# อิทธิพลของระบบการผลิตโคเนื้อและระยะเวลาการบ่มต่อคุณภาพเนื้อ

# INFLUENCE OF BEEF PRODUCTION SYSTEMS AND AGEING PERIOD ON MEAT QUALITY

ลลิสรา ศรีสุวรรณ
LALISARA SRISUWAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสัตวศาสตร์
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2551

KMITL - 2008-AG-M-001-023

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

# อิทธิพลของระบบการผลิตโคเนื้อและระยะเวลาการบ่มต่อคุณภาพเนื้อ

# INFLUENCE OF BEEF PRODUCTION SYSTEMS AND AGEING PERIOD ON MEAT QUALITY

ลลิศรา ศรีสุวรรณ

LALISARA SRISUWAN

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 87852
วัน,เดือน,ปี 19 มี.ค. 2552

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสัตวศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL-2008-AG-M-031-026

# INFLUENCE OF BEEF PRODUCTION SYSTEMS AND AGEING PERIOD ON MEAT QUALITY

LALISARA SRISUWAN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMNT FOR THE DEGREE

MASTER OF SCIENCE IN ANIMAL SCIENCE

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2008

KMITL-2008-AG-M-031-026

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**COPYRIGHT 2008**

**FACULTY OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADGRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**คณะเทคโนโลยีการเกษตร**

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

**ใบรับรองวิทยานิพนธ์**

---

**หัวข้อวิทยานิพนธ์** อิทธิพลของระบบการผลิตโคเนื้อและระยะเวลาการบ่มต่อคุณภาพเนื้อ

Influence of Beef Production Systems and Ageing Period on Meat Quality

**นักศึกษา** นางสาวลลิศรา ศรีสุวรรณ

**รหัสประจำตัว** 47062403

**ปริญญา** วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

**สาขาวิชา** สัตวศาสตร์

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์** รศ.ดร.จุฑารัตน์ เศรษฐกุล

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม** ดร.รุจริน ลิ้มศุภวานิช

ดร.กัญญา จิระเจริญรัตน์

| คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ | | ลายมือชื่อ |
|---|---|---|
| รศ.ดร.รณชัย | สิทธิไกรพงษ์ | |
| รศ.ดร.จุฑารัตน์ | เศรษฐกุล | |
| ดร.กัญญา | จิระเจริญรัตน์ | |
| ดร.รุจริน | ลิ้มศุภวานิช | |
| รศ.ดร.สมเกียรติ | ประสานพานิช | |

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

**วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ** 28 ตุลาคม 2551 เวลา 09.00-12.00 น.

**สถานที่สอบ** ณ ห้องโสตฯ ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ (ชั้น 3 ตึกบุนนาค)

**คณบดีรับรองแล้ว**

(รองศาสตราจารย์ศักดิ์ชัย ชูโชติ)

**คณบดีคณะเทคโนโลยีการเกษตร**

**วันที่** 31 **เดือน** ตุลาคม **พ.ศ.** 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **หัวข้อวิทยานิพนธ์** | อิทธิพลของระบบการผลิตโคเนื้อและระยะเวลาการบ่มต่อคุณภาพเนื้อ |
| **นักศึกษา** | นางสาวลลิศรา ศรีสุวรรณ |
| **รหัสประจำตัว** | 47062403 |
| **ปริญญา** | วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต |
| **สาขาวิชา** | สัตวศาสตร์ |
| **พ.ศ.** | 2551 |
| **อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์** | รศ.ดร. จุฑารัตน์ เศรษฐกุล |
| **อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม** | ดร. กัญญา จิระเจริญรัตน์ |
| **อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม** | ดร. รุจริน ลิ้มศุภวานิช |

## บทคัดย่อ


การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของระบบการผลิตโค และระยะเวลาการบ่มที่มีผลต่อคุณภาพเนื้อซึ่งใช้การตรวจสอบโดยหาค่า pH ค่าสีของเนื้อ ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ และการเปลี่ยนแปลงของ troponin-T

โดยเนื้อได้มาจากโคที่มีระบบการผลิตโคที่แตกต่างกัน 5 ระบบ คือ 1) โคเนื้อลูกผสมสายพันธุ์ Charolais (Charolais 50% x Brahman 25% x โคพื้นเมืองไทย 25%) น้ำหนักมีชีวิต 500-600 กิโลกรัม อายุเฉลี่ย 2½ ปี เลี้ยงด้วยอาหาร TMR และหญ้า เป็นเวลา 8-10 เดือน (KU) จำนวน 10 ตัว 2) โคเนื้อลูกผสมสายพันธุ์ Charolais 50% ขึ้นไป น้ำหนักมีชีวิต 600-700 กิโลกรัม อายุเฉลี่ย 3½ ปี เลี้ยงด้วยอาหารข้นและหญ้าหรือฟางข้าว เป็นเวลา 12-18 เดือน และเสริมกากน้ำตาลให้ในช่วง 4 เดือนสุดท้ายของการขุน (TF) จำนวน 5 ตัว 3) โคเนื้อลูกผสมสายพันธุ์ Brahman เลือดสูง น้ำหนักมีชีวิต 450-500 กิโลกรัม อายุเฉลี่ย 3 ปี เลี้ยงด้วยอาหารข้น หญ้าสดและฟางข้าว เป็นเวลา 3 เดือน (BG) จำนวน 10 ตัว 4) โคเนื้อลูกผสมสายพันธุ์ Brahman เลือดสูง น้ำหนักมีชีวิต 480-600 กิโลกรัม อายุเฉลี่ย 3 ปี เลี้ยงด้วยเปลือกสับปะรดหมัก และอาหารข้นเป็นเวลา 6 เดือน (BP) จำนวน 10 ตัว และ 5) โคพันธุ์พื้นเมืองไทยที่เลี้ยงโดยการปล่อยแทะเล็มหญ้าอย่างอิสระ (TN) น้ำหนักมีชีวิต 180-250 กิโลกรัม อายุเฉลี่ย 2 ปีจำนวน 10 ตัว

ตัวอย่างเนื้อโคที่ใช้ในการศึกษา ได้มาจากกล้ามเนื้อสันนอก (*Longissimus dorsi* ) บริเวณซี่โครงคู่ที่ 6-12 ของซากซีกซ้าย ซึ่งถูกนำไปเก็บที่ห้องเย็นอุณหภูมิประมาณ 0-4 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำก้อนเนื้อสันนอกมาตัดแบ่ง ให้ได้รูปแบบชิ้นเนื้อ สเต็กหนา 7.5 เซนติเมตร จำนวน 3 ชิ้น เนื้อแต่ละ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชิ้นจะถูกนำมาตรวจวัดค่า p H ค่าสีของเนื้อ ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ และการเปลี่ยนแปลงของโปรตีน troponin-T ที่ระยะเวลาการบ่มเนื้อ 1 7 และ 14 วันหลังสัตว์ตาย วิเคราะห์ทางสถิติแบบ 5x3 แฟคทอเรียล ในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ โดยปัจจัยแรก คืออิทธิพลของโคภายใต้ระบบการผลิต 5 ระบบ และปัจจัยที่สอง คืออิทธิพลของระยะเวลาในการบ่มที่ 1 7 และ 14 วันหลังสัตว์ตาย

ผลการศึกษาพบว่าระบบการผลิตโคมีอิทธิพลต่อค่า pH ค่าสีของเนื้อ (L* a*b*) ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ และการเปลี่ยนแปลงของ troponin-T1 (Tn-T1; 39 kDa) troponin-T2 (Tn-T2; 37 kDa) และ troponin-$T_{product}$ (Tn-$T_{product}$; 30 kDa) โดยพบว่าเนื้อโค TF มีค่า pH ต่ำกว่าเนื้อโค KU BP และ TN อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่แตกต่าง ($p>0.05$) จากค่า pH ของ BG เนื้อโค TF BP และ TN มีค่าความสว่าง (L*) ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่มีความสว่างมากกว่า (L* มากกว่า) เนื้อโค KU และ BG เนื้อโค TF มีสีแดงที่สุด (a* สูงที่สุด) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื้อโค TN และ KU มีค่า a* ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่เนื้อโคทั้งสองชนิดมีค่า a* ต่ำกว่า (แดงน้อยกว่า) เนื้อโค BP, BG และ TF อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื้อโค KU, BG และ BP มีค่าสีเหลือง (b*) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ซึ่งเนื้อจากโคทั้ง 3 กลุ่ม มีสีเหลืองน้อยกว่า (b* ต่ำกว่า) เนื้อ TF แต่มีสีเหลืองมากกว่าเนื้อจากโค TN เนื้อจากโค TF มีค่า WBSF ต่ำกว่า (นุ่มที่สุด) เนื้อจากโคกลุ่มอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื้อโค BG และ TN มีค่า WBSF ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และเนื้อโคทั้งสองชนิดมีค่า WBSF ที่มากกว่า (นุ่มน้อยกว่า) เนื้อโค BP และ KU อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ค่า Tn-T1 (39kDa) ของเนื้อโค BG มีปริมาณมากที่สุด ($p<0.05$) โค KU มีปริมาณ Tn-T1 ไม่แตกต่าง ($p>0.05$) จากเนื้อโค TF แต่มีปริมาณน้อยกว่าในเนื้อโค BP และ TN สำหรับปริมาณ Tn-T2 (37 kDa) พบว่าในโค BG และ TN มีปริมาณไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่มีปริมาณมากกว่า ($p<0.05$) ในเนื้อโค BP, KU และ TF ตามลำดับ TN และ BG มีปริมาณ Tn-$T_{product}$ (30kDa) ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่มีปริมาณมากกว่า ($p<0.05$) ในโค KU, TF และ BP

ระยะเวลาในการบ่มพบว่ามีอิทธิพลต่อค่าสีของเนื้อ ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ และการเปลี่ยนแปลงของ Tn-T1 Tn-T2 และ Tn-$T_{product}$ โดยพบว่าเมื่อเวลาในการบ่มเนื้อเพิ่มขึ้น ค่า L* a* b* และปริมาณของ Tn-$T_{product}$ มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ทุกช่วงเวลาของการบ่ม ($p<0.05$) .ในขณะที่ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ ปริมาณของ Tn-T1 และTn-T2 มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ทุกระยะเวลาของการบ่ม ($p<0.05$) แต่จากการศึกษาครั้งนี้ไม่พบว่าระยะเวลาในการบ่มมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ในเนื้อโคจากทุกระบบการผลิต และพบว่าค่าสหสัมพันธ์ของค่าแรงตัดผ่านเนื้อ และปริมาณของ Tn-T1 Tn-T2 และ Tn-$T_{product}$ ในเนื้อโคจากแต่ละระบบการผลิตมีสหสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (WBSF) มีค่าสหสัมพันธ์กันในทางบวกกับปริมาณ Tn-T1 และ Tn-T2 แต่มีค่าสหสัมพันธ์ในทางลบกับปริมาณ Tn-$T_{product}$ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

| | |
|---|---|
| **Thesis Title** | Influence of Beef Production Systems and Ageing Period on Meat Quality |
| **Student** | Miss Lalisara Srisuwan |
| **Student ID** | 47062403 |
| **Degree** | Master of Science |
| **Program** | Animal Science |
| **Year** | 2008 |
| **Thesis Advisor** | Assoc.Prof.Dr. Jutarat Sethakul |
| **Thesis Co-Advisor** | Dr. Kanya Jirajaroenrat |
| **Thesis Co-Advisor** | Dr. Rutcharin Limsupavanich |

# ABSTRACT


The objectives of this study were to study the influence of beef production systems and ageing period on meat quality by determining pH values, colour of meat, Warner Bratzler shear force (WBSF), and intensity of troponin-T degradation.

Beef samples were taken from carcasses of cattle produced from 5 different production systems as follows: 1) Charolais crossbred (50% Charolais x 25% Brahman x 25% native Thai), weighed 500-600 Kg, aged 2½ yr, fed with TMR and grasses for 8 to 10-mo (KU; n=10); 2) at least 50% Charolais crossbred steers, weighed 600-700 Kg, aged 3½ yr, fed with grasses and/or rice straws, supplemented with concentrate for 12 to 18 –mo, and molasses was added in the ration after 4-mo of fattening (TF; n=5); 3) high-blood Brahman crossbred steers, weighed 450-500 Kg, aged 3 yr, fed with grasses and/or rice straws, and supplemented with concentrate for 3 –mo (BG; n=10); 4) high-blood Brahman crossbred steers, weighed 460-600 Kg, aged 3 yr, fed with pineapple byproducts, and supplemented with concentrate for 6 –mo (BP; n=10); and 5) native Thai cattle, weighed 180-250 Kg, aged 2 yr, and freely grazed natural forage (TN; n=10).

Cattle from each group was slaughtered at different abattoirs. *Longissimus dorsi* (LD) muscles between the 6$^{th}$ and the 12$^{th}$ rib were taken from left side of carcasses and transferred to at KMITL laboratory. After 24 hr postmortem storage at 0-4 $^{\circ}$C , LD muscles were cut into three 7.5-cm thick steaks and assigned for 1, 7, or 14 days ageing at 0-4$^{\circ}$C. The pH values, colour of meat (L*, a*, and


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b*), WBSF and troponin-T degradation were determined at each ageing period. All data were statistically determined according to 5 (beef production systems) x 3 (ageing period) factorial arrangement in completely randomized design.

Results revealed that beef production systems had effects on pH values, colour of meat, WBSF and intensities of troponin-T1 (Tn-T1; 39 kDa), troponin-T2 (Tn-T2; 37 kDa) and troponin-$T_{product}$ (Tn-$T_{product}$; 30 kDa). Beef from TN group had higher ($p<0.05$) pH values than those from KU, BG and BP groups, but did not ($p>0.05$) differ from those of BG. TF, BP, and TN had similar ($p>0.05$) lightness values, but were lighter (higher L*, $p<0.05$) than KU and BG. TF group was the reddest (highest a*, $p<0.05$). TN and KU were similarly red ($p>0.05$), but were less red $p<0.05$) than BP, BG, and TF, respectively. Beef from KU, BG, and BP were similarly yellow ($p>0.05$), but were less ($p<0.05$) yellow than TF and more ($p<0.05$) yellow than TN. Compared to all, TF had the lowest WBSF (most tender, $p<0.05$). BG and TN had similar ($p>0.05$) WBSF values, but were higher (less tender, $p<0.05$) than those of BP and KU, respectively. Tn-T1 band (39 kDa) of BG beef had the highest ($p<0.05$) intensity. KU beef had similar ($p>0.05$) Tn-T1 band intensity to TF, but was less ($p<0.05$) than those of BP and TN. The intensities of Tn-T2 band (37 kDa) in BG and TN were similar ($P>0.05$), but were higher ($P<0.05$) than those of BP, KU, and TF, respectively. TN and BG had similar ($P>0.05$) Tn- $T_{product}$ (30 kDa) intensities, which were higher ($P<0.05$) than those of KU, TF, and BP.

Ageing period had effects on meat colour, WBSF and intensities of Tn-T1, Tn-T2 and Tn-$T_{product}$ but did not affect pH values.

In all beef production systems, WBSF was ($p<0.01$) positively correlated to Tn-T1, Tn-T2, but negatively correlated to Tn-$T_{product}$ intensities.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยคำแนะนำ และคำปรึกษาจาก รศ.ดร. จุฑารัตน์ เศรษฐกุล ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ดร.กัญญา จิระเจริญรัตน์ และ ดร. รุจริน ลิ้มศุภวานิช อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม ผู้ทำวิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ รศ. ดร. ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ ที่ได้ให้คำปรึกษาในเรื่องของการดำเนินงานวิจัยตลอดมา

ขอขอบพระคุณ โรงฆ่าสัตว์กลุ่มสหกรณ์การเลี้ยงปศุสัตว์ กรป. กลาง โพนยางคำ จังหวัดสกลนคร โรงฆ่าสัตว์บริษัทประกอบบีฟโปรดักซ์ จังหวัด ราชบุรี โรงฆ่าสัตว์บริษัทรักเศรษฐ์ จังหวัดชลบุรี โรงฆ่าสัตว์ศูนย์วิจัย และพัฒนาผลิตผลจากสัตว์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัด นครปฐม และสหกรณ์โคเนื้อมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จำกัด จังหวัดนครปฐม ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องของโรงฆ่าสัตว์ และการเก็บตัวอย่างเนื้อโคที่นำมาทำการวิจัยครั้งนี้

งานวิจัยในครั้งนี้ได้รับเงินสนับสนุนส่วนหนึ่งจากศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีชีวภาพเกษตร สำนักงานพัฒนาบัณฑิตศึกษา และวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ ผู้ทำวิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณอย่างยิ่งสำหรับ คุณพ่อ-คุณแม่ ตลอดจนสมาชิกในครอบครัวทุกท่าน ที่สนับสนุนทุนการศึกษา และคอยเป็นกำลังใจเสมอมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า


บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....III

กิตติกรรมประกาศ.....V

สารบัญ.....VI

สารบัญตาราง.....XI

สารบัญภาพ.....XIII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความสำคัญและที่มา.....1

1.2 วัตถุประสงค์.....2

1.3 สถานที่ดำเนินงาน.....2

1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....3

1.5 ระยะเวลาการศึกษา.....3

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....3

บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....4

2.1 โครงสร้างของเส้นใยกล้ามเนื้อ (muscle fiber structure).....4

2.2 องค์ประกอบทางเคมีของกล้ามเนื้อ (chemical composition of muscle).....11

2.2.1 ไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (non-protein nitrogen).....11

2.2.1.1 Nucleotides.....11

2.2.1.2 Creatine และ Phosphocreatine.....11

2.2.2 สารอินทรีย์ทั่วไป (inorganic substrates).....11

2.2.3 คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate).....11

2.2.3.1 กลูโคส (glucose).....11

2.2.3.2 ไกลโคเจน (glycogen).....12

2.2.3.3 แลคเตท (lactate).....12



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า


2.2.4 ไขมัน (triglycerides).....12

2.2.5 เปรตน (protein).....12

2.2.5.1 กลุ่ม sarcoplasmic proteins.....12

2.2.5.2 โปรตีนกลุ่มเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน หรือ connective tissue proteins.....13

2.2.5.3 กลุ่ม myofibrillar proteins หรือโปรตีนเส้นใยกล้ามเนื้อ.....13

2.3 กระบวนการย่อยโปรตีนภายหลังสัตว์ตาย (post-mortem proteolysis).....15

2.3.1 เอ็นไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายโปรตีนกล้ามเนื้อ (proteolytic enzymes).....16

