร์รุนแรงกว่าเนื้อโคขุน TF อาจเป็นผลเนื่องมาจากเนื้อโคทั้งสองกลุ่มแรกเป็นเนื้อโคสายเลือด *Bos indicus* ในขณะที่เนื้อโคขุน TF เป็นลูกผสมระหว่างเลือด Taurus และ Indicus ซึ่งมีรายงานพบว่าโคเลือด Indicus จะมีเส้นใยกล้ามเนื้อเป็นชนิด red muscle fiber ในสัดส่วนสูงกว่าชนิด white muscle fiber (Geesink *et al.* 2006) โดย Cena *et al.* (1991) พบว่า เส้นใยกล้ามเนื้อชนิด red type หรือ oxidative fibers จะมีการหดตัวของซาร์โคเมียร์รุนแรงมากกว่าเส้นใยกล้ามเนื้อ white type ทั้งนี้เนื่องจากพวก white fibers type มีจำนวน mitochondria น้อยกว่า และ sarcoplasmic reticulum มีการพัฒนาที่ดีกว่าในเส้นใยกล้ามเนื้อ red muscle การปั๊มเข้าและออกของ $Ca^{2+}$ ระหว่าง sarcoplasm และ sarcoplasmic reticulum มีประสิทธิภาพมากกว่า โอกาสของการเกิด cold shortening จะมีน้อยกว่ามาก (Pearson and Young.1989)

ด้านขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อพบว่า เนื้อโคขุนโพนยางคำ (TF) ซึ่งเป็นโคที่มีอายุเฉลี่ยในการเข้าฆ่า (3½ ปี) มากกว่ากลุ่มระบบการผลิตอื่นๆ มีขนาดความยาวของเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อยาวที่สุด และพบว่าในเนื้อโคพื้นเมือง (TN) ซึ่งมีน้ำหนักตัวเข้าฆ่าและมีอายุเฉลี่ยน้อยที่สุด (2 ปี) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อสั้นที่สุด สอดคล้องกับการรายงานของ Tuma *et al.* (1962) ที่รายงานว่าในกล้ามเนื้อ Logissimus dorsi ของโคพันธุ์เฮียร์ฟอร์ดเมื่อโคมีอายุเพิ่มขึ้นขนาดของเส้นใยกล้ามเนื้อมีขนาดใหญ่เพิ่มขึ้น จาก 53.9 ไมครอน เมื่อมีอายุ 6 เดือน เพิ่มเป็น 65.1 ไมครอน เมื่อมีอายุได้ 24 เดือน ในขณะที่จันทร์พร เจ้าทรัพย์ (2538) พบว่าระดับอาหารข้นมีอิทธิพลต่อขนาดเส้นใยกล้ามเนื้อของสัตว์เคี้ยวเอื้อง ซึ่งกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารข้น (ระดับ 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อยาวมากกว่ากลุ่มที่เลี้ยงด้วยหญ้าเพียงอย่างเดียว โดยมีค่าเท่ากับ 63.72, 57.71 และ 51.20 ไมครอน ตามลำดับ ($P<0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ จุฑารัตน์ และคณะ (2545) ที่ทำการศึกษาในโคพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเซี่ยน (โฮลสไตน์ 75% ขึ้นไป) พบว่าระดับอาหารข้นมีอิทธิพลต่อขนาดเส้นใยกล้ามเนื้อ โดยกลุ่มที่ได้รับอาหารข้นในระดับ 1.75 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อมากกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารข้นในระดับ 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว โดยมีค่าเท่ากับ 69.65 และ 64.35 ไมครอน ตามลำดับ ($P<0.05$)

อย่างไรก็ตามพบว่าโคขุนกำแพงแสนมีน้ำหนักโคมีชีวิตเข้าฆ่า สูงกว่าโคขุนลูกผสมบราห์มันทั้ง 2 กลุ่ม แต่มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อเล็กกว่า ซึ่งแตกต่างอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งอาจจะเป็นผลเนื่องมาจากความแตกต่างทางสายพันธุ์ และอาจเนื่องมาจากโคขุนลูกผสมบราห์มันทั้ง 2 กลุ่ม มีการฝังฮอร์โมน (Synovex) เพื่อเร่งการเจริญเติบโตและการสร้างโปรตีนในกล้ามเนื้อ จึงเป็นไปได้มากที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อจะมากกว่าโคขุนกำแพงแสนซึ่งไม่มีการใช้ฮอร์โมน ทั้งนี้มีรายงานของ Ono *et al.* (2000) พบว่าการใช้ฮอร์โมน (Synovex) ร่วมกับการใช้ growth hormone มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของปริมาณ muscle fiber type และขนาดของเส้นใยกล้ามเนื้อ โดยจะพบชนิด white fiber (fast-twitch glycolytic) เพิ่มขึ้นและขนาดของเส้นใยกล้ามเนื้อใหญ่ขึ้น

## 5.2 ผลของพันธุ์โคเนื้อภายใต้ระบบการผลิตโคที่แตกต่างกันต่อองค์ประกอบทางเคมีในกล้ามเนื้อ Longissmus thoracis

ผลจากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีในเนื้อโคที่ภายใต้ระบบการผลิตโคที่แตกต่างกัน พบว่าเปอร์เซ็นต์ไขมันในเนื้อโคขุนโพนยางคำ (TF) มีค่าสูงสุด รองลงมาเป็น โคขุนกำแพงแสน (KU) และโคขุนลูกผสมบราห์มันกินเปลือกสับปะรด (BP) สำหรับโคขุนลูกผสมบราห์มันกินหญ้า (BG) และโคพื้นเมืองมีปริมาณไขมันแทรกน้อยที่สุด และไม่แตกต่างกันทางสถิติ ทั้งนี้เนื่องมาจากโคขุน TF และ KU เป็นโคขุนลูกผสมที่มีเลือดยุโรป อีกทั้งยังได้รับการขุนด้วยอาหารข้นระดับสูงเป็นเวลานาน ซึ่งผลการศึกษาของ เกียรติศักดิ์ รักสถาน (2549) ที่เก็บข้อมูลจากโคขุนโพนยางคำ พบว่าระยะเวลาการขุนมีอิทธิพลต่อระดับคะแนนไขมันแทรก ทั้งนี้เมื่อระยะเวลาในการขุนนานขึ้นระดับคะแนนไขมันแทรกเพิ่มขึ้น โดยระยะเวลาในการขุนมากกว่า 550 วัน มีระดับคะแนนไขมันแทรก (3.37) สูงกว่าโคที่มีระยะเวลาขุนน้อยกว่า 350 วัน 350-450 วัน และ 451-550 วัน (3.16, 3.18 และ 3.22 ตามลำดับ) ($P<0.05$) ทั้งนี้ Vestergaard *et al* (2000) รายงานว่า ปริมาณไขมันแทรกจะลดลง 50% ในโคที่เลี้ยงด้วยระบบการจัดการแบบปล่อย (extensive) เมื่อเปรียบเทียบกับโคที่เลี้ยงในระบบการจัดการแบบขังคอกขุนด้วยอาหารข้น (intensive) โดยพบว่าในโคที่น้ำหนักเฉลี่ย 460 กก. จะมีปริมาณไขมันแทรกมากกว่าโคที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 360 กก. นอกจากนี้ยังขึ้นกับพันธุ์และระดับพลังงานในอาหารที่ได้รับอีกด้วย ซึ่งสอดคล้องกับ Nuernberg *et al.* (2005) และ Sami *et al.* (2004) รายงานว่าโคที่กินอาหารพลังงานสูงเป็นผลทำให้มีปริมาณไขมันแทรก (intramuscular fat) สูงขึ้นด้วย และยังพบว่าโคที่เลี้ยงในระบบการจัดการอาหารแบบ intensive ที่เลี้ยงขังคอกและขุนด้วยอาหารข้นจะมีปริมาณไขมันสูงและมีค่าความชื้นต่ำกว่าโคที่เลี้ยงในระบบการจัดการอาหารแบบ extensive ที่มีการเลี้ยงแบบปล่อยทุ่งหญ้า สอดคล้องกับการศึกษาครั้งนี้ที่พบว่า โคขุนลูกผสมบราห์มันที่กินเปลือกสับปะรดมีเปอร์เซ็นต์ไขมันแทรกสูงกว่าโคขุนลูกผสมบราห์มันที่กิน

หญ้า เนื่องจากกลุ่มแรกจะมีระยะการขุนที่นานกว่า และเปลือกสับปะรดหมักมีพลังงานสูงกว่าหญ้าอีกด้วย

ด้านอิทธิพลของพันธุ์ Huffman *et al.* (1990) กล่าวว่าเมื่อระดับเลือดของบราห์มันเพิ่มสูงขึ้นเป็น 50 และ 75 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ปริมาณไขมันแทรกลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Marchall (1994) พบว่าโคลูกผสมที่มีระดับเลือดโคบราห์มัน 25, 50 และ 75 เปอร์เซ็นต์ ระดับไขมันแทรกและความนุ่มของเนื้อจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้จากการศึกษาครั้งนี้ โคขุนลูกผสมบราห์มันทั้งสองกลุ่มมีเลือดบราห์มันสูงมากกว่า 50 เปอร์เซนต์ ดังนั้นปริมาณของไขมันแทรกในเนื้อจึงถูกจำกัดด้วยปัจจัยด้านพันธุ์อีกด้วย นอกเหนือจากระยะเวลาการขุนที่สั้นกว่า