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อความนุ่มของเนื้อโค.....24

2.4.1 สายพันธุ์โค (breed).....24

2.4.2 ระดับความเป็นกรด-ด่างในเนื้อ (pH).....25

2.4.3 ระดับไขมนแทรก (marbling).....28

2.4.4 ชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อ (muscle fiber type).....30

2.4.5 อาหาร และระบบการเลี้ยง (feed and production system).....32

2.4.6 ระยะเวลาการบ่มเนื้อ (ageing period).....34

2.4.7 การกระตุ้นซากด้วยกระแสไฟฟ้า (electrical stimulation).....34

2.4.8 ชนิดของกล้ามเนื้อ.....35

2.4.9 การลดอุณหภูมิภายในกล้ามเนื้อหลังสัตว์ตาย (post-mortem decline of muscle temperature).....37

2.4.10 การใช้สารกลุ่มเร่งเนื้อแดง.....38

2.4.11 การเสริมฮอร์โมน (hormone implant).....39

2.4.12 ซาร์โคเมียร์ (sarcomere).....40

2.4.13 เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue).....41

2.5 ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อสีของเนื้อ.....42

2.5.1 พันธุ์โค.....42

2.5.2 อายุ เค.....43

2.5.3 อาหาร และการจัดการ.....44

2.5.4 ระยะเวลาการบ่มเนื้อ.....46



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6 ชนิดของเนื้อโคภายใต้ระบบการผลิตของประเทศไทย.....47
2.6.1 เนื้อโคขุนคุณภาพสูง.....47
2.6.2 เนื้อโคขุนคุณภาพปานกลาง.....48
2.6.3 เนื้อโคที่ไม่กำหนดคุณภาพ.....49
2.6.3.1 โคมัน.....49
2.6.3.2 โคแก่.....50
2.6.3.3 โคพื้นเมือง.....50
2.7 วิธีการตรวจวัดความนุ่มในเนื้อ.....51
2.7.1 การวัดค่าแรงตัดผ่านเนื้อ.....51
2.7.2 การวัดความยาวซาร์โคเมียร์.....51
2.7.3 การวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อ.....51
2.7.4 การหาค่าดัชนีการแตกตัวของ myofibrillar.....51
2.7.5 การวัดความสามารถในการทำงานของเอ็นไซม์ calpain ในเนื้อสด.....52
2.7.6 การศึกษาน้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนในเนื้อด้วยเทคนิค SDS-PAGE.....52
2.7.7 การวัดระดับความนุ่มของเนื้อด้วยประสาทสัมผัสของคนจากการชิม.....52

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....53
3.1 สัตว์ทดลอง.....53
3.2 อุปกรณ์และสารเคมี.....58
3.2.1 ศึกษาอิทธิพลของระบบการผลิตโค และระยะเวลาการบ่มต่อคุณภาพเนื้อ.....58
3.2.1.1 อุปกรณ์.....58
3.2.2 ศึกษาอิทธิพลการผลิตโคที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของโปรตีน troponin-T ในเนื้อโคที่แต่ละช่วงเวลาการบ่ม ด้วยเทคนิค SDS-PAGE.....58
3.2.2.1 อุปกรณ์.....58
3.2.2.2 สารเคมี.....59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า


3.3 วิธีการ.....60

3.3.1 ศึกษาอิทธิพลของระบบการผลิต และระยะเวลาการบ่มต่อคุณภาพเนื้อ.....60

3.3.1.1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของเนื้อโค.....60

3.3.1.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีเนื้อโค.....60

3.3.1.3 ศึกษาความนุ่มของเนื้อโดยวิธีหาค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (shear force).....60

3.3.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโปรตีน troponin-T ในเนื้อโคจากแต่ละระบบการผลิต ที่ระยะเวลาการ บ่มต่างๆกัน โดยเทคนิค SDS – PAGE.....61

3.3.2.1 การสกัด myofibrillar proteins.....61

3.3.2.2 การหาความเข้มข้นของ myofibrillar protein.....61

3.3.2.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของ myofibrillar protein.....62

3.3.2.4 การหาปริมาณโปรตีน troponin-T (39 กับ 37 kDa) และ troponin-$T_{Product}$ (30 kDa).....63

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....63

บทที่ 4 ผลการทดลอง.....64

4.1 อิทธิพลของระบบการผลิตโค และระยะเวลาการบ่มที่มีผลต่อค่า pH ในเนื้อ.....64

4.2 อิทธิพลของระบบการผลิตโค และระยะเวลาการบ่มที่มีต่อสีของเนื้อ (L* a* b*).....64

4.2.1 การเปลี่ยนแปลงของค่า L* (lightness).....64

4.2.2 การเปลี่ยนแปลงของค่า a* (redness).....65

4.2.3 การเปลี่ยนแปลงของค่า b* (yellowness).....65

4.3 อิทธิพลของระบบการผลิตโค และระยะเวลาการบ่มที่มีต่อค่าแรงตัดผ่านเนื้อ.....66

4.4 อิทธิพลของระบบการผลิตโค และระยะเวลาการบ่มที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโปรตีน troponin-T.....68

4.4.1 การเปลี่ยนแปลงของ troponin-T1 (39 kDa).....68

4.4.2 การเปลี่ยนแปลงของ troponin-T2 (37 kDa).....69

4.4.3 การเปลี่ยนแปลงของ troponin-$T_{product}$ (30 kDa).....73

4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของโปรตีนในเนื อ troponin-T1 troponin-T2 และ troponin-$T_{product}$ ในเนื้อโคจากแต่ละระบบการผลิต และค่าแรงตัดผ่านเนื้อ.....76


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 วิจารณ์ผลการทดลอง.....77
5.1 ค่า pH ของกล้ามเนื้อ.....77
5.2 ค่าสีของกล้ามเนื้อ (L*a*b*).....78
5.3 ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ.....80
5.4 การเปลี่ยนแปลงของ troponin-T (39 และ 37 kDa) และ troponin – $T_{product}$ (30 kDa).....81

บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ.....82

บรรณานุกรม.....85

ภาคผนวก.....96
ภาคผนวก ก.....97
ภาคผนวก ข.....103

ประวัติผู้เขียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

**ตารางที่** **หน้า**

2.1 โปรตีนสำคัญที่พบในกลุ่ม myofibrillar proteins .....14
2.2 กลุ่มของเอ็นไซม์ที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อ.....17
2.3 อิทธิพลของค่า pH ที่มีต่อการทำปฏิกิริยาของเอ็นไซม์ μ – calpain.....19
2.4 ผลจากการย่อยสลาย myofibrillar proteins โดยเอ็นไซม์ calpains.....22
2.5 ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (กิโลกรัม) จากกล้ามเนื้อ LD และ SM ที่อัตราการลดลงของค่า pH ในแต่ละกลุ่ม..... 27
2.6 ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (กิโลกรัม) ของเนื้อโคที่มีผลจากอิทธิพลร่วมระหว่าง ระดับไขมันแทรก และอายุโค.....29
2.7 คุณสมบัติของเส้นใยกล้ามเนื้อแต่ละชนิด.....31
2.8 ค่าความนุ่มของกล้ามเนื้อแต่ละชนิดที่วัดได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส และการทดสอบแรงตัดผ่านเนื้อ.....36
2.9 ค่าความนุ่มของกล้ามเนื้อแต่ละชนิดที่วัดได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส และการทดสอบแรงตัดผ่านเนื้อ.....37
2.10 ค่า pH และค่าสีของกล้ามเนื้อสันนอกในโคเพศผู้สองสายพันธุ์ที่ได้เลี้ยงด้วยอาหารข้น หรือหญ้าหมักและที่อายุเข้าฆ่าที่ 14 19 และ 24 เดือน.....44
2.11 ค่าสี (L* a* b*) ของเนื้อโคพื้นเมืองไทยที่เลี้ยงด้วยหญ้ากินนีสีม่วงเพียงอย่างเดียว และกลุ่มที่เลี้ยงด้วยหญ้ากินนีสีม่วงร่วมกับพืชตระกูลถั่ว จากกล้ามเนื้อสันนอก (*longissimus dosi*; LD) กล้ามเนื้อสะโพก (*semitendinosus* ; ST) และกล้ามเนื้อหัวไหล่ (*infraspinatus*; IS) ที่เวลา 24 ชั่วโมงหลังสัตว์ตาย.....45
2.12 การเปลี่ยนแปลงของสีเนื้อโคจากกล้ามเนื้อสันนอก (LD) ที่ระยะเวลาการบ่ม 0 2 4 8 12 และ 16 วันหลังสัตว์ตาย.....46
3.1 สัตว์ทดลอง.....57
4.1 อิทธิพลของระบบการผลิตโค และระยะเวลาการบ่มเนื้อที่มีต่อคุณภาพเนื้อ.....67
4.2 อัตราการย่อยสลาย (%) ของโปรตีน troponin-T1 (39 kDa) ในเนื้อโคจากระบบการผลิต และระยะเวลาการบ่มที่แตกต่างกัน.....69
4.3 อิทธิพลของระบบการผลิตโค และระยะเวลาการบ่มที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของ Troponin-T1 (39 kDa) troponin-T2 (37 kDa) และ troponin-$T_{product}$ (30 kDa).....70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง (ต่อ)

**ตารางที่** **หน้า**

4.4 ปริมาณของ troponin-T2 (37 kDa) ในเนื้อโคจากแต่ละระบบการผลิต ที่ระยะเวลาการบ่ม 1 7 และ 14 วัน (µg BSA-equivalent) ....71

4.5 อัตราการย่อยสลาย (%) ของโปรตีน troponin-T2 (37 kDa) ในเนื้อโคจากระบบการผลิต และระยะเวลาการบ่มที่แตกต่างกัน....73

4.6 อัตราการเพิ่มปริมาณ (%) ของโปรตีน troponin-$T_{product}$ (30 kDa) ในเนื้อโคจากระบบการผลิต และระยะเวลาการบ่มที่แตกต่างกัน....74

4.7 ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของโปรตีน troponin-T1 troponin-T2 และ troponin-$T_{product}$ ในเนื้อโคจากแต่ละระบบการผลิต และค่าแรงตัดผ่านเนื้อ....76

ข 1 ค่า pH ในกล้ามเนื้อสันนอกของเนื้อโคจากแต่ละระบบการผลิต ที่ระยะเวลาในการบ่ม 1 7 และ 14 วัน....103

ข 2 ค่า L* ของกล้ามเนื้อสันนอกในเนื้อโคจากแต่ละระบบการผลิตที่ระยะเวลาในการบ่ม 1 7 และ 14 วัน....103

ข 3 ค่าสี a* (redness) ของกล้ามเนื้อสันนอกในเนื้อโคจากแต่ละระบบการผลิตที่ระยะเวลา ในการบ่ม1 7 และ 14 วัน....104

ข 4 ค่าสี b* (yellowness) ของกล้ามเนื้อสันนอกในเนื้อโคจากแต่ละระบบการผลิตที่ระยะเวลา ในการบ่ม 1 7 และ 14 วัน....104

ข 5 ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (กิโลกรัม) ในกล้ามเนื้อสันนอกของเนื้อโคแต่ละระบบการผลิตที่ระยะเวลา ในการบ่ม 1 7 และ 14 วัน....105

ข 6 ปริมาณของโปรตีน troponin-T1 (39 kDa) ในเนื้อโคจากแต่ละระบบการผลิตที่ระยะเวลาการบ่ม 1 7 และ 14 วัน (µg BSA-equivalent)....105

ข 7 ปริมาณของโปรตีน troponin-T2 (37 kDa) ในเนื้อโคจากแต่ละระบบการผลิตที่ระยะเวลาการบ่ม 1 7 และ 14 วัน (µg BSA-equivalent)....106

ข 8 ปริมาณของโปรตีน troponin – $T_{product}$ (30 kDa) ในเนื้อโคจากแต่ละระบบการผลิตที่ ระยะเวลาการบ่ม 1 7 และ 14 วัน (µg BSA-equivalent)....106

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ

**ภาพที่** **หน้า**

2.1 ภาพตัดตามยาวของเส้นใยกล้ามเนื้อ.....5
2.2 ส่วนประกอบต่างๆ ของเซลล์กล้ามเนื้อ.....6
2.3 ส่วนประกอบต่างๆ ของ sarcomere.....7
2.4 ลักษณะของ myosin filament.....7
2.5 ลักษณะของการเกิด crossbridge.....8
2.6 โปรตีนในกลุ่มของ thin filament.....9
2.7 ภาพรวมโครงสร้างเส้นใยกล้ามเนื้อ.....10
2.8 ตำแหน่งของโปรตีนตัวสำคัญที่มีความสัมพันธ์กับความนุ่มของเนื้อ.....15
2.9 แสดงช่วงเวลาของการเกิด rigor mortis และการคลายตัวของกล้ามเนื้อ
ที่มีผลต่อความนุ่มของเนื้อ.....18
3.1 โคเนื้อลูกผสมพันธุ์ Charolais 50% x Brahman 25% x พันธุ์พื้นเมืองไทย 25%
ภายใต้ระบบการผลิตของสหกรณ์โคเนื้อกำแพงแสน.....53
3.2โคเนื้อลูกผสมพันธุ์ Charolais 50% ขึ้นไป ภายใต้ระบบการผลิต
ของสหกรณ์การเลี้ยงปศุสัตว์ กรป.กลาง โพนยางคำจำกัด จังหวัดสกลนคร.....54
3.3 โคเนื้อลูกผสมพันธุ์ Brahman เลือดสูง เลี้ยงด้วยอาหาร TMR เป็นอาหารหลัก.....55
3.4 โคเนื้อลูกผสมพันธุ์ Brahman เลือดสูง เลี้ยงด้วยเปลือกสับปะรดเป็นอาหารหยาบ.....55
3.5 โคเนื้อพันธุ์พื้นเมืองไทย เลี้ยงภายใต้ระบบปล่อยเล็มหญ้าตามธรรมชาติ.....56
4.1 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของ toponin-T1 ของเนื้อโคแต่ละประเภทที่แต่ละ
ระยะเวลาการบ่ม TF= โคโพนยางคำ BG= โค Brahman เลี้ยงด้วยหญ้า BP= โค Brahman เลี้ยงด้วย
เปลือกสับปะรด TN= โคพื้นเมืองไทย และ KU= โคกำแพงแสน.....68
4.2 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของ toponin-T2 ของเนื้อโคแต่ละประเภทที่แต่ละ
ระยะเวลาการบ่ม TF= โคโพนยางคำ BG= โค Brahman เลี้ยงด้วยหญ้า BP= โค Brahman เลี้ยงด้วย
เปลือกสับปะรด TN= โคพื้นเมืองไทย และ KU= โคกำแพงแสน.....72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ (ต่อ)

**ภาพที่** **หน้า**

4.3 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของ toponin-$T_{product}$ ของเนื้อโคแต่ละประเภทที่แต่ละระยะเวลาการบ่ม TF= โคโพนยางคำ BG= โค Brahman เลี้ยงด้วยหญ้า BP= โค Brahman เลี้ยงด้วยเปลือกสับปะรด TN= โคพื้นเมืองไทย และ KU= โคกำแพงแสน.....74

4.4 ภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงของ troponin-T1 (39 kDa), troponin-T2 (37 kDa) และ troponin-$T_{product}$ (30 kDa) ในโคจากแต่ละระบบการผลิต ที่แต่ละระยะเวลาการบ่ม M= protein marker BSA= internal marker KU= โคกำแพงแสน TF = โคโพนยางคำ BG= โค Brahman เลี้ยงด้วยหญ้า BP= โค Brahman เลี้ยงด้วยเปลือกสับปะรด และ TN= โคพื้นเมืองไทย.....75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความสำคัญและที่มา

เนื้อโคที่มีอยู่ในประเทศไทยในปัจจุบันมีความแตกต่างกันมากในเรื่องของคุณภาพเนื้อ เนื่องจากเนื้อโคเหล่านี้มาจากพันธุ์ และระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกัน ซึ่งการเลี้ยงโคเพื่อการบริโภคในประเทศขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้บริโภค และตลาดที่นำจำหน่าย จุฑารัตน์ เศรษฐกุล และ ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ. (2548) ได้จำแนกระบบการเลี้ยงโคในประเทศไทยออกเป็น 3 ระบบใหญ่ๆ อันประกอบไปด้วย 1) ระบบการเลี้ยงโคเนื้อสำหรับตลาดเนื้อโคคุณภาพสูง เป็นระบบการเลี้ยงที่นิยมขุนโคเนื้อลูกผสมเลือดยุโรป อาทิเช่น โคลูกผสมพันธุ์ Charolais และ Simmental ทำการขุนด้วยอาหารข้น ร่วมกับหญ้าสดเป็นเวลา 8-12 เดือน น้ำหนักส่งฆ่าประมาณ 550-650 กิโลกรัม เน้นให้มีปริมาณไขมันแทรกในเนื้อสูง และผ่านขั้นตอนการบ่มเป็นเวลา 7-14 วันก่อนออกจำหน่าย เนื้อจะมีความนุ่มมาก และฉ่ำน้ำ ส่วนใหญ่มีวางจำหน่ายตามตลาดระดับสูง เช่น โรงแรม ภัตตาคาร และ ห้างสรรพสินค้า เป็นต้น 2) ระบบการเลี้ยงโคเนื้อสำหรับตลาดเนื้อโคคุณภาพปานกลาง นิยมขุนโคลูกผสมสายพันธุ์ Brahman เลือดสูงอายุน้อยเป็นส่วนใหญ่ ขุนด้วยอาหารข้น และหญ้าสด หรือฟาง เป็นเวลา 3-4 เดือน น้ำหนักส่งฆ่าประมาณ 500 กิโลกรัม เนื้อจะมีความนุ่มปานกลาง ไม่มีไขมันแทรก เนื้อในกลุ่มนี้มีทั้งผ่านขั้นตอนการบ่มและไม่ได้บ่ม และ 3) ระบบการเลี้ยงโคเนื้อสำหรับตลาดเนื้อโคระดับล่าง เป็นการเลี้ยงโคแบบปล่อยตามทุ่งหญ้าธรรมชาติ ส่วนใหญ่เป็นโคพื้นเมืองของไทย และโคมัน น้ำหนักเข้าฆ่าอยู่ที่ 200-250 กิโลกรัม เนื้อโคจะค่อนข้างเหนียว แห้งไม่ฉ่ำน้ำ มีกลิ่นแรง มักวางจำหน่ายตามตลาดสด เนื้อส่วนใหญ่จะไม่ได้รับการบ่ม

ทั้งนี้ระยะเวลาในการบ่มที่แตกต่างจะมีผลต่อคุณภาพเนื้อด้วยเช่นกัน การบ่มเนื้อเป็นกระบวนการที่ทำให้ความนุ่มของเนื้อเพิ่มขึ้น เนื่องจากในช่วงเวลาของการบ่มจะเป็นการช่วยทำให้กระบวนการย่อยสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อภายหลังสัตว์ตาย (proteolysis) เกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ โดยพบว่าการทำงานของเอ็นไซม์ที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อ จะทำให้เกิดการฉีกขาดของโปรตีนกลุ่มเส้นใยกล้ามเนื้อ (myofibrillar protein) (Ouali. 1992) โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณ หรือขนาดของโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของเนื้อต่างๆ อาจส่งผลให้คุณภาพเนื้อด้านคุณค่าการบริโภคของเนื้อนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงไปด้วย โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของกลุ่ม myofibrillar protein อันเป็นกลุ่มโปรตีนที่มีบทบาทสำคัญที่สุด เนื่องจากมีปริมาณอยู่ถึง 60% ของโปรตีนที่พบภายในกล้ามเนื้อทั้งหมด (Warriss.

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ห้ามมิให้นำไปใช้เพื่อการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

2000) นอกจากนี้มีรายงานโดย Koohmaraie. (1992) ว่าผลจากการย่อยสลายของโปรตีนบางชนิดที่อยู่ในกลุ่ม myofibrillar proteins เช่นโปรตีน troponin-T จะมีความสัมพันธ์กับความนุ่มของเนื้อที่เพิ่มขึ้น

ปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาอย่างจริงจังเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของโปรตีน troponin-T ภายในกล้ามเนื้อโคขุนของประเทศที่มีผลต่อความนุ่มของเนื้อ ทั้งนี้การให้ความสำคัญในเรื่องคุณภาพเนื้อโคที่ผลิตได้ในประเทศไทยที่มีความแตกต่างกันในเรื่องสายพันธุ์โค และระบบการเลี้ยง เมื่อถูกนำมาบ่มในเวลาที่แตกต่างกันจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโปรตีน troponin-T หรือความนุ่มของเนื้ออย่างไร จึงเป็นเรื่องจำเป็น และควรได้ทำการวิจัยเพื่อนำข้อมูลที่ได้เป็นแนวทางในการจัดการ ปรับปรุงคุณภาพเนื้อโคของไทยที่มีความหลากหลายได้อย่างถูกต้องเหมาะสม สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภค อันจะนำไปสู่การส่งเสริมให้คนไทยหันมาบริโภคเนื้อโคที่ผลิตในประเทศไทยแทนการบริโภคเนื้อโคขุนนำเข้าคุณภาพสูงจากต่างประเทศสามารถช่วยลดการนำเข้าเนื้อโคได้ในอนาคต

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาอิทธิพลของระบบการผลิตโคที่มีต่อคุณภาพเนื้อที่ระยะเวลาการบ่มต่างๆกัน

1.2.2 เพื่อศึกษาอิทธิพลของระบบการผลิตโคที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของโปรตีน troponin-T ในเนื้อโคที่ระยะเวลาการบ่มต่างๆกัน

## 1.3 สถานที่ดำเนินงาน

1.3.1 โรงฆ่าสัตว์กลุ่มสหกรณ์การเลี้ยงปศุสัตว์ กรป. กลาง โพนยางคำ จังหวัด สกลนคร

1.3.2 โรงฆ่าสัตว์บริษัทประกอบบีฟโปรดักซ์ จังหวัด ราชบุรี

1.3.3 โรงฆ่าสัตว์บริษัทรักเศรษฐ์ จังหวัด ชลบุรี

1.3.4 โรงฆ่าสัตว์ศูนย์วิจัย และพัฒนาผลิตผลจากสัตว์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

1.3.5 สหกรณ์โคเนื้อมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จำกัด จังหวัด นครปฐม

1.3.6 ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพเนื้อสัตว์ ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กทม.

1.3.7 ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพทางสัตว์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กทม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1.4.1 ศึกษาอิทธิพลของระบบการผลิตโคที่มีต่อคุณภาพเนื้อที่ระยะเวลาการบ่มต่างๆกัน

1.4.2 ศึกษาอิทธิพลของระบบการผลิตโคที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของโปรตีน troponin-T ในเนื้อโคที่ระยะเวลาการบ่มต่างๆกัน

## 1.5 ระยะเวลาการศึกษา

1.5.1 การศึกษาคุณภาพเนื้อ เริ่มเดือนพฤษภาคม 2548 ถึง พฤษภาคม 2550

1.5.2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโปรตีน troponin-T เริ่มเดือนมิถุนายน ถึงเดือนธันวาคม 2550

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ทราบถึงอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ที่เป็นส่วนประกอบสำคัญที่ทำให้เนื้อโคจากระบบการผลิตต่างๆ ที่ผลิตได้ในประเทศมีความแตกต่างกันทางด้านคุณภาพของเนื้อ

1.6.2 ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของโปรตีน troponin-T ในเนื้อโคจากแต่ละระบบการผลิตที่ระยะเวลาการบ่มต่างๆกัน เพื่อเป็นแนวทางในการวัดระดับความนุ่มของเนื้อโค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 โครงสร้างของเส้นใยกล้ามเนื้อ (muscle fiber structure)

เส้นใยกล้ามเนื้อ หรือเซลล์กล้ามเนื้อ เป็นโปรตีนที่มีลักษณะเส้นเล็กยาว มีนิวเคลียสเป็นลักษณะทวินิวเคลียส หรือมีหลายนิวเคลียส ด้านนอกหุ้มด้วยเนื้อเยื่อที่เป็นแผ่นเยื่อบาง โปร่งแสงที่เรียกกันว่า ซาร์โคเลมมา (sarcolemma) มีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 10-100 ไมครอน (ชัยณรงค์ คันธพนิต. 2529) ภายในมีเอ็นไซม์ และรงควัตถุกระจายอยู่เหมือนเซลล์ต่างๆทั่วไป ซึ่ง จุฑารัตน์ เศรษฐกุล (2539) ได้จำแนกส่วนประกอบของเซลล์กล้ามเนื้อแต่ละหน่วยอันมีหน้าที่แตกต่างกันออกไป (ภาพที่ 2.2) ดังนี้

1. Sarcolemma คือเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) ทำหน้าที่ในการห่อหุ้มเส้นใยกล้ามเนื้อ

2. Sarcoplasm คือสารประกอบพวก colloid ที่มีส่วนประกอบเป็นน้ำ เม็ดไขมัน ไรโบโซม สารประกอบไนโตรเจน และสารอนินทรีย์อื่นๆ

3. Nucleus เซลล์ของกล้ามเนื้อจะมี nucleus อยู่ด้วยกันหลายนิวเคลียส ซึ่งอยู่บริเวณใต้ผิวของ sarcolemma

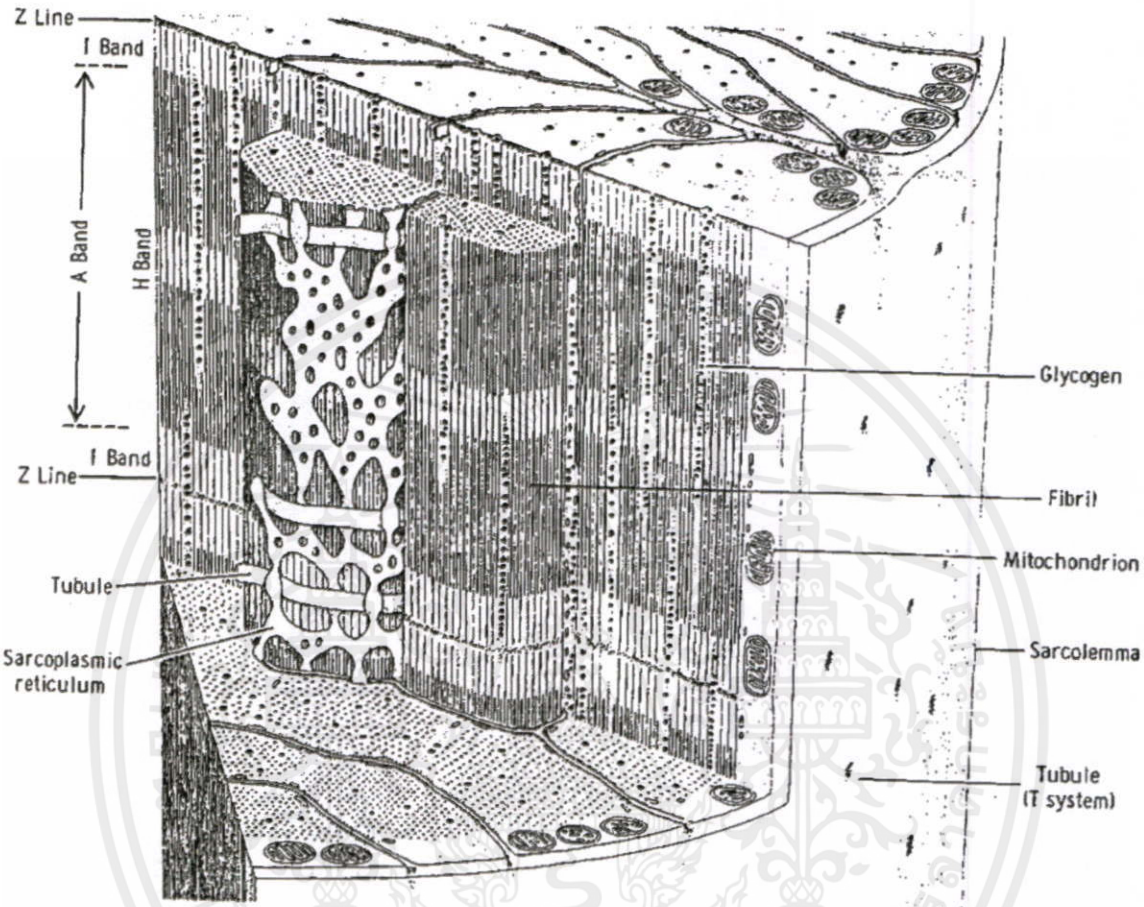
4. Sarcoplasmic reticulum (SR) ทำหน้าที่เป็นตัวกักเก็บ และปล่อย $Ca^{2+}$ เพื่อควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อ SR เป็นโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นระบบข่ายใยของเนื้อเยื่อและท่อต่างๆ (ภาพที่ 2.1) ซึ่งแผ่ตัวเองออกคล้ายตาข่าย ครอบคลุมอยู่รอบๆ เส้นใย myofibrils ซึ่งแต่ละท่อจะมีช่องทะลุออกบนผิวของ sarcolemma พอดี และที่ผิวของ SR จะเป็นแหล่งที่เก็บของ $Ca^{2+}$ ขณะที่กล้ามเนื้อของสัตว์อยู่ในเวลาพักตัว

5. Mitochondria คือโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูปวงรีแบนๆ แขวนลอยอยู่ใน sarcoplasm พบอยู่ใต้เยื่อหุ้มเส้นใย myofibrils mitochondria มีความสำคัญมากกับการทำงานของกล้ามเนื้อ เพราะเป็นแหล่งที่รวบรวมพลังงานจากสารอาหาร และแจกจ่ายพลังงานให้แก่เซลล์ในรูปของ ATP โดยผ่านทางกระบวนการaerobic metabolism

6. Lysosomes มีลักษณะเหมือนถุงเล็กๆ แขวนลอยอยู่ใน sarcoplasm ภายในจะมีเอ็นไซม์อยู่มากมายหลายชนิด ตัวที่สำคัญคือ เอ็นไซม์ cathepsins ที่ทำหน้าที่ย่อยเฉพาะโปรตีนในกล้ามเนื้อสัตว์ระหว่างขั้นตอนการบ่มซาก เป็นผลให้เนื้อมีความนุ่มมากขึ้น

7. Myofibrils หรือเส้นใยย่อย คือโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นเส้นใยเล็กๆ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.00001 เซนติเมตร เรียงตัวขนานกันไปตามความยาวของเส้นใยกล้ามเนื้อ ภายในเส้นใยกล้ามเนื้อ 1 เส้นอาจมีจำนวนของ myofibrils สูงถึง 1000 เส้น ซึ่ง myofibrils นี้เป็นหน่วยสำคัญในการทำงานของกล้ามเนื้อ

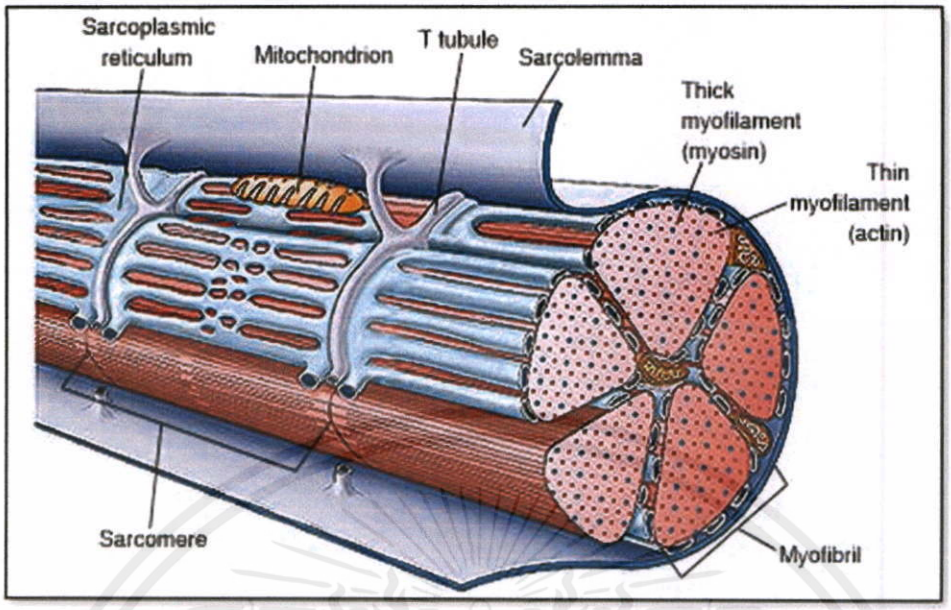
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**ภาพที่ 2.1** ภาพตัดตามยาวของเส้นใยกล้ามเนื้อ

ที่มา: De Smet *et al.* (2004)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

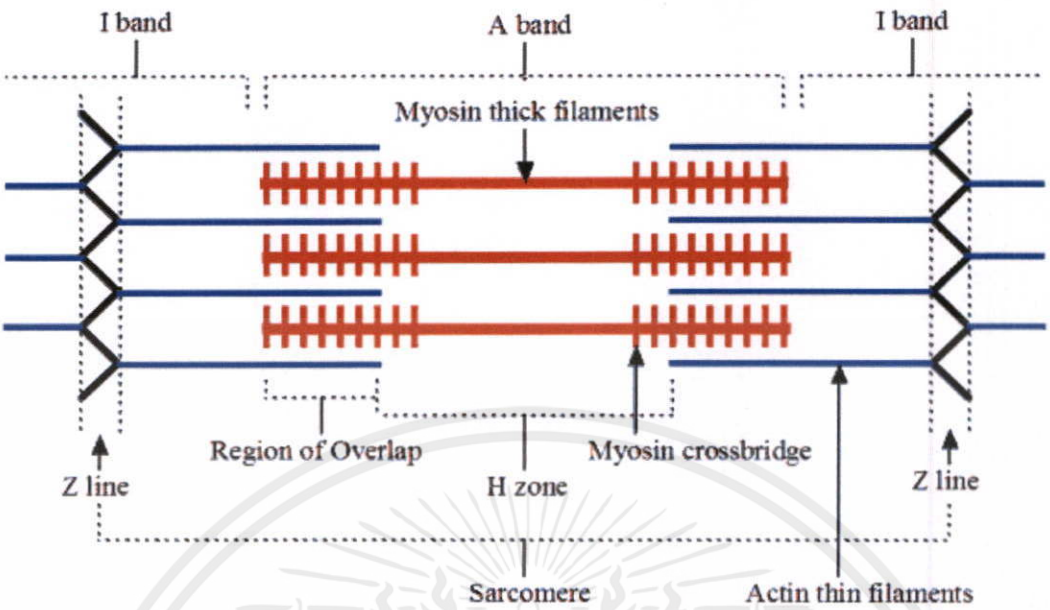



**ภาพที่ 2.2** ส่วนประกอบต่างๆ ของเซลล์กล้ามเนื้อ
ที่มา: Human bio. (2008)

myofibrils แต่ละเส้นจะมีไมโอฟิลาเมนท์ (myofilament) อยู่ด้วยกัน 2 ชนิด คือ ไมโอฟิลาเมนท์ชนิดหนา (thick filament) และไมโอฟิลาเมนท์ชนิดบาง (thin filament) นอกจากนี้ยังพบว่ามีแถบพื้นที่ทึบแสงสลับกับแถบโปร่งแสงอยู่ จากการที่สลับกันไปโดยตลอดนี้ทำให้เกิดหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดของกล้ามเนื้อขึ้นมา เรียกว่า ซาร์โคเมียร์ (sarcomere) (ภาพที่ 2.3) สำหรับภาวะปกติ sarcomere นี้จะมีความยาวประมาณ 2.3-2.8 ไมครอน เส้นเขตพื้นที่ของแต่ละ sarcomere จะเป็นเส้นบางแต่ชัดเจน เรียกว่า z-line อยู่ 2 เส้น ภายในของแต่ละ sarcomere จะพบแถบทึบแสงอยู่บริเวณส่วนกลาง เรียกว่า A-band ซึ่งมาจากคำว่า Anisotropic ส่วนแถบโปร่งแสงมีพื้นที่อยู่ข้างละครึ่งของ z-line เรียกว่า I-band ที่มาจากคำว่า Isotropic (ชัยณรงค์ คันธพนิต. 2529)

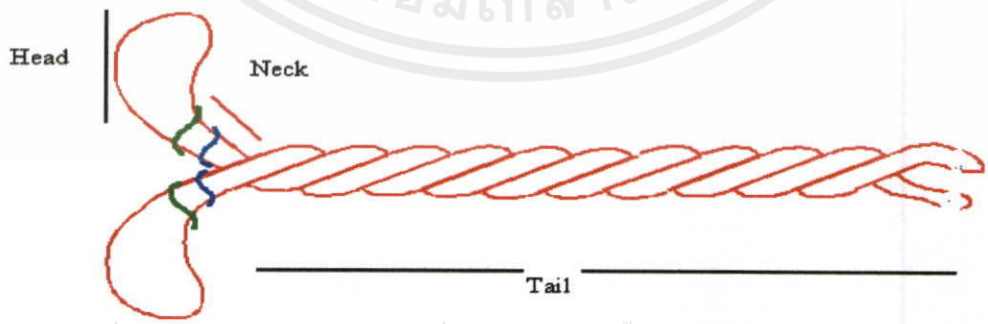
บริเวณแถบมืดของ sarcomer จะมีพวก thick filament และในแถบสว่างจะพบ thin filament โดยบริเวณที่มืด หรือทึบมากที่สุดของ A-band จะเห็น myofilament ทั้ง 2 ชนิดวางซ้อนกันอยู่ และบริเวณที่มีความทึบน้อยของ A-band จะพบว่ามีเฉพาะ thick filament อยู่เท่านั้นเรียกบริเวณนี้ว่า H-zone (จุฑารัตน์ เศรษฐกุล. 2539)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**ภาพที่ 2.3** ส่วนประกอบต่างๆ ของ sarcomere
ที่มา: Muscle. (2008)