คุณภาพเนื้อด้านปริมาณคอลลาเจนที่ละลาย พบว่าเนื้อโคขุนลูกผสมที่มีเลือดชาร์โรเล่ส์ทั้งสองกลุ่มคือ เนื้อโค TF และเนื้อขุน KU มีปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้น้อยกว่าในเนื้อโคพื้นเมือง ซึ่งอาจเนื่องมาจากอายุของโคขุน TF และ KU มากกว่าโคพื้นเมืองซึ่งมีอายุไม่เกิน 2 ปี ซึ่ง Lavrie (1970) พบว่าคอลลาเจนที่เป็นโปรตีนที่พบมากที่สุดในเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน เมื่อสัตว์มีอายุมากขึ้นปริมาณเนื้อเยื่อเกี่ยวพันในกล้ามเนื้อจะลดลง ซึ่งสอดคล้องกับ Johnson *et al.* (1990) ที่ทำการศึกษาพบว่าอายุโคมีอิทธิพลต่อชนิดและปริมาณคอลลาเจนในเนื้อโค โดยกลุ่มลูกโคที่มีอายุเข้าฆ่า 7 เดือน จะมีปริมาณของปริมาณคอลลาเจนทั้งหมดและปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ในเนื้อมากกว่ากลุ่มโคที่มีอายุเข้าฆ่า 1 ปี ทั้งนี้ ชัยณรงค์ คันธพนิต (2529) กล่าวว่า ในขณะที่มีการขยายขนาดของเส้นใยกล้ามเนื้ออยู่นั้น จะทำให้ปริมาณของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันลดลงไปอย่างมาก นอกจากนี้ Johnson *et al.* (1990) รายงานว่าไม่พบความแตกต่างทางสถิติของปริมาณคอลลาเจนทั้งหมดและปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ในเนื้อโคลูกผสมที่มีระดับเลือดบราห์มันต่างกัน (0, 25, 50 และ 75 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ไม่พบความแตกต่างของปริมาณคอลลาเจนทั้งหมดและปริมาณคอลาเจนที่ละลายได้ในเนื้อโคขุนลูกผสมบราห์มันทั้งสองกลุ่ม และยังไม่พบความแตกต่างของปริมาณคอลลาเจนทั้งหมดในเนื้อโคทุกกลุ่มที่ทำการศึกษา แต่การที่โคขุนลูกผสมบราห์มันทั้งสองกลุ่มมีปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้สูงกว่าลูกผสมโคขุนเลือดชาร์ไรเล่ส์ทั้งสองกลุ่มทั้งๆ ที่มีอายุใกล้เคียงกัน อาจจะเนื่องมาจากโคขุนลูกผสมบราห์มันทั้งสองกลุ่มได้รับการฝังฮอร์โมนกลุ่ม anabolic hormone ซึ่งมีรายงานของ Cranwell *et al.* (1996) ที่พบว่าเนื้อโคเพศเมียอายุมากที่ได้รับการฝังฮอร์โมนดังกล่าวจะมีปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้สูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้ใช้ฮอร์โมน

## 5.3 ผลของพันธุ์โคเนื้อภายใต้ระบบการผลิตโคที่แตกต่างกันที่มีผลต่อคุณภาพเนื้อ

การศึกษาอิทธิพลของพันธุ์โคเนื้อภายใต้ระบบการผลิตโคที่แตกต่างกันในประเทศไทยที่มีผลต่อคุณภาพเนื้อ พบว่าค่า pH ในกล้ามเนื้อสันนอกของโคขุนโพนยางคำ (TF) มีค่า pH ต่ำที่สุด ซึ่งอาจเป็นผลมาจากโคขุน TF มีน้ำหนักซากที่มากกว่า รวมทั้งโคขุน TF ได้รับอาหารพลังงานสูงและมีระยะเวลาในการขุนนาน ซากจึงมีไขมันหุ้มซากหนากว่า ซึ่ง Smith *et al.* (1976) กล่าวว่า การสะสมไขมันหุ้มซากมาก ทำให้ชะลอการลดลงของอุณหภูมิภายในซาก หรือการระบายความร้อนออกจากซากเป็นไปได้ช้า ทำให้อุณหภูมิภายในซากลดลงได้ช้า จึงมีผลไปเร่งปฏิกิริยา anaerobic glycolysis ทำให้ค่า pH ลดลงเร็ว และลดลงถึงค่า ultimate pH เร็วขึ้น

ระบบการผลิตโคมีอิทธิพลต่อค่าสีของเนื้อ (L* a* และ b*) ทั้งนี้พบว่าเนื้อโคขุนโพนยางคำ (TF) มีค่าความสว่าง (L*) ค่าความเข้มของสีแดง (a*) และค่าความมีสีเหลือง (b*) ในเนื้อสูงสุด แตกต่างจากเนื้อโคกลุ่มอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เหตุผลที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากระบบการเลี้ยงโคขุนโพนยางคำเป็นการเลี้ยงแบบขุนเต็มที่โดยให้อาหารข้นเป็นระยะเวลานานถึง 12-14 เดือน ซึ่งนานกว่าระบบการเลี้ยงโคขุนของกลุ่มอื่น มีผลทำให้มีปริมาณไขมันแทรกสูงประกอบกับมีอายุเฉลี่ยของโคสูงกว่ากลุ่มอื่น สอดคล้องกับการศึกษาของ Bruce *et al.* (2004) ที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบระบบการให้อาหารแบบขุนด้วยอาหารข้นเพียงอย่างเดียวเป็นเวลา 74 วันเปรียบเทียบกับการเลี้ยงด้วยหญ้าเพียงอย่างเดียว โดยทดสอบในโคเพศผู้ตอนพันธุ์บราห์มัน พบว่าโคที่เลี้ยงด้วยอาหารข้นจะให้ค่า L* และค่า a* สูงกว่า นอกจากนี้ยังมีการศึกษาของ Vesterguard *et al.* (2000) และ Keane and Allen (1998) ที่พบว่าระบบการเลี้ยง intensive ซึ่งมีการให้อาหารที่มีพลังงานสูง ค่าสี a* จะสูงกว่า เนื่องจากพบว่ามีปริมาณของ heme pigment สูงกว่า นอกจากนี้ผลการศึกษาครั้งนี้ยังพบว่าค่า pH ในเนื้อโคขุนโพนยางคำต่ำกว่าเนื้อโคกลุ่มอื่นๆ ซึ่งอาจมีส่วนทำให้ความสามารถของโปรตีนในเนื้อในการจับกับน้ำที่เป็นอิสระมีประสิทธิภาพน้อยกว่าการจับกันระหว่างน้ำและโปรตีนในเนื้อไม่แข็งแรง ทำให้มีโอกาสที่โครงสร้างภายในของเส้นใยกล้าเนื้อเป็นแบบเปิด (open structure) และเกิดปฏิกริยา oxygenation ระหว่าง oxygen กับ myoglobin ประกอบกับการสะท้อนกลับของแสงบนน้ำที่เป็นอิสระที่เกิดขึ้นที่ผิวหน้าตัดของเนื้อ มีผลทำให้มีค่าความสว่างของเนื้อ (L*) สูงขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Page *et al.* (2001) ที่พบว่าค่าสีของเนื้อมีความสัมพันธ์ในทางลบกับค่า pH ในเนื้อ

นอกจากนี้การที่ค่า b* ของเนื้อโคขุนโพนยางคำสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ เป็นผลเนื่องมาจากระยะการขุนที่นานกว่าทำให้มีปริมาณไขมันแทรกสูงประกอบกับโคขุนโพนยางคำเป็นโคลูกผสมระหว่างเลือด Taurus และ Indicus ในขณะที่เนื้อโคพื้นเมือง เนื้อโคลูกผสมบราห์มันทั้งสองกลุ่ม มาจาก

โคบราห์มันผสมกับโคพื้นเมืองซึ่งเป็นโคเลือด Indicus ทั้งคู่ ทั้งนี้สอดคล้องกับ Wulf *et al.* (1997) และ Page *et al.* (2001) ที่รายงานว่าโคตระกูล *Bos taurus* จะมีปริมาณไขมันแทรกสูงกว่าโคตระกูล *Bos indicus*