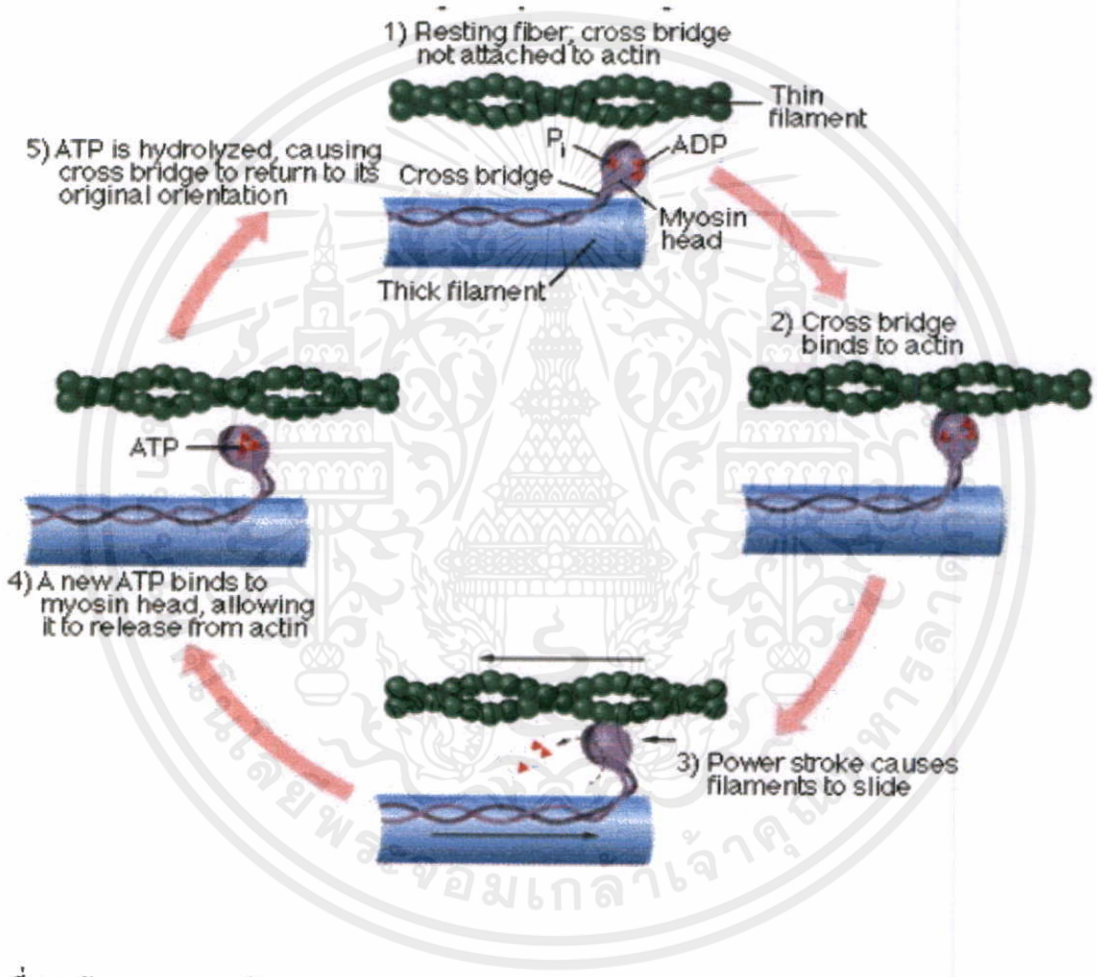
Thick filament ของกล้ามเนื้อจากสัตว์มีกระดูกสันหลังจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 14-16 นาโนเมตร และยาวประมาณ 1.5 ไมครอน thick filament จะประกอบไปด้วยโปรตีนไมโอซิน (myosin) เกือบจะทั้งหมด ดังนั้นจึงเรียกชื่อกันโดยทั่วไปว่า myosin filament (ภาพที่ 2.4) มีลักษณะเป็นรูปกลมยาว โดยที่ปลายหนึ่งมีลักษณะเป็นก้อนหนากว่าที่อื่น บริเวณนี้จึงเป็นส่วนหัว (head region) และส่วนที่เป็นแท่งกลมยาวออกมาเรียกว่าส่วนหาง (tail region) โดยมีส่วนเชื่อมระหว่างหัวกับหางเรียกว่าคอ (neck) (Warriss. 2000)




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาพที่ 2.4** ลักษณะของ myosin filament
ที่มา: Myosin II. (2002)

บริเวณส่วนหัวของ myosin จะเป็นตัวที่ทำให้เกิดการยืดหดตัวของกล้ามเนื้อ โดยมันจะไปจับกับโปรตีน แอคติน (actin) สร้าง crossbridge ทำให้เกิดปฏิกิริยา แอคโตไมโอซิน (actomyosin) โดย actomyosin นี้ (ภาพที่ 2.5) จะพบว่ามีปริมาณสูงในกล้ามเนื้อหลังสัตว์ตายโดยทั่วไป ซึ่งเป็นที่มาของการเกิดการเกร็งตัวอย่างถาวร (rigor mortis) ของซากสัตว์นั่นเอง แต่ในขณะที่สัตว์ยังมีชีวิตอยู่สภาวะของ crossbridge จะหมดสภาพไปเองเมื่อกล้ามเนื้อเกิดการคลายตัว (Warriss. 2000)




**ภาพที่ 2.5** ลักษณะของการเกิด crossbridge

**ที่มา** : Crossbridge cycle. (2008)

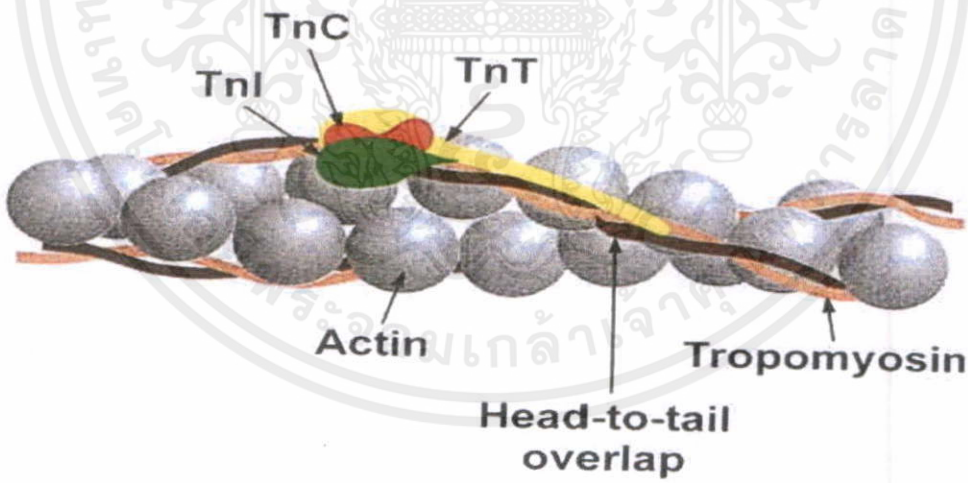
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thin filament (ภาพที่ 2.6) จะประกอบไปด้วย โปรตีน actin, tropomyosin และ troponin ซึ่ง actin พบว่ามีอยู่ประมาณ 20-25 % ในสัดส่วนของ thin filament ทั้งหมด โดย actin จะประกอบด้วยโปรตีนอยู่ 2 โครงสร้าง รูปแบบแรกมีลักษณะเป็นก้อนกลมเรียกว่า G-actin (globular actin) อีกรูปแบบหนึ่งมีลักษณะเป็นสายยาวเรียกว่า F-actin (fibrous actin) ทั้งนี้ F-actin 2 เส้นจะม้วนตัวเข้าหากันเป็นลักษณะเกลียวเชือก (Warriss. 2000)

โปรตีน tropomyosin มีประมาณ 8-10% ของ thin filament ทั้งหมดมีลักษณะเป็นเส้น โดยจะพันอยู่กับ G-actin วางตัวตามลักษณะเกลียวเชือก และอยู่ในร่องของ F-actin (ชัยณรงค์ คันธพนิต. 2529)

troponin มีลักษณะเป็นแท่งกลมสั้นมีอยู่ประมาณ 8-10% ในสัดส่วนทั้งหมดของ thin filament โปรตีนชนิดนี้จะอยู่ภายใต้เส้น tropomyosin พบว่าจะมีโปรตีน troponin 1 โมเลกุล ในทุกๆ 7 โมเลกุล G-actin นอกจากนี้ Peason and Young. (1989) ได้รายงานว่า troponin จะมีหน่วยย่อย (subunit) ทั้งหมด 3 หน่วยย่อย อันประกอบไปด้วย

1. troponin I (Tn-I) ทำหน้าที่ขัดขวางการจับกันระหว่าง myosin และactin
2. troponin C (Tn-C) ทำหน้าที่จับกับ $Ca^{2+}$
3. troponin T (Tn-T) มีความสามารถในการจับกับ tropomyosin เป็นอย่างดี และทำหน้าที่ช่วยยึดจับกับ myosin ในการเกิด crossbridge ของ actomyosin



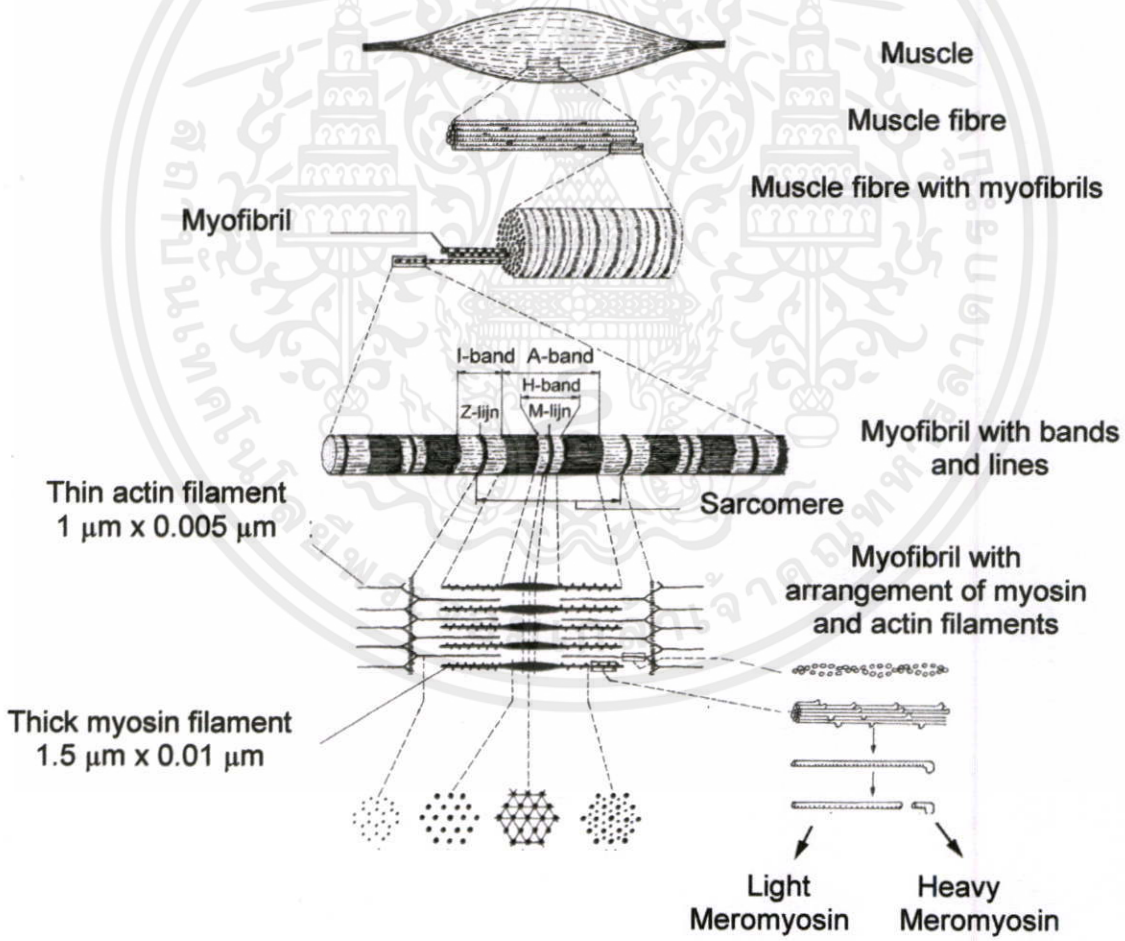

**ภาพที่ 2.6** โปรตีนในกลุ่มของ thin filament

ที่มา: Bárány and Bárány. (2002)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dransfield *et al.* (1992) ได้รายงานเกี่ยวกับการยืดหดตัวของกล้ามเนื้อว่า เป็นผลมาจากการทำงานร่วมกันระหว่าง thick และ thin filament โดยโปรตีน myosin เป็นตัวทำให้ filament ทั้ง 2 ชนิดนี้จับตัวกันในระหว่างที่กล้ามเนื้อเกิดการหดตัว ส่วนโปรตีน tropomyosin และ troponin จะมีส่วนช่วยในการยืดหดตัวของกล้ามเนื้อแบบทางอ้อม

ในสภาวะพักตัวกล้ามเนื้อจะมีแรงตึงน้อยมากเนื่องจากไม่มีการจับกันระหว่าง myosin และ actin แต่หากกล้ามเนื้อเริ่มมีการหดตัว $Ca^{2+}$ ที่อยู่ใน sarcoplasmic reticulum จะถูกปล่อยเข้ามาใน sarcoplasm และจะถูกจับโดย troponin-C เป็นผลทำให้ tropomyosin ที่ขัดขวางการจับกันระหว่าง myosin และ actin เปลี่ยนตำแหน่ง จึงเป็นการเปิดทางให้ myosin เข้ามาจับกับ actin ทำให้กล้ามเนื้อเกิดการหดตัว โดย actin จะถูกดึงเข้ามาใจกลาง sarcomere เป็นผลทำให้ความยาว sarcomere ลดลงเรียกการจับกันของ filament ทั้ง 2 ชนิดนี้ว่า actomyosin




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาพที่ 2.7** ภาพรวมโครงสร้างเส้นใยกล้ามเนื้อ

ที่มา: De Smet *et al.* (2004)

## 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของกล้ามเนื้อ (chemical composition of muscle)

Warriss. (2000) ได้รายงานการจำแนกองค์ประกอบทางเคมีภายในกล้ามเนื้อของสัตว์ว่ามีน้ำอยู่ประมาณ 70% โปรตีน 20% ไขมัน 5% ที่เหลือจะเป็นพวกคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) สารอนินทรีย์ทั่วไป (inorganic substratees) และไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (non-protein nitrogen)

### 2.2.1 ไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (non-protein nitrogen)

#### 2.2.1.1 Nucleotides

Nucleotides ตัวที่สำคัญและพบมากที่สุดคือ adenosine triphosphate (ATP) และ adenosine diphosphate (ADP) มีความสำคัญต่อกระบวนการยืดและหดตัวของกล้มเนื้อ

เมื่อกล้ามเนื้อเกิดการหดตัวจะมีการต้องการพลังงานเพื่อสำหรับใช้ในการกลับคืนสู่สภาวะพัก พลังงานดังกล่าวได้มาจาก ATP โดยเอ็นไซม์ myosin ATPase ที่มาจากบริเวณส่วนหัวของ myosin จะทำหน้าที่สลาย ATP เป็น ADP และ Pi ซึ่งหากไม่มีพลังงานจาก ATP นี้มาช่วยให้กล้ามเนื้อกลับคืนสู่สภาวะพัก จะส่งผลให้กล้ามเนื้อก็ตกอยู่ในสภาวะเกร็งตัวอย่างถาวร หรือ สภาวะ rigor mortis

#### 2.2.1.2 Creatine และ Phosphocreatine

เป็นสารที่มีความสำคัญกับกระบวนการยืดหดตัวของกล้ามเนื้อเป็นอย่างมาก ประมาณร้อยละ 98 creatine ทั้งหมดในกล้ามเนื้อจะอยู่ในรูปของ phosphocreatine

### 2.2.2 สารอนินทรีย์ทั่วไป (inorganic substratees)

สารอนินทรีย์ที่พบมากที่สุดคือ โปแตสเซี่ยม ($K^+$) และฟอสฟอรัส (P) รองลงมาเป็นโซเดียม ($Na^{2+}$) แม็กนีเซี่ยม ($Mg^{2+}$) แคลเซี่ยมคลอไรด์ ($Ca^{2+}$) สังกะสี ($Zn^{2+}$) และ เหล็ก ($Fe^{2+}$)

$Ca^{2+}$ และ $Mg^{2+}$ มีบทบาทที่สำคัญต่อการหดตัวของกล้ามเนื้อ ส่วน $K^+$ มีความสำคัญต่อกระบวนการ metabolism ของเซลล์

### 2.2.3 คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) ตัวสำคัญที่พบในกล้ามเนื้อคือ

#### 2.2.3.1 กลูโคส (glucose)

พบทั่วไปในกระแสโลหิต และจะมีปริมาณสูงขึ้นหลังจากสัตว์กินอาหารใหม่ๆ ร่างกายสัตว์จะทำการเก็บสะสม glucose ไว้ที่กล้ามเนื้อ และตับในรูป glycogen เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานสำรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.2.3.2 ไกลโคเจน (glycogen)**

เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญที่พบในกล้ามเนื้อ สร้างมาจากกลูโคส (glucose) เมื่อสัตว์มีระดับ glucose ในกระแสเลือดไม่เพียงพอต่อความต้องการ ร่างกายก็จะทำการสลาย glycogen เพื่อให้ได้ glucose ออกมา

**2.2.3.3 แลคเตท (lactate)**

พบมากในกล้ามเนื้อที่มีการหดตัวเป็นเวลานาน อันเป็นผลมาจากการที่สัตว์มีการสลาย glucose เพื่อให้ได้เป็นพลังงานโดยไม่ผ่านกระบวนการ aerobic metabolism ทำให้ได้ผลผลิตสุดท้ายจากการสลาย glucose เป็น 2 ATP และ lactate

**2.2.4 ไขมัน (triglycerides)**

Triglycerides เป็นส่วนประกอบที่สำคัญและมีมากที่สุดในเนื้อเยื่อไขมัน ในสัตว์แต่ละชนิดจะมีองค์ประกอบทางเคมีในเนื้อเยื่อไขมันไม่เท่ากัน เช่นในโคจะมีระดับไขมันอยู่ที่ 87-94% ในขณะที่สุกรพบว่ามีอยู่ประมาณ 90-97%

**2.2.5 โปรตีน (protein)**

Pearson and Young. (1989) รายงานไว้ว่าโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อมีอยู่หลายชนิด แต่ละชนิดจะมีหน้าที่ และคุณสมบัติแตกต่างกัน ซึ่งโปรตีนที่พบในกล้ามเนื้อนั้นสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ อันประกอบไปด้วย

**2.2.5.1 กลุ่ม sarcoplasmic protein**

เป็นโปรตีนกล้ามเนื้อที่สามารถละลายได้ในน้ำ และสารละลายเกลือเจือจาง พบที่ตำแหน่งของ sarcoplasm พบว่ามีอยู่ประมาณ 30-35% ของโปรตีนทั้งหมดที่พบในกล้ามเนื้อ โปรตีนตัวที่สำคัญที่พบในกลุ่มนี้คือ

1. โปรตีนไมโอเจน (myogen) ประกอบไปด้วยโปรตีนหลายๆ ชนิดรวมกัน ดังเช่นพวกเอ็นไซม์ในกระบวนการไกลโคไลซิส (glycolysis) อันได้แก่ เอ็นไซม์ไมโอไคเนส (myokinase) และเอ็นไซม์ฟอสโฟรีเลส (phosphorelase) เป็นต้น

2. โปรตีนโกลบลูลิน เอ็กซ์ (globulin X) เป็นโปรตีนรูปร่างทรงกลม บทบาทและหน้าที่ยังไม่ทราบแน่ชัด

3. โปรตีนไมโอโกลบิน (myoglobin) เป็นโปรตีนที่มีคุณสมบัติในการทำให้เกิดสี (chromoprotein) ซึ่งมี haem เป็นองค์ประกอบคล้ายกับฮีโมโกลบิน (haemoglobin) ทำหน้าที่รับส่งออกซิเจนให้กับเซลล์กล้ามเนื้อ เป็นตัวที่ทำให้กล้ามเนื้อมีสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น โดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้เขียนเอกสาร ขอสงวนสิทธิ์ในการดำเนินคดีตามกฎหมายกับผู้ที่นำเอกสารนี้ไปใช้ในทางมิชอบ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.2.5.2 โปรตีนกลุ่มเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน หรือ connective tissue proteins**

เป็นโปรตีนกล้ามเนื้อที่มีหน้าที่หลักในการเชื่อมตัว และยึดส่วนต่างๆ ของร่างกายให้ติดกัน เนื้อเยื่อเกี่ยวพันจะกระจายอยู่ทั่วทุกแห่งในตัวสัตว์ และยังมีการพัฒนาต่อไปเป็นระบบโครงร่างของร่างกายสัตว์ เช่น กระดูก กระดูกอ่อน เอ็น และพังผืด เป็นต้น ทั้งนี้สามารถจำแนกออกเป็น 3 ชนิดใหญ่ๆ คือ

1. คอลาเจน (collagen) เป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่พบในร่างกายสัตว์สูงที่สุด มีลักษณะเป็นเส้นยาวเล็กๆ สีขาว เมื่อโดนความร้อนจะแปรสภาพเป็นเจลาติน (gelatin) ได้ง่าย

2. อิลาสติน (elastin) เป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่มีปริมาณต่ำกว่า collagen มาก มีลักษณะคล้ายยาง พบมากในบริเวณผนังหลอดเลือด elastin ไม่สลายตัวหรือแปรสภาพไปเป็น gelatin เหมือนกับ collagen

3. เรติคิวลิน (reticulin) ประกอบไปด้วยเส้นใยเล็กๆ ทำหน้าที่เชื่อมระหว่าง endomysium กับ sarcolemma ที่อยู่รอบๆเซลล์กล้ามเนื้อ

**2.2.5.3 กลุ่ม myofibrillar proteins หรือโปรตีนเส้นใยกล้ามเนื้อ**

มีสัดส่วนอยู่ประมาณ 60% ของโปรตีนกล้ามเนื้อทั้งหมด เป็นโปรตีนที่สามารถละลายได้ในสารละลายเกลือเข้มข้น พบได้ตามบริเวณกล้ามเนื้อที่สามารถหดตัวได้

นอกเหนือจากโปรตีน myosin, actin, tropomyosin และ troponin ที่พบเป็นส่วนใหญ่แล้วยังมีโปรตีนชนิดอื่นที่พบในกลุ่มโปรตีนเส้นใยกล้ามเนื้อ ที่ยังไม่ทราบบทบาท และหน้าที่อย่างชัดเจน แต่สันนิษฐานว่าอาจมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหดตัวของกล้ามเนื้อเช่นกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.1

**ตารางที่ 2.1** โปรตีนสำคัญที่พบในกลุ่ม myofibrillar proteins

| โปรตีน | ขนาด (kDa) | อ้างอิง |
|---|---|---|
| Titin | 3,000 | Fry *et al.* (1997) |
| Nebulin | 500 – 800 | MeElhinwy *et al.* (2005) |
| Synemin | 230 | Bilak *et al.* (1998) |
| Myosin | 210 | Ishikawa *et al.* (1991) |
| Myomesin | 185 | Grove *et al.* (1989) |
| M – protein | 165 | Grove *et al.* (1989) |
| C – protein | 140 | Yasuda *et al.* (1995) |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.1** (ต่อ)

| โปรตีน | ขนาด (kDa) | อ้างอิง |
|---|---|---|
| H – protein | 74 | Pearson and Yong. (1989) |
| F – protein | 68 – 70 | Shahrabadi *et al.* (1988) |
| I – protein | 50 | Ohashi *et al.* (1989) |
| Troponin (complex) | 80 | Warriss. (2000) |
| - Troponin – T | 39 และ 37 | Ho *et al.* (1994) |
| - Troponin – I | 24 | Wu. (2004) |
| - Troponin – C | 18 | Davis *et al.* (2004) |
| Tubulin | 55 | Goll et al. (2003) |
| Desmin | 53 | Bertini. (1994) |
| Actin | 42 | Warriss. (2000) |
| Tropomyosin | 36 และ 34 | Ho *et al.* (1996) |
| α - Actinin | 97 | Harper *et al.* (2002) |
| β - Actinin | 38 | Winegrad. (1999) |
| γ - Actinin | 35 | Pearson and Yong. (1989) |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 กระบวนการย่อยสลายโปรตีนภายหลังสัตว์ตาย (post-mortem proteolysis)

กระบวนการย่อยสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อภายหลังสัตว์ตาย (proteolysis) มีผลต่อความนุ่มของเนื้อสัตว์เป็นอย่างมาก เนื่องจากกระบวนการนี้ เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ความนุ่มของเนื้อสัตว์นั้นเพิ่มมากขึ้น โดยพบว่าเป็นผลมาจากการทำงานของเอ็นไซม์ภายในกล้ามเนื้อสัตว์ซึ่งจะทำให้เกิดการสลายตัวของโปรตีนในกลุ่ม myofibrillar proteins (Koohmaraie. 1992) ซึ่งผลของการย่อยสลาย myofibrillar proteins ในเนื้อสัตว์ภายหลังสัตว์ตายนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ดังต่อไปนี้ (ภาพที่ 2.8)

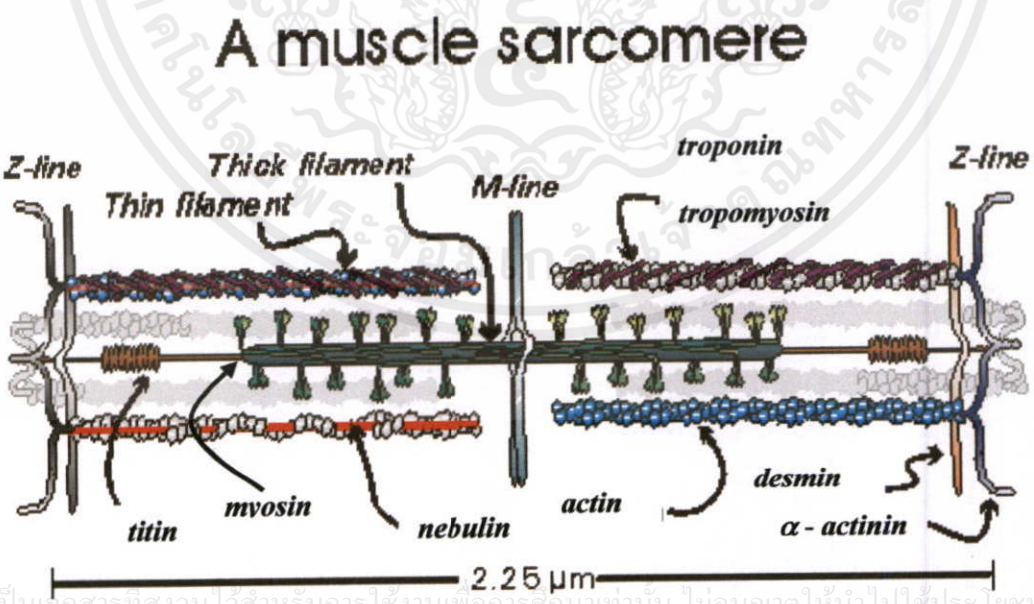
1. เกิดการทำลายของเส้นใย myofibril ที่บริเวณ z-line

2. เกิดการย่อยสลายของ desmin ซึ่งนำไปสู่การแตกตัวของเส้นใย myofibril และเกิดการทำลายโครงสร้าง transverse cross-linkage ของ myofibril

3. เกิดการย่อยสลายของ titin filament และ nebulin ซึ่งเชื่อมโยงต่อกับ myosin filament ทั้งนี้ titin ทำหน้าที่เกี่ยวกับการยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อ เมื่อ titin ถูกทำลายก็มีผลทำให้แรงตึงของเส้นใยกล้ามเนื้อหมดลง เป็นผลทำให้เนื้อเกิดความนุ่มขึ้น

4. เกิดการย่อยสลายของ troponin-T ในขณะเดียวกัน พบว่ามีการปรากฏของpolypeptides ที่มีขนาด 30 kDa

5. ปรากฏ polypeptides ที่มีขนาด 95 kDa และ 27kDa ขึ้น ซึ่งคาดว่าเป็นผลผลิตที่ได้จากการสลายตัวของโปรตีนที่มีขนาดใหญ่ และ มีรายงานว่า การปรากฏของ polypeptides ทั้ง 2 ชนิดนี้มีความสัมพันธ์กับความนุ่มที่เพิ่มขึ้น




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาพที่ 2.8** ตำแหน่งของโปรตีนตัวสำคัญที่มีความสัมพันธ์กับความนุ่มของเนื้อ

ที่มา: De Smet *et al.* (2004)

**2.3.1 เอ็นไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยโปรตีนกล้ามเนื้อ (proteolytic enzymes)**

การย่อยสลาย myofibrillar proteins ในกล้ามเนื้อสัตว์ โดยเฉพาะตรงตำแหน่งของ z -line เชื่อว่าเป็นผลมาจากการทำงานของกลุ่มเอ็นไซม์ที่ทำหน้าที่ในการย่อยโปรตีน (proteolytic enzymes) ประกอบไปด้วย เอ็นไซม์ 3 กลุ่ม (ตารางที่ 2.2) ที่ทำงานในสภาวะแวดล้อมภายในเนื้อที่แตกต่างกัน ได้แก่ lysosomal proteinases, multicatalytic proteinases complex และcalcium-dependent proteinases (Ouali. 1992)

1. Lysosomal proteinases หรือ Cathepsins ทำงานได้ดีในเนื้อที่มีสภาพเป็นกรด หรือ ค่าความเป็นกรด – ด่างของเนื้อต่ำกว่า 5 (pH < 5.0) สาเหตุที่เรียกชื่อว่า เอ็นไซม์ lysosomal เนื่องมาจากว่าเรียกตามตำแหน่งที่พบ โดยเอ็นไซม์ตัวนี้จะพบได้ภายใน lysosome ของเซลล์กล้ามเนื้อ หรือเส้นใยกล้ามเนื้อ เอ็นไซม์ที่อยู่ในกลุ่มนี้ประกอบไปด้วย cathepsins D B L และ H (Uytterhaegen. 1994) จากการศึกษาของ Koohmaraie. (1994) รายงานว่าเอ็นไซม์ชนิดนี้ไม่มีความสำคัญต่อการย่อยโปรตีนในกล้ามเนื้อเท่าใดนัก เป็นเพราะหากต้องการให้เอ็นไซม์นี้สามารถทำงานได้จะต้องทำให้ออกจาก lysosome มาสู่ cytosol โดยจากที่ได้ทำการทดลองพบว่า แม้จะมีการกระตุ้นซากด้วยกระแสไฟฟ้าแล้วนำซากนั้นไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลาถึง 28 วัน ก็ตาม cathepsins จะยังคงอยู่ภายใน lysosome ดังเดิม

2. Multicatalytic proteinases complex หรือ Proteisome หรือ Macropain เป็นเอ็นไซม์ที่ต้องการ ATP มาเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการทำปฏิกิริยา ทำงานได้ดีในเนื้อที่มีค่าความเป็นด่างสูง หรือ ค่า pH 7.0-9.0 ทำหน้าที่ในการย่อยโปรตีนทุกชนิด ที่อยู่ในกลุ่ม myofibrillar proteins และ sarcoplasmic proteins โดยในการย่อยโปรตีนที่อยู่ในกลุ่ม myofibrillar proteins นั้นจะเข้าย่อยสลายเฉพาะ troponin-C และ myosin chain-1,-2 เท่านั้น จึงไม่มีบทบาทที่สำคัญต่อการปรับปรุงความนุ่มของเนื้อหลังจากสัตว์ตายมากนัก (Goll *et al.* 1991)

3. Calcium-dependent proteinases หรือ Calpains เป็นเอ็นไซม์ที่ต้องการแคลเซี่ยม (calcium) ที่อยู่ในรูปประจุ ($Ca^{2+}$) มาเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการทำงาน ซึ่งการฉีดสารละลายแคลเซี่ยมคลอไรด์ ($CaCl_2$) เข้าไปในกล้ามเนื้อ จะเป็นการกระตุ้นการทำงานของเอ็นไซม์ calpains ให้ดีขึ้น ส่งผลให้เนื้อนั้นมีความนุ่มเพิ่มขึ้น (Koohmaraie. 1994) เอ็นไซม์นี้ทำงานได้ดีในเนื้อที่มีสภาวะความเป็นกรด-ด่างที่ 6.0-7.0 โดยพบว่ามีเอ็นไซม์ calpastatin เป็นตัวยับยั้งการทำงานของ calapains เอ็นไซม์ในกลุ่มนี้มีตัวที่สำคัญด้วยกันจำนวน 2 ตัว คือ

3.1 Calpain I หรือ μ-calpain เป็นเอ็นไซม์ที่ต้องการความเข้มข้นของ $Ca^{2+}$ มาเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการทำงานในระดับ $10^{-6}$ โมลาร์ (molar) หรือ ความเข้มข้นของ $Ca^{2+}$ เท่ากับ 10 ไมโครโมล (μM)

3.2 Calpain II หรือ m-calpain เป็นเอ็นไซม์ที่ต้องการความเข้มข้นของ $Ca^{2+}$ มาเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการทำงานในระดับ 200-300 μM (Morgan *et al.* 1993) โดยเอ็นไซม์ในกลุ่มนี้จะมีบทบาทที่สำคัญ

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

มากในการย่อยสลายโปรตีนของกล้ามเนื้อภายหลังจากสัตว์ตาย เนื่องจากจะเข้าสลายโปรตีนบริเวณ z-line (μ-calpain เข้าย่อยสลายโปรตีน ณ บริเวณ z-line = 66% บริเวณ I-band = 20% และบริเวณ A-band = 14%) (Koohmaraie. 1994)

**ตารางที่ 2.2** กลุ่มของเอ็นไซม์ที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อ

| เอ็นไซม์ย่อยโปรตีนในกล้ามเนื้อ | เอ็นไซม์ในกลุ่ม | ตำแหน่งที่พบ | pH ที่เหมาะสมต่อการทำงาน | ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงาน |
|---|---|---|---|---|
| cathepsins | cathepsin D | | | |
| | cathepsin B | lysosomes | 5.0 – 6.0 | pH |
| | cathepsin L | | | |
| | cathepsin H | | | |
| proteasome | | cytosol | 7.0 – 9.0 | pH |
| calpains | calpain I | cytosol | 6.0 – 7.0 | pH, calcium |
| | calpain II | | | เอ็นไซม์calpastatin |

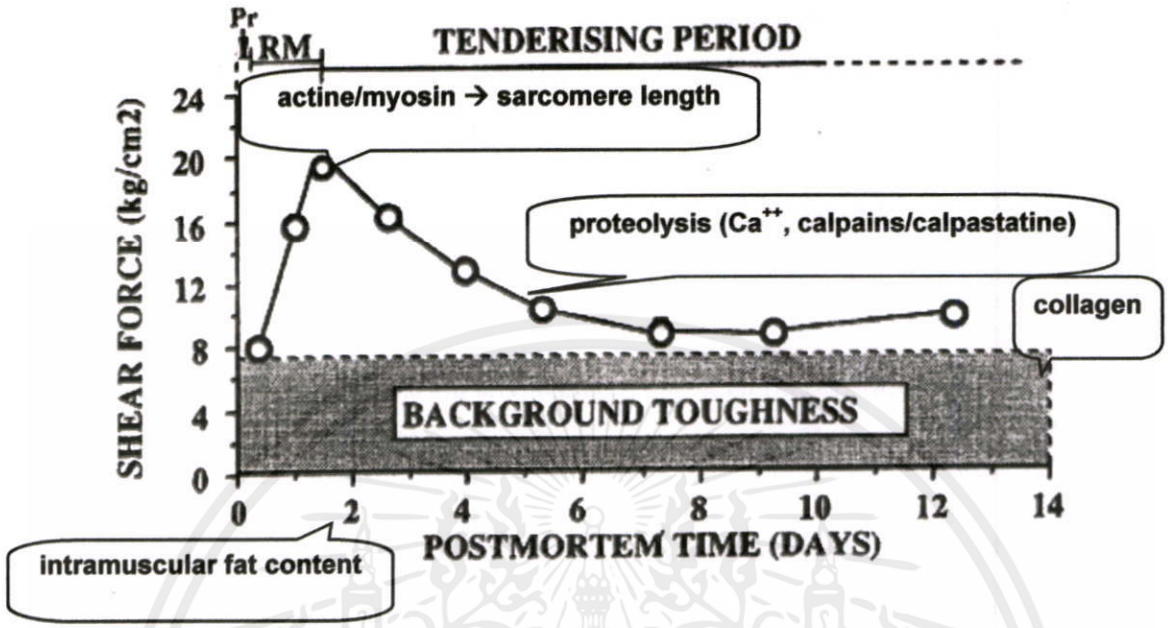
ที่มา : ดัดแปลงจาก Ouali (1992)