ด้านคุณภาพเนื้อในส่วนของเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการทำให้สุก จากการทดลองนี้พบว่าในเนื้อโคขุนโพนยางคำ (TF) มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการทำให้สุกต่ำที่สุด ($P<0.05$) ซึ่งในเนื้อโคขุนลูกผสมบราห์มัน BP และเนื้อโคขุนกำแพงแสน (KU) ไม่มีความแตกต่างกัน ส่วนเนื้อโคพื้นเมือง (TN) พบว่ามีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการทำให้สุกของเนื้อสูงที่สุด ($P<0.05$) ทั้งนี้พบว่าระดับไขมันแทรกภายในเนื้อเป็นปัจจัยที่ทำให้เนื้อโคขุนโพนยางคำ (TF) มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการทำให้สุกต่ำที่สุด ซึ่งจากการศึกษาพบว่าปริมาณไขมันในเนื้อโคขุนโพนยางคำ (TF) มีค่าสูงสุด รองลงมาเป็นโคขุนกำแพงแสน (KU) และโคขุนลูกผสมบราห์มันกินเปลือกสับปะรด (BP) สำหรับโคขุนลูกผสมบราห์มันกินหญ้า (BG) และโคพื้นเมืองมีปริมาณไขมันแทรกน้อยที่สุด โดย Savell and Cross (1988) ได้อธิบายไว้ว่า ไขมันสามารถป้องกันการเสียสภาพของโปรตีนได้ โดยปกติโปรตีนในเนื้อทำหน้าที่เกี่ยวกับการจับน้ำในกล้ามเนื้อ เมื่อนำเนื้อมาปรุงสุก โปรตีนจะเกิดการเสื่อมสภาพและสูญเสียความสามารถในการจับน้ำ ซึ่งไขมันจะเป็นฉนวนในการถ่ายเทความร้อนหรือชะลอการส่งผ่านความร้อนทำให้สูญเสียโปรตีนที่เสื่อมสภาพน้อยลง ส่งผลให้เนื้อสูญเสียความชื้นในระหว่างการปรุงสุกลดลง

ด้านคุณภาพเนื้อที่เกี่ยวข้องกับความนุ่มพบว่าค่าแรงตัดผ่านในกลุ่มโคที่มีเลือด *Bos indicus* สูงมีค่าแรงตัดผ่านเนื้อมากกว่าในกลุ่มโคที่มีเลือด *Bos taurus* สูง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Page *et al.* (2001) Marchall (1994) และ Wheeler *et al.* (1990) ที่รายงานว่าโคที่มีระดับเลือด *Bos indicus* ที่มีสัดส่วนเพิ่มขึ้นจะมีความสัมพันธ์กับความนุ่มที่ลดลง และพบว่าเนื้อที่ได้จากโคลูกผสม *Bos indicus* จะมีความนุ่มน้อยกว่าเนื้อโคลูกผสม *Bos taurus* ถึงแม้จะมีระดับไขมันแทรกที่เท่ากันก็ตาม และในโคลูกผสมที่มีระดับเลือด *Bos indicus* ที่เพิ่มสูงขึ้นเนื้อจะมีความเหนียวมากกว่าเมื่อเทียบกับเนื้อโคลูกผสมที่มีระดับเลือด *Bos indicus* ที่ต่ำกว่า นอกจากนี้โคที่ได้รับอาหารพลังงานสูงจะมีการสะสมไขมันหุ้มซากสูงกว่า ทำให้ชะลอการลดลงของอุณหภูมิภายในซาก มีผลทำให้ไปเร่งกระบวนการทำงานของเอ็มไซม์ที่ย่อยสลายโปรตีนภายในกล้ามเนื้อทำงานได้เร็วขึ้น (Smith *et al.* 1976) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาในครั้งนี้ พบว่าเนื้อโคพื้นเมือง (TN) และเนื้อโคขุนลูกผสมบราห์มันที่กินหญ้า (BG) มีค่าแรงตัดผ่านเนื้อสูงที่สุดและเนื้อโคขุนโพนยางคำ (TF) มีค่าแรงตัดผ่านของเนื้อต่ำที่สุด ($P<0.05$) ทั้งนี้พบว่าระดับไขมันแทรกภายในเนื้อเป็นปัจจัยที่ทำให้เนื้อโคขุนโพนยางคำ (TF) มีความนุ่มมากที่สุด รองลงมา เนื้อโคขุนกำแพงแสน (KU) และเนื้อโคขุนลูกผสมบราห์มันที่กินเปลือกสับปะรด (BP) ส่วนกลุ่มเนื้อโคพื้นเมือง (TN) และเนื้อโคขุนลูกผสมบราห์มัน

ที่กินหญ้า (BG) มีปริมาณไขมันแทรกน้อยที่สุด โดย Wood *et al.* (1999) รายงานว่าในกล้ามเนื้อที่มีปริมาณไขมันแทรกสูง เนื้อจะลดสัดส่วนของ fibrous protein ในเนื้อลง โดยไขมันแทรกจะไปลดความต้านทานของกล้ามเนื้อต่อแรงตัดผ่านของเนื้อลง จึงทำให้เนื้อมีความนุ่มมากขึ้น สอดคล้องกับ Savell and Cross (1988) ที่ได้อธิบายถึง ไขมันแทรกในเนื้อที่ทำให้เนื้อจะมีความนุ่มเพิ่มขึ้น กล่าวคือ ไขมันจะไปแทรกอยู่ระหว่างกล้ามเนื้อ และเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ทำให้แรงตึงของกล้ามเนื้อและแรงตึงในเนื้อเยื่อเกี่ยวพันลดลง จึงเป็นเหตุให้เนื้อมีความนุ่มเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ไขมันแทรกในเนื้อยังทำให้รู้สึกว่าเนื้อนั้นมีความฉ่ำน้ำ เคี้ยวง่าย และนุ่มขึ้นอีกด้วย

## 5.4 อิทธิพลของระยะเวลาการบ่มที่มีผลต่อคุณภาพเนื้อ

อิทธิพลของระยะเวลาการบ่มที่มีผลต่อคุณภาพเนื้อ พบว่าค่า pH ในกล้ามเนื้อไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการบ่มที่นานขึ้น โดย Johnson (2001) กล่าวว่าในกล้ามเนื้อของสัตว์ที่ยังมีชีวิตค่า pH จะอยู่ที่ประมาณ 7-7.4 ภายหลังสัตว์ตาย ค่า pH ในกล้ามเนื้อจะลดลง กลายเป็น 5.6–5.7 ภายในเวลา 6–8 ชั่วโมงหลังฆ่า จนกระทั่งที่เวลา 24 ชั่วโมงหลังสัตว์ตาย ค่า pH ของกล้ามเนื้อจะอยู่ที่ประมาณ 5.3–5.6 ซึ่งเป็นค่า pH สุดท้ายที่ไม่สามารถลดลงไปได้อีกแล้ว เรียกว่า ultimate pH

ส่วนค่าสีของเนื้อค่า L* พบว่าที่ระยะเวลาการบ่มนานขึ้น สีของเนื้อมีความสว่างมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากโปรตีนในกล้ามเนื้อเกิดการเสื่อมสภาพ ส่งผลทำให้การอุ้มน้ำของเนื้อลดต่ำลงและน้ำในเนื้อถูกปล่อยออกมามากขึ้น ดังนั้นเมื่อมีแสงมาตกกระทบกับเนื้อ จึงเกิดการสะท้อนกลับของแสงได้มาก ทำให้ดูเหมือนเนื้อนั้นมีความสว่างมากขึ้น (Bruce *et al.* 2004) และยังพบว่า ค่า a* และ b* สูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการบ่มนานขึ้น โดย Page *et al.* (2001) รายงานว่า ค่า b* (yellowness) มีความสัมพันธ์กับสีของไขมันในเนื้อที่เพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการบ่ม โดยพบว่าสีของไขมันขาวนวลมากขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นผลสืบเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีของไขมัน ซึ่งเกิดปฏิกิริยา lipid oxidation มีผลทำให้เกิดการหืนของไขมัน ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Berruga *et al.* (2005) ที่พบว่าค่า b* จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น และค่า b* จะมีความสัมพันธ์กับค่า thiobarbituric acid (TBA) ที่เป็นดัชนีวัดความเสื่อมสภาพของไขมัน ด้านเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการทำให้สุก พบว่าที่ระยะเวลาการบ่มนานขึ้นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการทำให้สุกเพิ่มสูงขึ้น สอดคล้องกับ ปิยะดา ทวิชศรี (2544) พบว่า การบ่มเนื้อนาน 7 วัน ภายหลังสัตว์ตาย จะมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการทำให้สุกสูงกว่าการบ่มเนื้อที่ 1 วัน ภายหลังสัตว์ตาย ($P<0.05$) เนื่องมาจากเนื้อที่ทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน จะมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการเก็บรักษาสูงกว่าที่ระยะเวลา 1 วัน ภายหลังสัตว์ตาย

เพราะหากปริมาณน้ำภายในเนื้อสูญหายไปในระหว่างการเก็บรักษามากจะส่งผลให้ปริมาณน้ำสูญหายไปในระหว่างขบวนการทำให้สุกมากขึ้นตามไปด้วย

# บทที่ 6
# สรุปและข้อเสนอแนะ

## 6.1 สรุป

การศึกษาอิทธิพลของพันธุ์โคเนื้อภายใต้ระบบการเลี้ยงที่เป็นอยู่ในประเทศไทย 5 กลุ่ม ซึ่งได้แก่โคขุนลูกผสมระหว่างเลือด Taurus และ Indicus คือกลุ่มโคขุนโพนยางคำ (TF) กลุ่มเนื้อโคขุนกำแพงแสน (KU) กลุ่มโคขุนลูกผสมเลือด Indicus ระหว่างโคบราห์มันเลือดสูงและโคพื้นเมือง คือกลุ่มโคลูกผสมบราห์มันที่กินเปลือกสับปะรด (BP) และเนื้อโคขุนลูกผสมบราห์มันที่กินหญ้า (BG) และเนื้อโคพื้นเมืองเลือด Indicus ที่กินหญ้าตามธรรมชาติ (TN) ที่มีต่อคุณภาพเนื้อโดยจากข้อมูลที่ทำการศึกษาสรุปได้ดังนี้

1. ความนุ่มของเนื้อโค

ผลจากการศึกษาพบว่าเนื้อโคขุนโพนยางคำที่เป็นโคลูกผสมที่มีเลือด Taurus และ Indicus และมีระยะเวลาในการขุนนานที่สุด มีความนุ่มมากที่สุด ทั้งนี้โดยวัดจากค่าแรงตัดผ่านเนื้อที่น้อยที่สุด รองลงมาคือ เนื้อโคขุนกำแพงแสนและเนื้อที่มีความนุ่มน้อยที่สุดคือ เนื้อโคพื้นเมืองที่ไม่ได้ทำการขุนและมีเลือด Indicus ทั้งหมด ส่วนเนื้อโคลูกผสมบราห์มันพบว่ากลุ่มที่กินเปลือกสับปะรดจะมีความเหนียวน้อยกว่า ทั้งนี้ปัจจัยสำคัญที่ทำให้เนื้อนุ่มคือระดับไขมันแทรกที่อยู่ภายในเนื้อ ซึ่งผลจากการวิเคราะห์พบว่า เนื้อโคขุนโพนยางคำมีปริมาณไขมันแทรกสูงที่สุด รองลงมาคือ เนื้อโคกำแพงแสน เนื้อโคขุนลูกผสมบราห์มันที่กินเปลือกสับปะรดและเนื้อโคขุนลูกผสมบราห์มันที่กินหญ้า และเนื้อที่มีปริมาณไขมันแทรกน้อยที่สุดคือ เนื้อโคพื้นเมืองที่กินหญ้า

ในทางตรงกันข้ามผลของการวิเคราะห์หาปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้พบว่า เนื้อโคขุนโพนยางคำและเนื้อโคขุนกำแพงแสนมีปริมาณน้อยกว่าเนื้อโคพื้นเมือง ทั้งนี้เนื่องจาก โคพื้นเมืองมีอายุน้อยกว่า ในขณะที่เนื้อโคขุนลูกผสมบราห์มันทั้งสองกลุ่มมีอายุใกล้เคียงกับเนื้อโคขุนลูกผสมเลือดยุโรป แต่พบว่ามีปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้สูงกว่า อาจจะเป็นผลมาจากการใช้ฮอร์โมนในการขุนโคลูกผสมบราห์มัน

นอกจากนี้ยังพบว่าความยาวของซาร์โครเมียร์ที่ 24 ชั่วโมงภายหลังสัตว์ตายของโคขุนโพนยางคำมีความยาวมากที่สุด ซึ่งสัมพันธ์กับความนุ่มในเนื้อที่มีมากที่สุดด้วย ส่วนเนื้อโคในกลุ่มอื่น การที่พบว่ามีความยาวซาร์โครเมียร์หดสั้นมากกว่าอาจจะเป็นผลเนื่องมาจากโคที่มีเลือด Indicus ในระดับสูง จะมีปริมาณเส้นใยกล้ามเนื้อ Type I สูง ซึ่งจะมีการหดตัวของเส้นใยกล้ามเนื้อที่รุนแรงมากกว่า

2. ค่าสีของเนื้อ

ผลจากการศึกษาพบว่าโคลูกผสมที่มีเลือด Taurus และ Indicus มีค่าสีของเนื้อ ค่าความสว่าง (L*) ค่าความเข้มของสีแดง (a*) และค่าความมีสีเหลือง (b*) ในเนื้อสูง โดยเฉพาะเนื้อโคขุนโพนยางคำ ซึ่งมีค่าสีมากกว่าเนื้อโคขุนกำแพงแสน ถึงแม้ว่าจะมีการขุนด้วยอาหารข้นเหมือนกัน แต่เนื่องจากโคขุนโพนยางคำ มีระยะเวลาในการขุนนานกว่าเนื้อจึงมีสีสดกว่า ส่วนเนื้อโคในกลุ่มอื่น พบว่าเนื้อมีค่าสีต่ำกว่าอาจจะเป็นผลเนื่องมาจาก สายพันธุ์ ระบบการเลี้ยงในการให้อาหารและระยะเวลาการขุนที่แตกต่างกัน

นอกจากนี้พบว่าค่า b* ของเนื้อโคขุนโพนยางคำสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากระยะการขุนที่นานกว่า ทำให้เนื้อมีปริมาณไขมันแทรกสูง และประกอบกับโคขุนโพนยางคำเป็นโคลูกผสมระหว่างเลือด Taurus และ Indicus และเนื้อโคที่มี b*น้อยที่สุดคือ เนื้อโคพื้นเมืองที่ไม่ได้ทำการขุนและกินหญ้าเพียงอย่างเดียวและมีเลือด Indicus เท่านั้น

จากการศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาการบ่มที่ 1, 7 และ14 วัน ที่มีต่อคุณภาพเนื้อสรุปได้ดังนี้

1. ความนุ่มของเนื้อโค

ผลจากการศึกษาพบว่าระยะเวลาในการบ่มเนื้อที่นานขึ้น 1, 7 และ14 วัน เป็นผลทำให้เนื้อมีความนุ่มเพิ่มขึ้นในทุกระยะการบ่มอย่างชัดเจน ทั้งนี้โดยวัดจากค่าแรงตัดผ่านเนื้อที่ลดลงในทุกระยะของการบ่ม

2. ค่าสีของเนื้อ

จากการศึกษาพบว่าที่ระยะเวลาการบ่มที่นานขึ้นจาก 1, 7 และ14 วัน มีผลทำให้สีของเนื้อเปลี่ยนแปลงไป พบว่าค่าสีของเนื้อที่เป็น ค่าความสว่าง (L*) และค่าความเข้มของสีแดง (a*) เพิ่มขึ้นที่ระยะเวลาการบ่ม 7 และ 14 วัน โดยทำให้เนื้อมีความสว่างมากขึ้น และสีแดงของเนื้อเข้มขึ้น ซึ่งค่าความมีสีเหลือง (b*) พบว่า มีค่าสูงขึ้นในทุกระยะของการบ่มเนื้ออย่างชัดเจน ซึ่งเป็นผลเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสีของไขมันแทรกในเนื้อ ที่เกิดปฏิกิริยา auto-oxidation ของไขมัน เมื่อเนื้อมีระยะเวลาการบ่มเนื้อที่นานขึ้น

## 6.2 ข้อสังเกตุและข้อเสนอแนะ

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความนุ่มของเนื้อโคเกี่ยวข้องกับปริมาณไขมันแทรกในเนื้อเป็นอย่างมาก ซึ่งเกี่ยวข้องกับระยะเวลาในการขุนที่นานถึง 8-12 เดือน นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับระดับเลือดโค Indicus โดยโคพื้นเมืองและโคขุนลูกผสมเลือดบราห์มัน เป็นโคเลือด Indicus ดังนั้นเนื้อจึงมีความเหนียวและพบว่าระยะเวลาการบ่มเนื้อเพียง 14 วันไม่เพียงพอที่จะทำให้เนื้อนุ่มในระดับที่ยอมรับได้ ดังนั้นในโคลูกผสมบราห์มันนอกจากจะเพิ่มระยะเววลาในการบ่มเนื้อให้นานขึ้นแล้ว ควรมีการเพิ่มระยะเวลาการขุนให้นานขึ้น เพื่อให้เนื้อมีการสะสมของไขมันแทรกเพิ่มขึ้น

อีกทั้งยังพบว่าในระหว่างการบ่มมีการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (คอลลาเจน) ในเนื้อเกิดขึ้นน้อยมาก แต่หากยืดระยะเวลาในการบ่มให้นานขึ้นเนื่อเยื่อเกี่ยวพันจะเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยเกิดการย่อยสลายตัวเอง (autolysis) ทำให้เนื้อมีความนุ่มเพิ่มขึ้น

# บรรณานุกรม


กรมปศุสัตว์. 2550. สถิตินำเข้า-ส่งออก สินค้าปศุสัตว์ ปี 2550. กรมปศุสัตว์. **[Online].** Available: http://www.dld.go.th/ict/stat_web/yearly/yearly50/imex50. [11/02/2009].