Dransfield. (1994) รายงานว่าหลังจากสัตว์ตาย ATP ถูกใช้ไปเกือบหมด และเกิดสภาวะ rigor mortis

Rigor mortis คือ ปรากฏการณ์ที่กล้ามเนื้อเกิดการหดตัวอย่างถาวรภายหลังจากสัตว์ตาย เนื้อจะมีสภาพเกร็งตัว ซึ่งเป็นผลมาจากการที่พลังงานสะสมในร่างกายทั้ง glycogen ATP ADP creatine และ phosphocreatine ถูกใช้ไปจนหมดจึงไม่มีพลังงานจาก ATP มาช่วยให้กล้ามเนื้อกลับคืนสู่สภาวะพัก เมื่อเกิด rigor mortis เส้นใยกล้ามเนื้อจะหดสั้นเข้ามา เนื้อจะเริ่มเหนียว และมีระดับความเหนียวเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อปฏิกิริยาดำเนินต่อไปจนถึงจุดสูงสุด และปล่อยทิ้งไว้เนื้อจะมีการอ่อนนุ่มลง ตามปกตินิยมบ่มเนื้อไว้ที่ห้องเย็นอีกช่วงเวลาหนึ่งจะเป็นการช่วยให้เนื้อสัตว์เกิดความนุ่มเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากมีการย่อยสลายโปรตีนในเส้นใยกล้ามเนื้อบางส่วน เช่นพวก myofibrillar protein ด้วยเอ็นไซม์ที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายโปรตีนภายในกล้ามเนื้อ เช่นเอ็นไซม์ cathepsin และ calpain ดังนั้นจึงมีผลทำให้เนื้อที่บ่มเกิดความนุ่มเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 2.9)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

87852




**ภาพที่ 2.9** แสดงช่วงเวลาของการเกิด rigor mortis และการคลายตัวของกล้ามเนื้อที่มีผลต่อความนุ่มของเนื้อ
ที่มา: De Smet *et al.* (2004)

ในขณะที่เกิด rigor mortis ผนังของ sarcoplasmic reticulum ไม่สามารถเก็บ $Ca^{2+}$ ไว้ได้ เป็นผลให้ $Ca^{2+}$ ถูกปล่อยออกสู่ myofibrils การเพิ่มขึ้นของ $Ca^{2+}$ จะไปกระตุ้นการทำงานของ μ-calpain ทำให้เกิดกระบวนการ proteolysis ขึ้น แต่การทำงานของ calpains จะถูกยับยั้งโดย calpastatin ซึ่งการยับยั้งจะเกิดได้ดีในช่วงที่ pH มีค่าประมาณ 7.0 การยับยั้งเกิดขึ้นถึง 85% แต่เมื่อ pH มีค่าอยู่ที่ประมาณ 5.5 การยับยั้งจะลดลงเหลือ 33% ระหว่างที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในเนื้อช่วง pH 6.5-5.7 μ-calpain จะถูกกระตุ้นให้ทำปฏิกิริยาเพิ่มจาก 15% เป็น 97% แต่เมื่อ pH มีค่าเท่ากับ 5.7 μ-calpain จะเสียความสามารถในการทำปฏิกิริยาถึง 60% ในขณะที่ m-calpain ทำปฏิกิริยาได้อย่างเต็มที่ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Maddock *et al.* (2005) ที่ได้ทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยาของ μ-calpain ที่ระดับ pH ต่างกัน 3 ระดับคือ ที่ค่าpH 7.5 6.5 และ 6.0 ทำการบันทึกผลในการเกิดปฏิกิริยาของ μ-calpain ไว้ 2 ช่วงเวลา คือที่เวลา 30 และ 60 นาที จากผลการศึกษาพบว่า μ-calpain สามารถทำปฏิกิริยาได้ดีที่สุดที่ค่า pH 6.5 เมื่อเปรียบเทียบกับการทำปฏิกิริยาที่ค่า pH 7.0 และ 6.0 (ตารางที่ 2.3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.3** อิทธิพลของค่า pH ที่มีต่อการทำปฏิกิริยาของเอ็นไซม์ μ-calpain

| pH | ความสามารถในการทำปฏิกิริยา* | |
|---|---|---|
| | 30 นาที | 60 นาที |
| pH 7.5 | 94.21[b] | 152.53[b] |
| pH 6.5 | 131.65[a] | 208.18[a] |
| pH 6.0 | 46.47[c] | 68.12[c] |

* = fluorescence units

[a, b, c] = ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

ที่มา : ดัดแปลงจาก Maddock *et al.* (2005)

Huff-Lonergan and Lonergan. (2005) กล่าวว่า calpains เป็นเอ็นไซม์ที่มีบทบาทสำคัญที่สุดในการทำให้เนื้อนุ่ม ทั้งนี้ควบคู่ไปกับการทำงานของ $Ca^{2+}$ ที่ถูกขับออกมาจาก sarcoplasmic reticulum ในขณะที่เกิด rigor mortis โดย $Ca^{2+}$ จะมีบทบาทร่วมกับ calpains ในการทำให้เนื้อนุ่มได้ ดังกระบวนการต่อไปนี้

1. $Ca^{2+}$ จะเป็นตัวกระตุ้น calpains ในการย่อยสลายโปรตีนตรงบริเวณ z-lineของ sarcomere
2. $Ca^{2+}$ จะเป็นตัวทำให้เกิดการสลายของ z-line และยังทำให้เกิดการปลดปล่อยโปรตีน paratropomyosin ออกมาสู่โครงสร้างของ myofibrillar protein
3. การปลดปล่อยโปรตีน paratropomyosin มีผลทำให้เกิดการคลายตัวของ actomyosin

Pringle *et al.* (1997) ศึกษาระบบเอ็นไซม์ calpain ที่ช่วยย่อยสลายโปรตีนในเนื้อ ที่มีผลต่อคุณภาพเนื้อของโคลูกผสมพันธุ์ Angus (*Bos taurus*) และพันธุ์ Brahman (*Bos indicus*) พบว่าโคลูกผสมที่มีระดับเลือด Brahman สูงขึ้น 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 เพิ่มขึ้นเมื่อระดับเลือดโค Brahman สูงขึ้น และพบว่าปริมาณเอ็นไซม์ μ-calpain มีค่าสหสัมพันธ์ทางบวกกับค่าคะแนนทดสอบระดับความนุ่มด้วยประสาทสัมผัสจากการชิม ($P<0.01$) ซึ่งสอดคล้องกับ Wheeler *et al.* (1990) รายงานว่าปริมาณเอ็นไซม์ calpastatin จะสัมพันธ์กับระดับเลือดของโค Brahman โดยปริมาณเอ็นไซม์ calpastatin จะเพิ่มขึ้นและสัดส่วนของ calpastatin: μ-calpain จะสูงขึ้นเมื่อระดับเลือดโค Brahman เพิ่มขึ้น แสดงว่าการที่เอ็นไซม์ calpastatin (calpain inhibitor) มีปริมาณเพิ่มขึ้น เอนไซม์ตัวนี้จะไปขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ calpain ที่ไปย่อยสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อ เป็นผลทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเอ็นไซม์ calpain ในกระบวนการ proteolysis ทำงานได้น้อย ส่งผลทำให้เนื้อมีความนุ่มลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

Marais *et al.* (2007) กล่าวว่า การย่อยสลายโปรตีนในกลุ่ม myofibrillar proteins ดังเช่น titin nebulin desmin tropomyosin และ troponin-T นั้นพบว่ามีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาความนุ่มของเนื้อสัตว์เป็นอย่างมาก

Whipple and Koohmaraie. (1991) รายงานว่า desmin เป็นโปรตีนที่มีบทบาทสำคัญที่สุดในการทำให้เนื้อเกิดความนุ่มเพิ่มขึ้น เนื่องจาก desmin จะทำหน้าที่ในการยึดส่วนประกอบต่างๆภายในเซลล์กล้ามเนื้อเข้าด้วยกันเพื่อให้เซลล์กล้ามเนื้อเกิดความคงตัว เมื่อ desmin ถูกย่อยสลายไปส่วนประกอบต่างๆของเซลล์กล้ามเนื้อจะแยกออกจากกัน จึงส่งผลให้เนื้อเกิดความนุ่มเพิ่มขึ้น นอกจากนี้โปรตีน nebulin และ desmin ยังเป็น substrate ที่ดีต่อเอ็นไซม์ calpain ในขณะที่ nebulin จะมีอัตราการสลายตัวได้เร็วกว่า desmin

Ho *et al.* (1994) ทำการศึกษาที่มาของ polypeptides ขนาด 30 kDa และการปรากฏของ polypeptides ชนิดนี้ ในเนื้อที่บ่ม 1 3 7 14 และ 28 วันหลังการฆ่า ซึ่งเดิมการพบ polypeptides ดังกล่าว บ่งบอกถึงการย่อยสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อ กลายเป็น polypeptide สายสั้นขนาด 30 kDa จากการศึกษาทำให้สามารถทราบว่า polypeptides สายสั้นนี้มาจากการสลายตัวของโปรตีน troponin-T และจะเริ่มพบ polypeptides ดังกล่าว ตั้งแต่วันที่ 3 หลังฆ่า และพบตลอดจนสิ้นสุดการทดลอง

Huff-Lonergan *et al.* (1996) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนในกลุ่ม myofibrillar proteins อันประกอบไปด้วยโปรตีน titin nebulin filamin desmin และtroponin-T ในกล้ามเนื้อสันนอกโค (*longissimus thoracis*) ที่เวลาการบ่ม 1 3 7 14 28 และ 56 วันหลังจากสัตว์ตาย จำแนกเนื้อโคที่นำมาทดสอบตามค่าแรงตัดผ่านเนื้อออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มเนื้อโคที่มีค่าแรงตัดผ่านเนื้อต่ำ (LSF) และกลุ่มที่มีค่าแรงตัดผ่านเนื้อสูง (HSF) จากการศึกษาพบว่าการสลายตัวของโปรตีน titin ในเนื้อโคกลุ่ม LSF จะเริ่มมีการสลายตัวในวันที่ 7 ของการทดลอง กลุ่ม HSF จะเริ่มมีการสลายตัวในวันที่ 14 ของการทดลอง การสลายตัวของโปรตีน nebulin พบว่าในเนื้อโคกลุ่ม LSF จะเริ่มมีการสลายตัวตั้งแต่วันแรกของการทดลอง กลุ่ม HSF จะเริ่มมีการสลายตัวในวันที่ 3 ของการทดลอง การสลายตัวของโปรตีน filamin ในเนื้อโคกลุ่ม LSF พบว่าเริ่มมีการสลายตัวในวันที่ 3 ของการทดลอง กลุ่ม HSF จะเริ่มมีการสลายตัวในวันที่ 14 ของการทดลอง การสลายตัวของโปรตีน desmin ในกลุ่ม LSF จะเริ่มมีการสลายตัวในวันแรกของการทดลอง และกลุ่ม HSF จะเริ่มมีการสลายตัวในวันที่ 7 ของการทดลอง การสลายตัวของโปรตีน troponin-T ในเนื้อโคกลุ่ม LSF จะเริ่มมีการสลายตัวในวันที่ 3 ของการทดลอง กลุ่ม HSF จะเริ่มมีการสลายตัวในวันที่ 14 ของการทดลอง

Xiong *et al.* (1996) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของ myofibrillar proteins อันได้แก่ myosin heavy chain (MHC) α-actinin actin troponin-T (Tn-T) และ polypeptides ขนาด 30 kDa จากโคลูกผสมพันธุ์ Angus ที่เลี้ยงด้วยอาหารที่แตกต่างกัน 3 สูตร ประกอบไปด้วย สูตรที่ 1 เลี้ยงด้วยหญ้าเพียงอย่างเดียว สูตรที่ 2 เลี้ยงด้วยหญ้าผสมเมล็ดธัญพืช และสูตรที่ 3 เลี้ยงด้วยหญ้าผสมเมล็ดธัญพืชร่วมกับการเสริม

zeranol ซึ่งเป็นฮอร์โมนสังเคราะห์ในกลุ่ม estrogenic compound ทำการทดสอบในกล้ามเนื้อสะโพกพับใน (*Semimembranosous*) โดยบ่มเนื้อที่เวลา 0 2 5 และ 10 วัน ภายหลังสัตว์ตาย จากการศึกษาพบว่าการเปลี่ยนแปลงของ myofibrillar proteins จากโคทั้ง 3 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกัน โดยวันที่ 0 และ 2 ของการทดลองจะยังไม่พบการเปลี่ยนแปลง แต่เมื่อหลังจากวันที่ 5 ไปแล้วจึงเริ่มพบความเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งพบว่า Tn-T และโปรตีนที่มีขนาดใหญ่กว่า MHC (คาดว่าคือ titin) จะมีปริมาณลดลง ในส่วนของ polypeptides ขนาด 30 kDa พบว่าจะมีปริมาณมากที่สุดในวันที่ 10 ของการทดลอง

Ho *et al.* (1997) รายงานว่า ผลจากการย่อยสลายของโปรตีนในกลุ่ม myofibrillar proteins ส่วนใหญ่แล้วมักพบการปรากฏของ polypeptides ที่มีขนาดประมาณ 30 kDa หรือ troponin-T $_{product}$ ซึ่ง polypeptides ขนาด 30 kDa นั้นสามารถพบได้ในกล้ามเนื้อโคทั่วไปภายหลังจากสัตว์ตาย ในขณะเดียวกันพบว่า troponin-T จะมีปริมาณลดลง และมีความสัมพันธ์กับความนุ่มของเนื้อที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่ง Steen *et al.* (1997) กล่าวว่า การย่อยสลายของ โปรตีน troponin-T และการปรากฏขึ้นของ polypeptides ขนาด 30 kDa ในเวลาเดียวกันนั้น นับว่าเป็นตัวบ่งชี้ได้อย่างดีถึงการเกิดกระบวนการย่อยสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อสัตว์โดยเอ็นไซม์ calpains นอกจากนี้ยังมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเพิ่มขึ้นของความนุ่ม

O'Halloran *et al.* (1997) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของ polypeptides ขนาด 30 kDa ที่มีผลต่อความนุ่มของเนื้อโคลูกผสม Hereford x Friesian จากกล้ามเนื้อสันนอก (*Longissimus*) (LM) และ *Semimembranosous* (SM) ทำการบ่มเนื้อที่เวลา 2 7 และ 14 วัน ภายหลังสัตว์ตาย จากการศึกษาพบว่าการปรากฏขึ้นของ polypeptides ขนาด 30 kDa นั้นเริ่มพบตั้งแต่วันที่ 2 ของการบ่มเนื้อ และมีปริมาณความเข้มข้นมากขึ้นเรื่อยๆ ค่าแรงตัดผ่านเนื้อในวันที่ 2 7 และ 14 ของ LM มีค่าเท่ากับ 7.06 4.90 และ 3.25 กิโลกรัม ตามลำดับ ในขณะที่ SM มีค่าเท่ากับ 7.12 7.02 และ 6.38 กิโลกรัม ตามลำดับ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณความเข้มข้น polypeptides ขนาด 30 kDa นั้นจะมีความสัมพันธ์กับค่าแรงตัดผ่านเนื้อที่ลดลง หรือความนุ่มของเนื้อที่เพิ่มขึ้น

Kołczak *et al.* (2003) ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของ myofibrillar proteins จากเนื้อลูกโค โคสาว และแม่โค ที่ 1 6 และ 12 วันหลังการฆ่า เปรียบเทียบกับการเปลี่ยนแปลงของรสชาติในเนื้อ โดยพบการปรากฏของ polypeptides ขนาด 30 kDa และอัตราการย่อยสลายโปรตีนโครงสร้าง เร็วที่สุดในเนื้อลูกโค รองลงไปเป็นเนื้อโคสาว และแม่โคตามลำดับ จากการเปลี่ยนแปลงนี้ จึงเป็นผลให้เนื้อของลูกโคมีความนุ่มมากที่สุด รองลงไปเป็นเนื้อโคสาว และแม่โค

Ilian *et al.* (2004) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความนุ่มของเนื้อกับการย่อยสลายของโปรตีน nebulin และ desmin ในช่วงเวลาการบ่มเนื้อ 1 2 3 4 5 6 และ 7 วันหลังสัตว์ตาย จากผลการทดลองทำให้ทราบว่า nebulin เริ่มมีการสลายตัวในวันที่ 2 ของการทดลอง และหลังจากวันที่ 3 ไปแล้วจะไม่พบ

เอกสารนี้เป็น... ไม่...

การปรากฏของแถบโปรตีน nebulin อีก ส่วน desmin นั้นจะมีอัตราการสลายตัวที่ช้ากว่า โดยเริ่มมีการสลายตัวประมาณวันที่ 3-5 ของการทดลอง เมื่อนำมาทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างการสลายตัวของโปรตีนทั้ง 2 ชนิดพบว่ามีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.932 และ 0.511 ตามลำดับ

Muroya *et al.* (2006) ศึกษาความแตกต่างการย่อยสลายของโปรตีน troponin-T (Tn-T) จากกล้ามเนื้อสันนอกในโคญี่ปุ่น ที่ระยะเวลาการบ่ม 0 1 5 และ 14 วันหลังสัตว์ตาย ด้วยเทคนิค western blot ทำการจำแนกประเภทของ Tn-T ออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่ม fast Tn-T ประกอบไปด้วย polypeptide ที่มีขนาด 36.5 35.4 34.8 และ 32.8 kDa และกลุ่ม slow Tn-T ประกอบด้วย polypeptide ที่มีขนาด 34.5 และ 32.1 kDa เมื่อศึกษาในเรื่องของการย่อยสลายแล้วพบว่า fast Tn-T จะเริ่มมีการย่อยสลายของ Tn-T ในวันที่ 1 ของการบ่ม และพบว่ามี polypeptide ที่มีขนาด 32.1 30.9 29.6 28.3 27.4 26.9 และ26.0 ปรากฏขึ้น และมีปริมาณมากขึ้นในทุกๆระยะของการบ่ม ในขณะที่กลุ่ม slow Tn-T พบว่าเริ่มมีการย่อยสลายของ Tn-T ในวันที่ 1 ของการบ่มเช่นกัน และมี polypeptide ที่มีขนาด 31.0 kDa ปรากฏขึ้น

**ตารางที่ 2.4** ผลจากการย่อยสลาย myofibrillar proteins โดยเอ็นไซม์ calpains

| โปรตีน | ผลจากการย่อยสลายโดยเอ็นไซม์ calpains |
|---|---|
| Titin | มีอัตราการย่อยสลายอย่างรวดเร็วอย่างเป็นลำดับ โดยเริ่มจาก polypeptides ที่มีขนาด 3,000 kDa เป็น 2,000 kDa และ 1,200 kDa โดย polypeptides ขนาด1,200 kDa นี้จะถูกย่อยต่อไปจนเหลือขนาดประมาณ 500 kDa ซึ่งจะเป็นขนาดที่เสถียร และไม่พบว่ามีการย่อยสลายต่อ |
| Nebulin | มีอัตราการย่อยสลายอย่างรวดเร็วจาก polypeptides ขนาด 800 kDa เป็น polypeptides ที่มีขนาดตั้งแต่ 30 kDa ไปจนถึงหลักร้อย |
| Synemin | มีอัตราการย่อยสลายอย่างรวดเร็วจาก polypeptides ขนาด 230 kDa เป็น polypeptides ที่มีขนาดตั้งแต่ 40 kDa จนถึงขนาด 220 kDa (40, 45, 50, 66 และ 200 kDa) โดย polypeptides ขนาด 40 kDa เป็นขนาดที่เสถียรที่สุด |
| Myosin | มีอัตราการย่อยสลายที่ช้ามากจาก polypeptides ขนาด 210 kDa ลดเหลือประมาณ 150 kDa 165 kDa และ 180 kDa |
| C – protein | มีการย่อยสลายจาก polypeptides ที่มีขนาด 140 kDa ลดลงเหลือขนาดประมาณ 120 kDa |
| Tubulin | มีอัตราการย่อยสลายที่ช้ามากจาก polypeptides ขนาด 55 kDa ลดลงเหลือขนาดประมาณ 50 kDa ถึง 52 kDa |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มา : ดัดแปลงจาก Goll *et al.* (2003)

**ตารางที่ 2.4** (ต่อ)

| โปรตีน | ผลจากการย่อยสลายโดยเอ็นไซม์ calpains |
|---|---|
| Desmin | มีอัตราการย่อยสลายอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของกระบวนการย่อย โดยมีขนาดลดลงจาก polypeptides ขนาด 53 kDa เหลือขนาดประมาณ 32-37 kDa และหากปล่อยไว้นานกว่านั้นพบว่ามี polypeptides ขนาด 18 kDa ปรากฏขึ้น |
| Troponin – T | มีอัตราการย่อยสลายอย่างรวดเร็วจาก polypeptides ขนาด 37 kDa เป็น polypeptides ที่มีขนาดประมาณ 35-30 kDa และไม่พบว่ามีการย่อยสลายต่อ |
| Troponin – I | พบว่ามีการย่อยสลายจาก polypeptides ขนาด 24 kDa กลายเป็นสาย polypeptides ที่มีขนาดเล็กทั่วไป |
| Tropomyosin | มีอัตราการย่อยสลายอย่างรวดเร็วจาก polypeptides ขนาด 36 kDa เป็น polypeptides ที่มีขนาดประมาณ 14 kDa และ สาย polypeptides ขนาดเล็ก |

ที่มา : ดัดแปลงจาก Goll *et al.* (2003)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อความนุ่มของเนื้อโค

### 2.4.1 สายพันธุ์โค (breed)

จากการศึกษาของ Wheeler *et al.* (1990) ได้รายงานว่าโคสายเลือดอินเดีย (*Bos indicus*) เนื้อจะมีความเหนียวมากกว่าโคที่มีสายเลือดยุโรป (*Bos taurus*) ถึงแม้จะมีระดับไขมันแทรกที่เท่ากันก็ตาม นอกจากนี้ในโคลูกผสมระดับสายเลือดอินเดียสูง เนื้อที่ได้จะมีความเหนียวมากเมื่อเทียบกับเนื้อโคลูกผสมที่มีสายเลือดอินเดียที่ต่ำกว่า ซึ่ง Marshall. (1994) ได้มีการรายงานไว้ว่า เมื่อระดับเลือดโคพันธุ์ Brahman เพิ่มขึ้นเป็น 25% 50% และ 75% ระดับไขมันแทรก และความนุ่มของเนื้อจะมีค่าลดลง โดยมีระดับไขมันแทรกที่ 3.93 3.51 และ 3.06 ตามลำดับ และค่าแรงตัดผ่านเนื้อเท่ากับ 5.16 5.80 และ 6.68 กิโลกรัม ตามลำดับ

Koohmaraie. (1996) ได้ทำการศึกษาความนุ่มของเนื้อโคด้วยวิธีการวัดค่าแรงตัดผ่านเนื้อ จากโค 6 สายพันธุ์ ได้แก่โคสายพันธุ์ Angus Tuli Hereford Belgian blue Boran และ Brahman ซึ่งพบว่ามีค่าแรงตัดผ่านเนื้อของโคแต่ละสายพันธุ์เท่ากับ 5.11 5.71 5.67 5.82 6.58 และ 7.30 กิโลกรัม ตามลำดับ จากการศึกษาครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่า โคในกลุ่ม *Bos taurus* ซึ่งได้แก่ โคพันธุ์ Angus Tuli Hereford และ Belgian blue จะมีความนุ่มมากกว่าโคในกลุ่ม *Bos indicus* ซึ่งได้แก่ โคพันธุ์ Boran และ Brahman ทั้งนี้สอดคล้องกับการวิจัยของ Wulf *et al.* (1997) ที่ได้ทำการศึกษาในเรื่องความแตกต่างของพันธุกรรมโคที่มีผลต่อความนุ่มของเนื้อ โดยทำการทดลองในโค *Bos taurus* และ โค *Bos indicus* จากการศึกษาพบว่าค่าแรงตัดผ่านเนื้อในโค *Bos taurus* จะมีค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (2.54 กิโลกรัม) ต่ำกว่าโค *Bos indicus* (3.10 กิโลกรัม) ($p<0.05$)

O'Conner *et al.* (1997) ศึกษาอิทธิพลจากพันธุกรรมที่มีผลต่อความนุ่มในโคเนื้อลูกผสมเลือดอินเดีย และโคเนื้อเลือดยุโรป โดยการศึกษานี้ได้จำแนกโคออกเป็นสองกลุ่ม กลุ่มแรกคือ โคเนื้อลูกผสมเลือดอินเดีย จำนวน 3 สายพันธุ์ ประกอบด้วย โคพันธุ์ Brahford (62.5% Hereford x 37.5% Brahman) โคพันธุ์ Red-Brangus (62.5% Red-Angus x 37.5% Brahman) และโคพันธุ์ Simbrah (62.5% Simmental x 37.5% Brahman) กลุ่มที่สองคือ โคเนื้อเลือดยุโรปแท้ จำนวน 3 สายพันธุ์ ประกอบด้วย โคพันธุ์ Hereford, Red-Angus และ Simmental ทำการบ่มเนื้อสันนอก ที่ 1 4 7 14 21 และ 35 วันหลังสัตว์ตาย เมื่อนำมาทำการตรวจวัดค่าแรงตัดผ่านเนื้อ ปรากฏว่าไม่พบความแตกต่างทางสถิติจากโคทั้งสองกลุ่มในวันที่ 1 ของการบ่ม (3.76 และ 3.55 กิโลกรัม) แต่เริ่มพบความแตกต่างทางสถิติ ($p<0.05$) ตั้งแต่วันที่ 4 ของการบ่มไปจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง โดยพบว่ากลุ่มโคเนื้อเลือดยุโรปแท้จะมีค่าแรงตัดผ่านเนื้อต่ำกว่าโคลูกผสมเลือดอินเดีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Muir *et al.* (2000) ศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพเนื้อในโค *Bos taurus* ระหว่างโคพันธุ์ Hereford โคพันธุ์ Holstein friesian และโคลูกผสมพันธุ์ Hereford x Holstein friesian ที่อายุ 27 เดือน พบว่าความนุ่มของเนื้อโคทั้ง 3 สายพันธุ์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่พบว่าเมื่อใช้เวลาบ่มที่นานขึ้น สามารถทำให้เนื้อมีความนุ่มเพิ่มขึ้น

Uriyapongson *et al.* (2005) ศึกษาเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อ คุณค่าด้านการบริโภค และลักษณะปรากฏของเนื้อสันนอกจากโคพื้นเมืองไทย 4 สายพันธุ์ ซึ่งเป็นโคเลือดอินเดีย โดยทำการสุ่มเก็บตัวอย่างจาก 4 ภาคของประเทศไทยได้แก่ ภาคเหนือ ภาคอีสาน ภาคใต้ และภาคกลาง พบว่าคุณค่าทางด้านการบริโภค (ความนุ่ม ความฉ่ำน้ำ กลิ่น และการยอมรับรสชาติโดยรวม) แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ค่าแรงตัดผ่านเนื้อของโคจากภาคใต้จะมีค่าน้อยที่สุด รองลงมาคือโคภาคอีสาน โคภาคเหนือ และโคภาคกลาง โดยมีค่ากับ 3.25 4.43 7.25 และ 8.81 กิโลกรัม ตามลำดับ

**2.4.2 ระดับความเป็นกรด – ด่างในเนื้อ (pH)**

การลดลงของค่า pH ภายใน 24 ชั่วโมงหลังสัตว์ตายจะมีผลต่อคุณภาพของเนื้อเป็นอย่างมาก โดยการลดลงดังกล่าวเกิดขึ้นเมื่อหลังจากที่สัตว์ตาย ร่างกายยังคงมีการสร้างพลังงานจาก glycogen ในกล้ามเนื้อต่อไป ด้วยกระบวนการ metabolism แบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic metabolism) เหตุการณ์นี้เกิดได้ชั่วระยะหนึ่งแล้วจะหมดไป ผลผลิตสุดท้ายที่ได้จากกระบวนการนี้คือ กรดแลคติก (lactic acid) และพลังงานความร้อน เมื่อมีการสะสมกรดแลคติก ในกล้ามเนื้อมากขึ้นจึงเป็นสาเหตุให้ pH ของกล้ามเนื้อนั้นลดต่ำลงเรื่อยๆ (Anderson. 1999)

โดยทั่วไปสัตว์ที่ได้รับการจัดการที่ดีในช่วงก่อนฆ่าตลอดจนหลังสัตว์ตาย ค่า pH ของกล้ามเนื้อจะลดลงอย่างช้าๆ จากเดิม 7.0 กลายเป็น 5.6-5.7 ภายในเวลา 6-8 ชั่วโมงหลังสัตว์ตาย แล้วจึงลดลงสู่จุด pH สุดท้าย (ultimate pH) ซึ่งจะมีค่า pH ประมาณ 5.3-5.7 ภายในเวลา 24 ชั่วโมงหลังสัตว์ตาย (ชัยณรงค์ คันธพนิต. 2529)

ในสัตว์ที่ไม่ทนต่อความเครียดมีผลทำให้อุณหภูมิร่างกายสูง เร่งอัตราการสลาย glycogen ทำให้ค่า pH ของกล้ามเนื้อลดต่ำอย่างรวดเร็ว ภายใน 1 ชั่วโมง pH อาจลดลงจาก 7.0 เป็น 5.4-5.7 ส่งผลทำให้เนื้อสัตว์มีลักษณะสีซีด ความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ ทำให้มีน้ำซึมออกมาบนผิวเนื้อ เรียกลักษณะเนื้อแบบนี้ว่า เนื้อ PSE (pale soft exudative) เมื่อนำไปปรุงสุก เนื้อที่ได้จะมีความเหนียวมากกว่าปกติ เนื่องจากเนื้อได้นั้นสูญเสียความสามารถในการอุ้มน้ำไปมาก (Livisay *et al.* 1996)

สำหรับสัตว์ที่ทนต่อความเครียดได้ดีร่างกายของสัตว์จะมีการสลาย glycogen เพื่อใช้ในการรักษาสมดุลของร่างกายโดยผ่านกระบวนการ aerobic metabolism การย่อยสลาย glycogen โดยผ่านทางกระบวนการ anaerobic metabolism เกิดขึ้นได้น้อยมาก จึงทำให้ pH ในกล้ามเนื้อลดลงเพียงเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปค่า pH ที่เวลา 24 ชั่วโมงหลังสัตว์ตาย จะมีค่าประมาณ 6.5-6.8 เนื้อประเภทนี้จะสามารถอุ้มน้ำได้มากกว่าปกติ เนื้อแน่น แข็ง สีเข้ม ขณะเดียวกันผิวหน้าของเนื้อจะแห้ง เรียกเนื้อลักษณะเช่นนี้ว่า เนื้อ DFD (dark firm dry) และหากนำไปปรุงสุกพบว่าเนื้อ DFD จะมีความนุ่มมากกว่าเนื้อที่มีค่า pH ในระดับปกติ เนื่องจากเนื้อ DFD มีค่า pH ที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอ็นไซม์ calpains (pH 6.2-6.7) จึงทำให้เกิดการย่อยสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งเกิดการสูญเสียน้ำระหว่างปรุงสุกในปริมาณน้อย จึงส่งผลทำให้เนื้อประเภทนี้มีความนุ่มกว่า (Silva *et al.* 1999 และ Viljoen *et al.* 2002)

O'Halloran *et al.* (1997) ศึกษาความสัมพันธ์ของค่า pH ในช่วงแรกภายหลังสัตว์ตายที่มีต่อความนุ่มของเนื้อโคจากกล้ามเนื้อ *Longissimus dorsi* (LD) และ *Semimembranosus* (SM) ของโคสาวลูกผสมสายพันธุ์ Hereford x Friesian ทำการวัดค่า pH ที่เวลา 3 และ 6 ชั่วโมงหลังจากสัตว์ตาย โดยแบ่งกลุ่มตามอัตราการลดลงของค่า pH ออกเป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่มที่มีอัตราการลดลงของค่า pH ช้า หรือ slow glycolysis โดยมีค่า pH ของ LD เท่ากับ 6.61 และ 6.42 ตามลำดับ และ SM เท่ากับ 6.41 และ 5.98 ตามลำดับ กลุ่มที่มีอัตราการลดลงของค่า pH ปานกลาง หรือ intermediate glycolysis โดยมีค่า pH ของ LD เท่ากับ 6.19 และ 5.86 และ SM เท่ากับ 6.07 และ 5.78 ตามลำดับ กลุ่มที่มีอัตราการลดลงของค่า pH เร็ว หรือ fast glycolysis มีค่า pH ของ LD เท่ากับ 5.94 และ 5.61 และ SM เท่ากับ 5.79 และ 5.54 ตามลำดับ ทำการบ่มเนื้อที่เวลา 2 7 และ 14 วัน แล้ววัดความนุ่มด้วยวิธีหาค่าแรงตัดผ่านเนื้อ โดยใช้อุณหภูมิในการปรุงสุก 2 ระดับคือ ที่อุณหภูมิ 60 และ 80°C จากการศึกษาพบว่า กลุ่ม fast glycolysis จะมีค่าแรงตัดผ่านเนื้อของกล้ามเนื้อ LD และ SM น้อยที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 2.5 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าเนื้อโคในกลุ่มที่เป็น fast glycolysis จะมีความนุ่มมากที่สุด เนื่องจากว่าอัตราการลดลงของค่า pH อย่างรวดเร็วนี้จะมีผลให้เกิดการเร่งการทำงานของ endogenous enzyme เช่น cathepsin L ให้ออกมาทำการย่อยสลายโปรตีนในเนื้อสัตว์ได้มากขึ้น

Silva *et al.* (1999) ทำการศึกษาเรื่องอิทธิพลของค่า ultimate pH (pHu) ที่มีต่อความนุ่มในกล้ามเนื้อ *Longissimus* ของเนื้อโคพื้นเมืองประเทศโปรตุเกส โดยวัดค่า pHu ที่เวลา 28 ชั่วโมง ภายหลังสัตว์ตาย และได้จำแนกเนื้อโคออกเป็น 3 กลุ่มตามค่า pHu ที่วัดได้ ประกอบไปด้วย กลุ่มที่มีค่า pHu เท่ากับ 5.7 (ปกติ) 6.1 (DFD ปานกลาง) และ 6.5 (DFD) จากนั้นนำไปวัดค่าความนุ่มด้วยวิธีการหาค่าแรงตัดผ่านเนื้อ และการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าเนื้อโคกลุ่มที่มีค่า pH ปกติ กลุ่มDFDปานกลาง และกลุ่มDFD มีค่าแรงตัดผ่านเนื้อเท่ากับ 15.2 12.8 และ 9.5 กิโลกรัม ตามลำดับ และการทดสอบความนุ่มทางประสาทสัมผัสพบว่า เนื้อในกลุ่ม DFD จะมีความนุ่มมากที่สุด เนื่องมาจากว่าเนื้อ DFD มีค่า pH ที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอ็นไซม์ calpains (pH 6.2-6.7) จึงทำให้เกิดการย่อยสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งเกิดการสูญเสียน้ำระหว่างปรุงสุกในปริมาณน้อย จึงส่งผลทำให้เนื้อประเภทนี้มีความนุ่มกว่า

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.5** ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (กิโลกรัม) ของกล้ามเนื้อ LD และ SM ที่อัตราการลดลงของค่า pH ในแต่ละกลุ่ม

| กล้ามเนื้อ | | วันที่บ่ม | อัตราการลดลงของค่า pH | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | ช้า | ปานกลาง | เร็ว |
| LD | 60 °C | 2 | 6.33 | 4.24 | 3.43 |
| | | 7 | 4.72 | 3.02 | 2.62 |
| | | 14 | 3.61 | 2.41 | 2.02 |
| | 80 °C | 2 | 12.25 | 7.77 | 7.06 |
| | | 7 | 8.76 | 5.04 | 4.90 |
| | | 14 | 6.67 | 3.31 | 3.25 |
| SM | 60 °C | 2 | 4.87 | 4.86 | 4.64 |
| | | 7 | 4.44 | 4.36 | 4.21 |
| | | 14 | 3.46 | 3.32 | 3.16 |
| | 80 °C | 2 | 10.29 | 9.55 | 7.12 |
| | | 7 | 8.19 | 7.03 | 7.02 |
| | | 14 | 6.12 | 5.76 | 6.38 |