กองอาหารสัตว์. 2549. **การศึกษาเปรียบเทียบการใช้หญ้าสดกับเปลือกสับปะรดเป็นอาหารโค.** กรุงเทพมหานคร: กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

เกียรติศักดิ์ รักสถาน. 2549. ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพซากของโคขุนโพนยางคำ.ปัญหาพิเศษระดับปริญญาตรีสาขาสัตวศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

จันทร์พร เจ้าทรัพย์. 2538. "การศึกษาเปรียบเทียบสมบัติบางประการของกล้ามเนื้อและขนาดเส้นผ่าศูนย์ กลางเส้นใยกล้ามเนื้อระหว่างกระบือแลโคขุนอายุน้อย" วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสัตวบาล บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จินดา สนิทวงศ์ ณ อยุธยา. 2547. การใช้เศษเหลือและผลพลอยได้จากสับปะรดเป็นอาหารสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง. กองอาหารสัตว์. กรมปศุสัตว์. **[Online].** Available: http://www.dld.go.th/nutrition/Research_knowlage/RESEARCH_full/2547/R4743.doc. [22/11/2008].

จุฑารัตน์ เศรษฐกุล. 2539. **เอกสารประกอบการสอนวิทยาศาสตร์เนื้อสัตว์ขั้นสูง.** ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ.

จุฑารัตน์ เศรษฐกุล. 2543. **การจัดการโรงฆ่า.** พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพ ฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

จุฑารัตน์ เศรษฐกุล และ ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ. 2548. **คุณภาพเนื้อโคภายใต้ระบบการผลิตและการตลาดของประเทศไทย.** กรุงเทพมหานคร: สุพีเรียพริ้นติ้งเฮ้าส์.

จุฑารัตน์ เศรษฐกุล จันทร์พร เจ้าทรัพย์ ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ และปิยะดา ทวิชศรี. 2545. "ผลของระดับอาหารข้นและการบ่มเนื้อที่มีต่อคุณภาพเนื้อโคนม". **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร.** 33: 341-345.

จุฑารัตน์ เศรษฐกุล ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ และปีย์ชนิตร์ อินทรพรอุดม. 2551. "ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของซาร์โคเมียร์และความนุ่มของเนื้อโคขุนกำแพงแสนในระยะเวลาการบ่มต่างๆ. หน้า 160-163. ใน **การประชุมวิชาการทางสัตวศาสตร์ ครั้งที่ 4.** ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

จรัญ จันทลักขณา. 2546. "แนวทางการพัฒนาโคกำแพงแสนในอนาคต". **วารสารสัตวบาล.** 13(62): 21-30.

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

ธนนันท์ ศุภกิจจานนท์. 2547. **"คุณภาพซากและผลตอบแทนในการผลิตเนื้อโคคุณภาพสูงจากโคลูกผสมเลือดบราห์มัน"** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสัตวศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร.

ปิยะดา ทวิชศรี. 2544. **"อิทธิพลของชนิดสัตว์เคี้ยวเอื้องและอัตราการเจริญเติบโตต่อคุณภาพเนื้อ"** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสัตวศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ปิยะศักดิ์ สุวรรณี. 2543. โคพื้นเมืองทางเลือกใหม่ของเกษตรกรไทย. **วารสารสัตวเศรษฐกิจ.** 18 (397): ประจำเดือนกรกฎาคม 2543.

ปรารถนา พฤกษะศรี. 2544. ประวัติและสายพันธุ์โคและหลักการคัดเลือกพันธุ์โค. กลยุทธ์การเพาะเลี้ยงวัวเนื้อเพื่อการค้า. **นิตยสารสัตว์บก.** 1 (1): 22-53 .

ปรารถนา พฤกษะศรี, สมบัติ ศรีจันทร์, ชัยณรงค์ คันธพนิต และสมศักดิ์ เพียบพร้อม. 2533. "อิทธิพลของพันธุ์โค อายุโค และชนิดของอาหารหยาบในการเลี้ยงโคขุน" หน้า 153. ใน **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 28.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภัทราภรณ์ เชื้อนันท์ตา. 2540. "ผลการชำแหละซากอุ่นและซากเย็นที่มีต่อผลผลิตและคุณภาพเนื้อสุกร" วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสัตวศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

มาลัย จงเจริญ. 2546. "คุณภาพซากและผลตอบแทนในการผลิตเนื้อโคคุณภาพสูงจากโคลูกผสมเลือดชาร์โรเลส์" วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสัตวศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ยอดชาย ทองไทยนันท์. 2546. **การเลี้ยงโคเนื้อเชิงธุรกิจ.** กลุ่มวิจัยและพัฒนาโคเนื้อ กองบำรุงพันธุ์สัตว์ กรมปศุสัตว์. **[Online].** Available : http://www.dld.go.th/breeding/r/book/business_beef /bbeef6.pdf. [10/08/2007].

ยอดชาย ทองไทยนันท์ และไพโรจน์ ศิริสม. 2548. **การเลี้ยงโคเนื้อ.** ศูนย์วิจัยและบำรุงพันธุ์สัตว์ตาก. **[Online].** Available : http://www.dld.go.th/service/beef/type.html. [09/09/2007].

วิชิต พรหมอินทร์. 2549. "คุณภาพซากและคุณภาพเนื้อโคขุนภายใต้ระบบการผลิตของสหกรณ์โคเนื้อกำแพงแสน" วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสัตวศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร.

ศรเทพ ธัมวาสร. 2548. **การเลี้ยงโคเนื้อแนวทางการพัฒนาอาชีพของเกษตรกรไทย.** กรุงเทพ ฯ: อักษรสยามการพิมพ์.

สัญชัย จตุรสิทธา. 2543. **เทคโนโลยีเนื้อสัตว์.** เชียงใหม่: ธนบรรณการพิมพ์.

Aberle, E.D., Forest, J.C., Gerrad, D.E., Mille, E.W., Hedrick, H.B., Judge, M.D. and Merket, R.A. 2001. **Principal of Meat Science.** Dubuque, IA, USA: Kendall/Hunt Co.

Ahnstrom, M.L., Enfalt, A.C., Hansson, I. and Lundstrom, K. 2006. Pelvic suspension improves quality characteristics in M. semimembranousus from Swedish dual purpose young bulls. **J. Anim. Sci.** 72: 555-559.

AOAC. 1995. **Official method of Analysis of Association of Official Analysis Chemists. 16th ed.** Washington D.C.: Association of Official Analysis Chemists.

Bendall, J. R. 1973. Postmortem changes in muscle. In G. H. Bourne (Ed.). **The Structure and Function of Muscle.** NewYork: Academic Press.

Berruga,T.B., Vergara, H. and Gallego, L. 2005. "Influence of packging coditions on microbial and lipid oxidation in lamb meat". **Meat Sci.** 57: 257-264.

Boccard, R., Buchter, L., Casteels, M., Cosentino, E., Dransfield, E. and Hood, D.E. 1981. "Procedures for measuring meat quality characteristics in beef production experiments". **Lives. Prod. Sci.** 8: 385-397.

Boehm, M.L. Kendall, T.L., Thompson, V.F. and Goll, D.E. 1998. "Changes in the calpains and calpastatin during postmortem storage of bovine muscle". **J. Anim. Sci.** 76: 2415-2434.

Bowling, R.A., Riggs, J. K., Smith, G.C., Carpenter, Z. L., Reddish R.L. and Butler O.D. 1978. "Production, carcass and palatability characteristics of steers produced by different management system". **J. Anim. Sci.** 46: 333-340.

Bowling, R.A., Smith, G.C., Carpenter, Z.L. and Dutson, T.R. 1977. "Comparison of forage-finished and grain-finished beef carcasses". **J. Anim. Sci.** 45: 209-215.

Bruce, H.L., Stark, J.L., Beilken, S.L., 2004. "The effects of finishing diet and postmortem aging on the eating quality of the M. longissimus thoracis of electrically stimulated Brahman steer carcasses". **Meat Sci.** 67: 261–268.

Burson, D.E., Hunt, M.C., Allen, D.M., Kastner, C.L. and Kropt, D.H. 1980. "Diet energy density and time on feed effects on beef Longissimus muscle palatability". **J. Anim. Sci.** 51: 875-881.

Cena, V., Halperin J.I., Yeandle, S. and Klein, D.C. 1991. "Norepinephrine stimulates potassium efflux from pinealocytes: evidence for involvement of biochemical and gate operated by calcium and adenosine 3',5'-monophosphate". **Endocrinology.** 12: 559-569.

Cranwell, C.D., Unruh, J.A., Brethour, J.R., and Simms, D.D. 1996. "Influence of steroid implants and concentrate feeding on carcass and longissimus muscle sensory and collagen characteristics of cull beef cows". **J. Anim. Sci.** 74: 1777-1783.

Cross, H.R., Carpenter, Z.L. and Smith, G.C. 1973. "Effects of intramuscular collagen and elastin on bovine muscle tenderness". **J. Food Sci.** 49: 1021-1032.

Culler, R. D., Parrish, F.C., Smith, G.C. and Cross, H.R. 1978. "Relationship of myofibril fragmentation index to certain chemical, physical and sensory characteristics of bovine longissimus muscle". **J. Food Sci.** 43: 1177-1185.

Daniel, M.S. 2002. "Fresh beef marketing opportunities due to dietary vitamin E". **[Online].** Available: http://www.beef.org/u Docs/ vitamin % 20E. [18/05/2007].

David, M., Johston, W.G.M., Boling, J.A. and Bradley, N.W. 1981. "Influence of breed type, sex, feeding system, and muscle buddle size on bovine fiber type characteristics". **J. Food Sci.** 46: 1760-1765.

De Smet, S.M. 2004. "Sarcomere length determination". **In Workshop on Quality and Functionality of Meat.** Held on 2-9 April 2004. King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok.

Dennis, E. B. 1997. "Quality and yield Grades for beef carcasses. university of nebraska extension meats specialist". **[Online].** Available: http://ianrpubs.unl.edu/beef/rp357.htm. [16/10/2008].

Devine, C.E., Wahlgren, N.M. and Tornberg, E. 1999. "Effect of rigor temperature on muscle shortening and tenderization of restrained and unrestrained beef M. Longissimus thoracicus et lumborum." **Meat Sci.** 51: 61-72.

Dranfield, E. 1994a. "Optimisation of tenderization, ageing and tenderness". **Meat Sci.** 36: 105-121.

Dransfild, E. 1994b. "Tenderness of meat". Pp. 289-315. In Pearson, A.M. and Dutson, T.R. **Quality Attributes and their Measurement in Meat, Poultry and Fish Product.** Blackie Academic and Professional: London.

Dranfield, E., Wakefield, D.K. and Parkman, I.D. 1992. "Modeling post-mortem tenderization: texture of electrically stimulated and non-stimulated beef". **Meat Sci.** 36: 105–121.

Dutson, T.R., Smith, G.C., Savell, J.W. and Carpenter, Z.L. 1980. "Possible mechanism by which electrical stimulation improves meat tenderness". 84-87. **In: Proceedings of the 26th European Meat Researchers and Workers Conference**. Colorado Springs: USA.

Etherington, D.J., Taylor, M.A. and Dranfield, E. 1987. "Conditioning of meat from different species: Rrnship between tenderizing and the levels of cathepsin B, cathepsin L, calpain I, calpain II and β-glucuronidase". **Meat Sci.** 20: 1-8.

Fiedler, I., Ender, K., Wicke, M., Maak, S., Lengerken, G. and Meyer, W. 1999. "Structural and functional characteristics of muscle fibers in pigs with different malignant hyperthermia susceptibility [MHS] and different meat quality". **Meat Sci.** 53: 9-15.

Geesink, G.H., Kuchay, S., Chishti, A.H. and Koohmaraie, M. 2006. "μ-calpain is essential for postmortem proteolysis of muscle proteins". **J. Anim. Sci.** 84: 2834-2840.

Geesink, G.H., Mareko, M.H.D., Morton, J.D. and Bickerstave, R. 2001. "Effects of stress and high voltage electrical stimulation on tenderness of lamb M. longissimus". **Meat Sci.** 57: 265-271.

Geesink, G.H., Smulders, F.J., van Laack, H.L., van der Kolk, J.H., Wensing, T. and Breukink, H.J. 1993. "Effect on meat quality of the use of clenbuterol in veal calves". **J. Anim. Sci.** 71: 1161-1170.

Goll D.E., Thompson, V.F., Taylor, R.G. and Christiansen, J.A. 1991. "Role of the calpain system in muscle growth". **Biochimie**. 74: 225-237.

Goll, D.E., Geesink G.H., R.G. Taylor and V.F. Thompson. 1995. "Does proteolysis cause all postmortem tenderization, or are changes in the actin/myosin interaction involved". pp. 537-544. **In: Proc. 41st Int. Congr. Meat Sci. Technol.** San Antonio.

Goni., M.V., Beriain, M.J., Indurain, G. and Insausti, K. 2007. "Predicting longissimus dorsi texture characteristics in beef based on early postmortem colour measurements". **Meat Sci.** 76: 38-45.

Hannula, T. and Puolanne, E. 2004. "The effect of cooling rate on beef tenderness: The significance of pH at 7 °C". **Meat Sci.** 67: 403-408.

Hedrick, H.B., Aberle, E.D., Forrest J.C., Judge M.D. and Merkel R.A. 1993. **Principles of Meat Science.** 3rd ed. New York: Kendall/Hunt Puvl. Co.

Heinemann, R.J.B., Pinto, M.F. and Giglio, E.H. 2003. "A simple method to estimate cold shortening in beef". **[Online]**. Available: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782002000200025&script=sci_arttext. [18/06/2007].

Ho, C.Y., Stromer, M.H. and Robson, R.M. 1994. "Identification of the 30 kDa polypeptide in post mortem skeletal muscle as a degradation product of troponin-T ". **Biochimie** 76: 369- 375.

Ho, C.Y., Stromer, M.H., Rouse, G. and Robson, R.M. 1997. "Effects of electrical stimulation and postmortem storage on changes in Titin, Nebulin, Desmin, Troponin-T, and muscle ultrastructure in *Bos indicus* crossbred cattle ". **J. Anim. Sci.** 75: 366 – 376.

Huff-Lonergan, E., Mitsuhashi, T., Beekman, D.D., Parrish, F.C., Olson, D.G. and Robson, R.M. 1996. "Proteolysis of specific muscle structural protein by μ-calpain at low pH and temperature is similar to degradation in postmortem bovine muscle". **J. Anim. Sci.** 74: 993-1008.

Huffman, R.D., Williams, S.E., Johnson, D.D. and Marshall, T.T. 1990. "Effects of percentage Brahman and Angus breeding, age-season of feeding and slaughter end point on feedlot performance and carcass characteristics." **J. Anim. Sci.** 68: 2243-2252.

Hwang, I. H. and Thompson, J. M. 2001. "The effect time and type of electrical stimulation on the calpain system and meat tenderness in beef longissimus dorsi muscle". **Meat Sci.** 58: 135-144.

Hwang, I.H., Park B.Y., Cho, S. H. and Lee, J.M. 2004. Effect of muscle shortening and proteolysis on Warner-Bratzler shear force in beef longissimus and semtendinosus. **Meat Sci.** 68: 497-505.

Jaturasitha, S., Norkeaw, R., Vearasilp, T., Wicke, M. and Kreuzer, M. 2008. "Carcass and meat quality of Thai native cattle fattened on Guinea grass (*Panicum maxima*) or Guinea grasslegume (*Stylosanthes guianensis*) pastures". **Meat Sci.** 74: 1-8.

Jirajaroenrat, K., Opatpatanakit, Y., Srisuwan, L. and Sethakul, J. 2007. "Myofibrillar protein degradation over ageing period of Kampaengsaen beef". 193-194. **In: Proc. 53$^{th}$ Int. Congr. Meat Sci. Technol.** Beijing: China.

Johnson, D.D. 2001. "The role of carcass chilling in the development of pork quality". **[Online]**. Available: http://www.meatscience.org/Pubs/factsheets/chilling.pdf. [22/09/2008].

Johnson, D.D., Huffman, R.D., Williams, S.E. and Hargrove, D.D. 1990. "Effect of percentage Brahman and Angus breeding, age-season of feeding and slaughter end point on meat palatability and muscle characteristic." **J. Anim. Sci.** 68: 1980-1986.

Keane, M. G. and Allen, P. 1998. "Effects of production system intensity on performance, carcass composition and meat quality of beef cattle. **Livest. Prod Sci.** 56: 203-214.

Kerry, J., Kerry, J. and Ledward, D. 2002. **Meat Processing Improving Quality**. Cambridge: Woodhead publishing.

King, D.A., Diskeman, M.E., Wheeler, T.L., Kastner, C.L. and Koohmaraie, M. 2003. "Chilling and cooking rate effect on some myofibrillar determinants of tenderness of beef". **J. Anim. Sci.** 81: 1473-1481.

King, D.A., Morgan, W.W., Miller, R.K., Sanders J.O., Lunt, D.K., Taylor, J.F., Gill, C.A. and Savell, J.W. 2005. "Carcass merit between and among family grouos of *Bos indicus* crossbred steers and heifers". **Meat Sci.** 72: 496-502.

Klont, R. E., Brocks, L. and Eikelenboom, G. 1998. "Muscle fibre type and meat quality". **Meat Sci.** 49(Suppl. 1): 219-229.

Koch, R.M., Crouse, J.D., Dikeman, M.E., Cundiff, L.V. and Gregory, K.E. 1988. "Effect of marbling on sensory panel tenderness in *Bos taurus* and *Bos indicus* crosses". **J. Anim. Sci.** 66: 305 (Abstr.)

Koohmaraie, M. 1992. "The role of $Ca^{2+}$-dependent proteases (calpains) in postmortem proteolysis and meat tenderness". **Biochimie**. 74: 239-245.

Koohmaraie, M. 1994. "Muscle proteinases and meat aging." **Meat Sci.** 36: 93-104.

Koohmaraie, M. 1996. "Biochemical factors regulating the toughening and tenderization processes of meat". **Meat Sci.** 43(Suppl. 1):193-201.

Koohmaraie, M., Whipple, M.G. and Kretchmar, D.H. 1991. "Postmortem proteolysis in longissimus muscle from beef, lamb and pork". **J. Anim. Sci.** 69: 617-624.

Ledward, D.E. 1992. "Color of law and cooked meat". In: The Chemistry of Muscle-Based Foods. Eds. Ledward, E.D., Johnson, D.E. an. Knight, M.K. **The Royal Society of Chemistry**. Cambridge: Cabi publishers.

Levrie, A. 1970. **The Meat Handbook.** 2nd. Connecticut : Avi publishing weatport.

Locker, R. H. and Hagyard, C. J. 1963. "A cold shortening effect in beef muscles". **J. Sci. Food Agric.** 14: 787-793.

Lonergan, E.H. 2001. "The role of carcass chilling in the development of pork quality". **[Online].** Available: http//www.Meatscience.org/Pubs/factsheets/chilling.pdf. [18/06/2007].

Luno, M., Beltran, J.A., Jaime, I. and Roncales, P. 1999. "Textural assessment of clenbuterol treatment in beef." **Meat Sci.** 51: 297-303.

Marshall, D.M. 1994. "Breed differences and genetic parameters for body composition traits in beef cattle". **J. Anim. Sci.** 72: 2745-2755.

Moloney, A.P. Keane, M.G., Dunne, P.G., Mooney, M.T. and Troy, D.J. 2008. "Effect of concentrate feeding pattern in a grass silage/concentrate beef finishing system on performance, selected carcass and meat quality characteristics". **Meat Sci.** 79: 355-364

Monson, F., Sanudo, C. and Sierra I. 2005. "Influence of breed and ageing time on the sensory meat quality and consumer acceptability in intensively reared beef". **Meat Sci.** 71: 471-479.

Morgan, J.B., Wheeler, J.B., Koohmaraie, M., Savell, J.W. and Crouse, J.D. 1993. "Meat tenderness and the calpain proteolytic system in longissimus muscle of young bulls and steers". **J. Anim. Sci.** 71: 1471-1476.

Ngapo, T.M and Alexander, M. 1999. "Capillary gel electrophoresis versus SDS-PAGE of exudates from fresh pork". **Meat Sci.** 53: 145-148.

Nishimura, T., Lin, A., Hattori, A. and Taknhashi, K. 1998. "Changes in mechanical strength of intramuscular connective tissue during postmortem aging of beef. **J. Anim. Sci.** 76: 528-532.

Nuernberg, K., Dannenberger, D., Nuernberg, G., Ender, K., Voigt, J., Scollan, N.D., Wood, J.D., Nute, G.R. and Richardson, R.I. 2005. "Effect of a grass-based and a concentrate feeding system on meat quality characteristics and fatty acid composition of longissimus muscle in different cattle breeds". **Livest. Prod. Sci.** 94:137-147.

O' Halloran, G.R., Troy, D.J. and Buckley, D.J. 1997. "The relationship between early post-mortem pH and the tenderization of beef muscles". **Meat Sci.** 45: 239-251.

Ono, A.D., Roeber, D. L., Cannell, R. C., Belk, K. E., Tatum, J. D. and Smith, G. C. 2000. Implant strategies during feeding: Impact on carcass grades and consumer acceptability. **J. Anim. Sci.** 78:1867–1874.

Ouali, A. 1992. "Proteolystic and physicochemical mechanisms involved in meat texture development". **Biochem.** 74: 251-265.

Owens, F.N. and Gardner, B.A. 1999. "A review of the impact of feedlot management and effects of nutrition on meat quality: ruminant nutrition and meat quality". **Proc. Recip. Meat Conf.** 52: 25-36.

Ozawa, S., Mitsuhashi, T., Mitsumoto, M., Matsumoto, S., Itoh, N., Itagaki, K., Kohno, Y. and Dohgo, T. 2000. "The characteristics of muscle fiber types of *longissimus thoracis* muscle and their influences on the quantity and quality of meat from Japanese Black steers. **Meat Sci.** 54: 65-70.

Page, J.K., Wulf, D.M. and Schwotzer, T.R. 2001. "A survey of beef muscle color and pH". **J. Anim. Sci.** 79: 678-687.

Pearson, A.M. and Young, R.B. 1989. **Muscle and Meat Biochemistry.** San Diego: Academic Press.

Pringle, T.D., Williams, S.E., Lamb, B.S., Johnson, D.D. and West, R.L. 1997. "Carcass aged tenderness of Aangus and Brahman crossbred steers. **J. Anim. Sci.** 75: 2955-2961.

Rhee, M.S., Wheeler, T.L., Shackelford, S.D. and Koohmaraie, M. 2004. "Variation in palatability and biochemical trails within and among eleven beef muscles". **J. Anim. Sci.** 82: 534-550.

Riley, D.G., Johnson, D.D., Chase JR., C.C., West, R.L., Olson, T.A., Hammond, A.C. and Coleman, S.W. 2005. "Factors influencing tenderness in steak from Brahman cattle". **Meat Sci.** 70: 347-356.

Salisbury, G.W. and Crampton, E.W. 1960. **The Science of Meat and Meat Products.** San Francisco: W.H. Free man Co.

Sami, A.S., Augustini, C. and Schwarz, F.J. 2004. "Effect of feeding intensity and time on feed on performance, carcass charcteristics and meat quality of Simmental". **Meat Sci.** 69: 67195-201.

Savell, J.W. and Cross, H.R. 1988. The role of fat in palatability of beef, pork and lamp. In Designing foods: Animal product potion in the marketplace. Washington: National academy press. cited by Kerry, J., Kerry, J. and Ledward, D. 2002. **Meat processing improving quality.** Cambridge: Woodhead publishing.

Savell, J.W., Mueller, S.L. and Baird B.E. 2005. "The chilling of carcasses". **Meat Sci.** 70: 449-459

Sethakul, J., Opatpatanakit, Y., Sivapirunthep, P. and Intrapornudom, P. 2008. "Beef quality under production systems in Thailand: preliminary remarks" In Association of Animal Production sScieties. **Proceedings of the 13th Animal Science Congress of the Asian-Australasian Association of Animal Production Societies.** Hanoi: Animal Husbandry association in Vietnam.

Shackelford, S.D., Wheele, T.L. and Koohmaraie, M. 1995. "Relationship between shear force and trained sensory panel tenderness ratings of 10 major muscle from *Bos indicus* and *Bos taurus* cattle." **J. Anim. Sci.** 73: 3333-3340.

Shaw, F.D., Eustace, I.J. and Warner, R.D. 1996. "Electrical stimulation of lamb carcases". **In: Proc. 42nd Int. Cong. Meat Sci. Technol.** Norway: Lillehammer.

Sims, T.J. and Bailey, A.J. 1981. In: R. Lawrie (Ed). **Developments in Meat Science Vol. 2.** London/New Jersey: Applied science publishers.

Smith, G.C., Duston, T.R., Hostetler, R.L. and Carpenter, Z.I. 1976. "Fatness rate chilling and tenderness of lamb". **J. Food. Sci.** 41: 748-756.

Smith, K.R., Duckett, S.K.,Azain, M.J., Sonon, R.N. and Pringle, T.D. 2007. "The effect of anabolic implants on intramuscular lipid deposition in finished beef cattle". **J. Anim. Sci.** 85: 430-440.

Smulders, F.J.M., Marsh, B.B., Swartz, D.R., Russell, R.L. and Hoenecke, M.E. 1990. "Beef tenderness and sarcomere length". **Meat Sci.** 28:349-363.

Smulders, F.J.M., Toldra', F., Flores, J. and Prieto, M. 1992. **New Technologies for Meat and Meat Products.** Netherland: CCEAMST, Utrecht publishers.

Sorheim, O., Idland, J., Halvorsen, E.C., Froystein, T., Lea, P. and Hildrum, K. 2001. "Influence of beef carcass stretching and chilling rate on tenderness of M. Longissimus dorsi". **Meat Sci.** 57: 79-85

Steen, D., Claeys, E., Uytterhaegen, L., De Smet, S. and Demeye, D. 1997. "Early post-mortem conditions and the calpain/calpastatin system in relation to tenderness of double-muscled beef". **Meat Sci.** 45: 307-319.

Taylor, D.G. and Cornell, J.G. 1985. "The effects of electrical stimulation and aging on beef tenderness". **Meat Sci.** 12: 243-251.

Tornberg, E. 1996. "Biophysical aspects of meat tenderness". **Meat Sci.** 43:S175–S191.

Tuma, H.J.,Venable, J.H., Wuthier, P.R. and Henrickson, R.L. 1962. "Relationship of fiber diameter to tenderness and meatiness as influenced by bovine age". **J. Anim. Sci.** 21: 33-36.

Tzong Jiang. S. 1998. "Contribution of muscle proteinases to meat tenderization". **Proceedings of the National Science Council.** 22: 97-107.

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

Vestergaard, M., Oksbjerk, N. and Henckel, P. 2000. "Influence of feeding intensity, grazing and finishing feeding on muscle fiber characteristics and meat color of young bulls". **Meat Sci.** 54: 177-185.

Warriss, P.D. 2000. **Meat Science an Introductory Text.** Wallingford: CABI.

Warriss, P.D. and Brown, S.N., 1987. "The relationships between initial pH, reflectance and exudation in pig muscle". **Meat Sci.** 20: 65-74

Wheeler, T.L., Savell, J.W., Cross, H.R., Lunt, D.K. and Smith, S.B. 1990. "Mechanism associated with the variation in tenderness of meat from Brahman and Hereford cattle". **J. Anim. Sci.** 68: 4206-4220.

Wheeler, T. L. and Koohmaraie M. 1994. "Prerigor and postrigor changes in tenderness of ovine longissimus muscle". **J. Anim. Sci.** 72:1232-1238.

Wheeler, T.L., Shackelford, S.D. and Koohmaraie, M. 1998. "Cooking and palatability traits of beef longissimus steaks cooked with a belt grill or an open heart electric broiler". **J. Anim. Sci.** 76: 2805-2810.

Wood, J.D., Enser, M., Fisher, A.V., Nute, G.R., Richardson, R.L. and Sheard, P.R. 1999. "Manipulating meat quality and composition". **Proc. Nutr. Soc.** 58: 363-370.

Wulf, D.M., and Page, J.K. 2000. Using measurement of muscle color, pH, and electrical impedance to augment the current USDA beef quality grading standards and improve the accuracy and precision of sorting carcass into palatability groups". **J. Anim. Sci.** 78: 2595-2607.

Wulf, D.M., O'Connor, S.F., Tatum, J.D. and Smith, G.C. 1997. "Using obiective measures of muscle color to predict beef longissimus tenderness". **J. Anim. Sci.** 75: 684-692.

Wulf, D.M. and Wise, J.W. 1999. "Measuring muscle color on beef carcasses using the L* a* b* color space". **J. Anim. Sci.** 77: 2418–2427.

# ภาคผนวก

ตาราง ก. อิทธิพลของพันธุ์โคเนื้อภายใต้ระบบการผลิตโคที่แตกต่างกันในประเทศไทยและระยะเวลาการบ่มที่มีผลต่อคุณภาพเนื้อ

| ลักษณะที่ศึกษา | ระบบการผลิตโค (Product system, PS) | | | | | ระยะเวลาการบ่ม (Ageing) | | | P-value | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | TN | BG | BP | KU | TF | 1 | 7 | 14 | PS | Ageing | PS*Ageing |
| ค่า pH | 5.61$^{a}$ | 5.55$^{b}$ | 5.58$^{ab}$ | 5.60$^{a}$ | 5.50$^{c}$ | 5.59 | 5.55 | 5.57 | 0.0007 | 0.1051 | 0.3511 |
| ค่าสีของเนื้อ | | | | | | | | | | | |
| L* | 38.52$^{bc}$ | 37.01$^{c}$ | 41.65$^{a}$ | 39.12$^{b}$ | 40.26$^{ab}$ | 37.90$^{y}$ | 38.91$^{y}$ | 40.75$^{x}$ | 0.0001 | 0.0002 | 0.9551 |
| a* | 15.23$^{c}$ | 18.10$^{b}$ | 18.21$^{b}$ | 17.22$^{b}$ | 22.5$^{a}$ | 16.76$^{y}$ | 18.78$^{x}$ | 19.46$^{x}$ | 0.0001 | 0.0001 | 0.5521 |
| b* | 5.50$^{c}$ | 7.02$^{b}$ | 7.43$^{b}$ | 6.69$^{b}$ | 9.86$^{a}$ | 5.76$^{z}$ | 7.60$^{y}$ | 8.54$^{x}$ | 0.0001 | 0.0001 | 0.8110 |
| เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก | 32.38$^{a}$ | 28.08$^{c}$ | 29.62$^{bc}$ | 30.17$^{b}$ | 26.15$^{d}$ | 28.59$^{x}$ | 28.81$^{x}$ | 30.62$^{y}$ | 0.0001 | 0.0105 | 0.2271 |
| ระหว่างการทำให้สุก | | | | | | | | | | | |
| ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (กก.) | 14.03$^{a}$ | 13.10$^{a}$ | 9.52$^{b}$ | 5.61$^{c}$ | 3.96$^{d}$ | 11.14$^{x}$ | 8.80$^{y}$ | 7.80$^{f}$ | 0.0001 | 0.0001 | 0.1969 |
| ปริมาคอลลาเจนที่ละลายได้ในเนื้อ (mg/g) | 0.27$^{a}$ | 0.29$^{a}$ | 0.26$^{ab}$ | 0.18$^{bc}$ | 0.15$^{c}$ | 0.23 | 0.24 | 0.23 | 0.0020 | 0.9581 | 0.6304 |
| ปริมาคอลลาเจนทั้งหมดในเนื้อ (mg/g) | 2.90 | 3.03 | 2.86 | 2.74 | 2.60 | 2.76 | 2.78 | 2.95 | 0.7579 | 0.7178 | 0.3442 |

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

$^{x,y,z}$ = ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P <0.05)

## วิธีการเตรียมสารเคมีการหาปริมาณคลอลาเจน

**Reagents**

- **¼ Ringer solution** โดยมีส่วนประกอบ ต่อ 1 ลิตร ดังนี้
  - Nacl 1.916 กรัม (32.75 mM)
  - $CaCl_2.2H_2O$ 0.073 กรัม (0.5 mM)
  - KCl 0.224 กรัม (1.5 mM)
- **HCl 6 N**
- **HCL 12 N**

- **Buffer Solution :**
  - สารละลายบัฟเฟอร์สำหรับ hydroxyproline
  - Citric acid monohydrate 50 กรัม
  - Acetic acid 12 มิลลิลิตร
  - Sodium acetate trihydrate 120 กรัม
  - NaOH 34 กรัม

ละลายในน้ำกลั่น จากนั้นทำการปรับค่า pH ให้ได้ค่า pH = 6.0 ต่อมาทำการปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร ด้วย Distilled water จากนั้นทำการเติม Distilled water 200 มิลลิลิตร และ propanol-1 300 มิลลิลิตร แล้วจึงนำไปเก็บในตู้เย็น

- **Chloramine-T regent** ปริมาตร 100 มิลลิลิตร มีส่วนประกอบ ดังนี้

N-Chloro-tolueensulfonamide (Chloramine-T) 1.41 กรัม นำมาละลายใน Distilled water 10 มิลลิลิตร และ propanol-1 10 มิลลิลิตร ต่อมาเติมทำการสารละลายบัฟเฟอร์ (Buffer Solution) 80 มิลลิลิตร (Buffer Solution: เตรียมในวันทดลอง)

- **Color reagent:** ปริมาตร 100 มิลลิลิตร มีส่วนประกอบ ดังนี้
  - p-dimethylaminobenzaldehyde 10 กรัม
  - Perchloric acid 70% m/m 30 มิลลิลิตร (ผสม Distilled water 5 มิลลิลิตร)
  - Perpanol-2 65 มิลลิลิตร

(Color reagent: เตรียมในวันทดลอง)

- **Hydroxyproline standard solutions**
  - **Stock Hydroxyproline:** Hydroxyproline 25 มิลลิกรัม ละลายใน Distilled water 25 มิลลิลิตร
  - **Working standard Hydroxyproline** (เตรียมในวันทดลอง)

    โดยทำการดึง Stock Hydroxyproline มา 1 มิลลิลิตร แล้วทำการปรับปริมาตร ด้วย Distilled water ให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
  - **ทำ Standard 5 ตัวอย่าง**

    โดยทำการดึง working standard Hydroxyproline มา 2.5, 5, 10, 15 และ 20 มิลลิลิตร แล้วทำการปรับปริมาตร ด้วย Distilled water ให้ได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

    ซึ่งจะมีความเข้มข้น 0.5, 1, 2, 3 และ 4 ไมโครกรัม ของ Hydroxyproline ต่อ มิลลิลิตร แล้วทำ Standard Curve

## สูตรคำนวน

ทำการวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงของเครื่อง Spectrophotometer ที่ 558 nm โดยวัดความเข้มข้นของ hydroxyproline ใน Standard

$$\text{ปริมาณคอลลาเจน mg/g ของเนื้อสด} = \frac{c \times f \times 8}{1000 \times 4}$$

เมื่อ c = ปริมาตรความเข้มข้นของ hydroxyproline (μm/ml) ที่อ่านจาก calibration curve

f = จำนวนของระยะเวลาที่ hydrolysate

8 = ซึ่งเป็นค่า hydroxyproline ในความเข้มข้นของคอลลาเจน

# ประวัติผู้เขียน

| | |
|---|---|
| ชื่อ-นามสกุล | นางสาวปีย์ชนิตร์ อินทรพรอุดม |
| วัน/เดือน/ปี | 16 กุมภาพันธ์ 2525 |
| ประวัติการศึกษา | 2547 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี |
| ผลงานวิชาการ | เรื่อง ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของซาร์โคเมียร์และความนุ่มของเนื้อโคขุนกำแพงแสนในระยะเวลาการบ่มต่างๆ. ในการประชุมวิชาการทางสัตวศาสตร์ ครั้งที่ 4. ขอนแก่น, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.<br>เรื่อง Beef quality under production systems in Thailand: preliminary remarks". In: Proceedings of the 13th Animal Science Congress of the Asian-Australasian Association of Animal Production Societies. Hanoi, Animal Husbandry Association in Vietnam. |