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

Neath *et al.* (2007) ทำการศึกษาความแตกต่างในเรื่องของความนุ่ม การลดลงของค่า pH และการย่อยสลายโปรตีน troponin-T ระหว่างกระบือ (Philippine carabao x Bulgarain murrah) กับโคเนื้อ (Brahman x Philippine native) จากผลการศึกษาพบว่า ค่า Ultimate pH (pHu) ทั้งของโคและกระบือมีค่าเท่ากันที่ 5.4 แต่ในโคจะพบค่า pHuเกิดขึ้นที่ 24 ชั่วโมง ในขณะที่กระบือจะพบการลดลงของค่า pH ช้ากว่าโดย pHu เกิดขึ้นที่เวลา 48 ชั่วโมง ภายหลังสัตว์ตาย ค่าแรงตัดผ่านเนื้อไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แต่พบว่าในกระบือมีการย่อยสลายโปรตีน troponin-T ในปริมาณที่มากกว่าโค เหตุผลที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจาก การที่ค่า pHu ของกระบือลดลงช้า จึงมีผลทำให้ปฏิกิริยาการย่อยสลายโปรตีนโดยเอ็นไซม์ในกลุ่มของ calpains ซึ่งทำงานที่ค่า pH สูงเกิดขึ้นได้มากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.4.3 ระดับไขมันแทรก** (marbling)

ไขมันแทรก คือไขมันที่ถูกสะสมอยู่ระหว่างเส้นใยกล้ามเนื้อบริเวณเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่ห่อหุ้มเส้นใยกล้ามเนื้อ (endomysium) และที่ห่อหุ้มมัดของเส้นใยกล้ามเนื้อ (perimysium) สามารถมองเห็นเป็นจุด หรือเส้นสีขาวภายในกล้ามเนื้อ การสะสมไขมันแทรกในกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ของร่างกายโคจะมีไม่เท่ากัน โดยจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นจากส่วนด้านหน้าลำตัวไปยังส่วนท้ายของลำตัว และไขมันแทรกจะถูกสะสมไว้ในร่างกายเป็นลำดับสุดท้าย แต่จะถูกนำมาใช้เป็นอันดับแรกเมื่อร่างกายขาดพลังงาน (Chambaz. 2003) ทั้งนี้พันธุกรรมยังเป็นปัจจัยหนึ่งต่อการเกิดไขมันแทรกโดยพบว่าโคที่มีระดับเลือด *Bos indicus* เพิ่มขึ้น จะทำให้ระดับไขมันแทรก ขนาดพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันนอก และเกรดคุณภาพซากลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (King *et al.* 2005)

Savell and Cross (1988) ได้อธิบายถึงอิทธิพลของระดับไขมันแทรกที่มีผลต่อความน่ากินไว้ 2 ประเด็นด้วยกันคือ

ประเด็นแรก ระดับไขมันแทรกจะมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับความฉ่ำน้ำของเนื้อ (juiciness) เพราะไขมันเป็นตัวกระตุ้นต่อมน้ำลายให้มีการหลั่งน้ำลายมากขึ้น ดังตัวอย่างเวลากินเนื้อที่มีไขมันสูงทำให้มีการหลั่งน้ำลายออกมามากเช่นกันจึงทำให้รู้สึกว่าเนื้อนั่นมีความชุ่มน้ำและกลืนง่าย นอกจากนี้ไขมันอาจเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความชุ่มน้ำของเนื้อโดยทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อเพิ่มขึ้น เมื่อนำมาเนื้อไปปรุงสุกไขมันเหล่านี้จะไปเคลือบเส้นใยกล้ามเนื้อจะไม่หดตัว และสูญเสียน้ำในเนื้อมากเกินไป ทำให้เนื้อมีความนุ่ม และฉ่ำน้ำเพิ่มขึ้น

ประเด็นที่สอง ระดับไขมันแทรกมีความสัมพันธ์กับความนุ่มของเนื้อ โดยอธิบายได้เป็นทฤษฎี 4 ข้อ คือ

1. ทฤษฎีเรื่องความหนาแน่น (bulk density theory) โดยทั่วไปจะพบว่าไขมันแทรกมีความหนาแน่นต่ำกว่าโปรตีนในเนื้อ แต่หากมีปริมาณไขมันแทรกในเนื้อเพิ่มขึ้น ไขมันนั้นจะไปลดความหนาแน่นโดยรวมของเนื้อ จึงทำให้รู้สึกว่าเนื้อมีความนุ่มขึ้น

2. ทฤษฎีอิทธิพลของการหล่อลื่น (lubrication effect theory) ไขมันในกล้ามเนื้อส่วนใหญ่คือ triglycerides ที่สะสมแทรกอยู่ในเนื้อเยื่อเกี่ยวพันชั้นใน (perimysium) ที่ห่อหุ้มระหว่างมัดกล้ามเนื้อแต่ละมัด เมื่อเนื้อได้รับการปรุงสุก triglycerides จะเกิดการหลอมละลาย และจะไปเคลือบทั่วเส้นใยกล้ามเนื้อ ในทันทีที่กัดชิ้นเนื้อไขมันก็จะไหลออกมาซึ่งจะไปมีผลให้เกิดการกระตุ้นการหลั่งน้ำลาย จึงทำให้รู้สึกว่าเนื้อนั้นมีความฉ่ำน้ำ เคี้ยวง่าย และนุ่ม

3. ทฤษฎีการเป็นฉนวน (insurance theory) เนื่องจากไขมันสามารถป้องกันโปรตีนไม่ให้เกิดการเสื่อมสภาพในระหว่างปรุงสุกได้ โดยปกติโปรตีนจะทำหน้าที่เกี่ยวกับการจับกับน้ำในเนื้อ เมื่อเนื้อผ่านการปรุงสุกโปรตีนจะถูกความร้อนทำให้โปรตีนเกิดการเสื่อมสภาพเป็นผลทำให้ความสามารถใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจับกับน้ำลดลง ไขมันจะไปทำหน้าที่เป็นฉนวนความร้อนโดยการชะลอการส่งผ่านความร้อนให้แก่โปรตีน ส่งผลให้เนื้อเกิดการสูญเสียความชื้นลดลงในระหว่างปรุงสุก

4. ทฤษฎีการลดความตึงตัว (strain theory) ทฤษฎีนี้เกี่ยวข้องกับการลดความตึงของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันชั้นใน (perimysium) ที่ห่อหุ้มมัดกล้ามเนื้อ เนื่องจากไขมันแทรกเป็นเซลล์ไขมันที่กระจายตัวสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อเกี่ยวพันชั้นใน ดังนั้นในเนื้อที่มีการสะสมไขมันสูง ไขมันแทรกก็จะไปเบียดพื้นที่ของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ทำให้เนื้อเยื่อเกี่ยวพันลดความตึงตัวลง เนื้อจึงมีความนุ่มมากขึ้น

มาลัย จงเจริญ (2546) ศึกษาความนุ่มของเนื้อโคลูกผสม Charolais ที่มีระดับไขมันแทรกต่างกัน 2 ระดับคือ 3-3.5 และ 4-5 โดยที่ระดับคะแนนไขมันแทรก 1 หมายถึงเนื้อที่มีระดับไขมันแทรกต่ำสุด และ 5 หมายถึงเนื้อที่มีระดับไขมันแทรกสูงที่สุด ทำการวัดระดับความนุ่มของเนื้อด้วยการหาค่าแรงตัดผ่านเนื้อ ซึ่งพบว่าเนื้อที่มีระดับไขมันแทรก 3-3.5 จะมีค่าแรงตัดผ่านเนื้อสูงกว่าเนื้อที่มีระดับไขมันแทรก 4-5 โดยมีค่าแรงตัดผ่านเนื้อเท่ากับ 3.65 และ 2.59 กิโลกรัม ตามลำดับ สามารถสรุปได้ว่าเนื้อโคที่มีระดับไขมันแทรกต่ำ จะมีความเหนียวมากกว่าเนื้อที่มีระดับไขมันแทรกสูง

Tuma *et al.* (1962a) ศึกษาอิทธิพลร่วมของระดับไขมันแทรก และอายุของโคที่มีผลต่อความนุ่มของเนื้อ ทำการศึกษาในโคสายพันธุ์ Hereford เพศเมียอายุ 18 42 และ 90 เดือน จำแนกระดับไขมันแทรกออกเป็น 2 ระดับคือ เนื้อที่มีไขมันแทรกน้อย และเนื้อที่มีไขมันแทรกปานกลาง ทดสอบความนุ่มด้วยวิธีวัดค่าแรงตัดผ่านเนื้อ จากการทดสอบพบว่า (ตารางที่ 2.6) ความนุ่มของเนื้อโคอายุ 18 เดือน ที่ระดับไขมันแทรกต่างกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในขณะที่โคอีก 2 กลุ่มพบว่าเมื่อระดับไขมันแทรกเพิ่มขึ้นระดับความนุ่มของเนื้อก็จะเพิ่มขึ้น (ค่าแรงตัดผ่านเนื้อลดลง) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

**ตารางที่ 2.6** ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (กิโลกรัม) ของเนื้อโคที่มีผลจากอิทธิพลร่วมระหว่างระดับไขมันแทรก และอายุโค

| ระดับไขมันแทรก | อายุโค (เดือน) | | |
|---|---|---|---|
| | 18 | 42 | 90 |
| ไขมันแทรกน้อย | 10.15 | 20.53 | 22.26 |
| ไขมันแทรกปานกลาง | 10.96 | 15.84 | 15.88 |

ที่มา : ดัดแปลงจาก Tuma *et al.* (1962a)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Platter *et al.* (2003) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับไขมันแทรก ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ และความนุ่มของเนื้อโคที่วัดจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส ของเนื้อโคส่วนสันนอก (striploin) โดยจัดกลุ่มเนื้อโคออกเป็น 2 กลุ่มตามระดับไขมันแทรก คือ กลุ่มที่มีไขมันแทรกระดับกลาง และกลุ่มที่มีปริมาณไขมันแทรกเพียงเล็กน้อย จากการศึกษาพบว่าระดับไขมันแทรก ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ และความนุ่มของเนื้อโคที่วัดโดยการทดสอบทางประสาทสัมผัส มีความสัมพันธ์ในทางบวก ($p<0.05$) กล่าวคือ เมื่อปริมาณไขมันแทรกเพิ่มขึ้น ความนุ่มของเนื้อจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วยเช่นกัน

Killinger *et al.* (2004) ศึกษาการยอมรับได้ของผู้บริโภคที่มีต่อระดับไขมันแทรกในเนื้อโคที่แตกต่างกัน จากเนื้อโคที่มีค่าแรงตัดผ่านเนื้อเท่ากัน โดยจำแนกระดับไขมันแทรกในเนื้อออกเป็น 2 กลุ่ม คือ เนื้อที่มีไขมันแทรกระดับสูง และระดับต่ำ ทำการศึกษาด้วยวิธีทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยการชิม (1 = เหนียว และแห้งที่สุด 8 = นุ่ม และฉ่ำน้ำที่สุด) จากการทดสอบพบว่าเนื้อที่มีไขมันแทรกระดับสูงจะมีความนุ่ม (5.4) และความฉ่ำน้ำมากกว่า (5.0) ในเนื้อที่มีไขมันแทรกระดับต่ำ (5.3 และ 4.5 ตามลำดับ) ($p<0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่นิยมเนื้อที่มีไขมันแทรกระดับสูงมากที่สุด เนื่องจากเหตุผลที่ว่าเนื้อประเภทนี้จะให้ความฉ่ำน้ำมากกว่า

Sethakul *et al.* (2008) ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของ % ไขมันที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีในกล้ามเนื้อสันนอก (*longissimus dosi*) ที่เวลา 24 ชั่วโมงภายหลังสัตว์ตาย จากโคลูกผสม Charolais (Charolais x Brahman และ/หรือ โคพื้นเมืองไทย) โคลูกผสม Brahman ที่เลี้ยงด้วยหญ้าและอาหารข้น โคลูกผสม Brahman ที่เลี้ยงด้วยเปลือกสับปะรด และอาหารข้น และโคพื้นเมืองไทย จากการศึกษาพบว่า % ไขมันในกล้ามเนื้อสันนอกของโคแต่ละกลุ่มมีค่าเท่ากับ 8.58 1.83 2.87 และ 0.77 % ตามลำดับ และมีค่าแรงตัดผ่านเนื้อเท่ากับ 5.10 15.53 11.88 และ 15.78 กิโลกรัม ตามลำดับ จากผลการศึกษาทำให้ทราบว่า % ไขมันในกล้ามเนื้อมีความสัมพันธ์กับความนุ่มของเนื้อที่เกิดขึ้น โดยในโคที่มีระดับ % ไขมันสูงเนื้อจะมีความนุ่มสูงตามไปด้วย

**2.4.4 ชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อ** (muscle fiber type)

จากการศึกษาของ Lengerken *et al.* (2002) รายงานว่า ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อในกล้ามเนื้อลายสามารถจำแนกตามคุณสมบัติทางชีวเคมีออกเป็น 3 ชนิด ดังรายละเอียดต่อไปนี้ (ตารางที่ 2.7)

1. Type I (slow twitch หรือ red fiber หรือ slow twitch oxidative muscle) ความสามารถในการหดตัวช้า มีหลอดเลือดฝอย mitochondria และ myoglobin จำนวนมาก ทำให้กล้ามเนื้อมีสีแดง กล้ามเนื้อนี้สามารถขนส่งออกซิเจนได้มากและมี metabolism แบบใช้ออกซิเจน (aerobic metabolism)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Type II หรือ fast twitch muscle แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

2.1. Type IIa (fast twitch oxidative muscle) คล้ายกับกล้ามเนื้อ slow twitch คือมี metabolism แบบใช้ออกซิเจน มี mitochondria และหลอดเลือดฝอยจำนวนมาก ทำให้มีสีแดง ความสามารถในการหดตัวเร็ว

2.2. Type IIb (white fiber หรือ fast twitch glycolytic muscle) เป็นกล้ามเนื้อที่มี metabolism แบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic metabolism)ใช้พลังงานจากกระบวนการ glycolysis มี mitochondria และ myoglobin น้อย ความสามารถในการหดตัวเร็ว

**ตารางที่ 2.7** คุณสมบัติของเส้นใยกล้ามเนื้อแต่ละชนิด

| คุณสมบัติ | ชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อ | | |
|---|---|---|---|
| | **Type I:** **Slow oxidative** | **Type IIa:** **Fast oxidative** | **Type IIb:** **Fast glycolytic** |
| การสร้าง ATP | ใช้ออกซิเจน | ใช้ออกซิเจน | ไม่ใช้ออกซิเจน |
| สีของกล้ามเนื้อ | แดง | ชมพูแดง | ขาว |
| ความเร็วในการหดตัว | ช้า | เร็ว | เร็ว |
| ความทนทานในการทำงาน | สูง | กลาง | ต่ำ |
| ขนาดของเส้นใยกล้ามเนื้อ | เล็ก | ปานกลาง | ใหญ่ |
| ปริมาณ glycogen | ต่ำ | ปานกลาง | สูง |
| ปริมาณ myoglobin | สูง | สูง | น้อย |
| ปริมาณ mitochondria | สูง | ปานกลาง | น้อย |
| ปริมาณเส้นเลือดที่มาเลี้ยง | สูง | สูง | น้อย |

ที่มา : ดัดแปลงจาก Lengerken *et al.* (2002)

Fiedler *et al.* (1999) กล่าวว่าชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อ มีความสัมพันธ์กับความนุ่มของเนื้อเป็นอย่างมาก โดยกล้ามเนื้อที่มีปริมาณของ red fiber ในสัดส่วนที่สูงกว่า white fiber เนื้อนั้นจะมีความเหนียวมากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Geesink *et al.* (2006) พบว่าในโคที่มีเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด red fiber เป็นองค์ประกอบของมัดกล้ามเนื้ออยู่สูง เช่น โคสายเลือดอินเดีย เนื้อจากโคประเภทนี้จะมีความเหนียวมาก เนื่องจากเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด red fiber มีเอ็นไซม์ calpains ในปริมาณที่สูง และในขณะเดียวกันปริมาณของ เอ็นไซม์ calpastatin ซึ่งทำหน้าที่ขัดขวางการทำงานของ calpains จะมีอยู่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่นกัน เป็นผลทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของ calpains และ กระบวนการ proteolysis เกิดได้น้อย ดังนั้นกล้ามเนื้อที่มีเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด red fiber จึงมีความเหนียวมากกว่า กล้ามเนื้อที่มีเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด white fiber เป็นองค์ประกอบ

**2.4.5 อาหารและระบบการเลี้ยง (feed and production system)**

ศรเทพ ธัมวาสร. (2539) กล่าวว่า อาหารเป็นปัจจัยพื้นฐานของการเลี้ยงโคเนื้อ ซึ่งต้องมีการพิจารณาในเรื่องของอาหารที่จะนำมาใช้เลี้ยงโคก่อนดำเนินการสิ่งอื่นใด โดยอาหารจำแนกออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ อาหารข้น และอาหารหยาบ

1. อาหารข้น หรือ concentrate คืออาหารที่มีส่วนของสารเยื่อใยน้อยกว่า 18% ได้แก่ ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ปลายข้าว เมล็ดนุ่น กากถั่วเหลือง ปลาป่น และเลือดป่น เป็นต้น

2. อาหารหยาบ หรือ roughage คืออาหารที่มีส่วนของสารเยื่อใยมากมีสัดส่วนประมาณ 25-35% และมีพลังงานต่ำ ได้แก่ หญ้าสด หญ้าแห้ง ฟางข้าว ฟางหมัก และใบกระถิน เป็นต้น

อาหารหลักของสัตว์เคี้ยวเอื้องคืออาหารหยาบ ส่วนใหญ่แล้วคือพวกหญ้า สำหรับประเทศไทยในปัจจุบัน พบว่าในฤดูแล้งเกิดการขาดแคลนหญ้าสดสำหรับนำมาใช้เลี้ยงโค ซึ่งเป็นปัญหาต่อระบบการผลิตโคอย่างมาก ดังนั้นจึงได้มีการหันมาใช้วัสดุเศษเหลือทางการเกษตรต่างๆทดแทน อาทิเช่น ยอดอ้อย ต้นข้าวโพด ซังข้าวโพด เถาฟักทอง และเปลือกสับปะรด เป็นต้น

ในส่วนของเปลือกสับปะรดเมื่อนำไปวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีพบว่ามีโปรตีนประมาณ 0.69% ไขมัน 0.53% เยื่อใย 2.27% เถ้า 1.01% และคาร์โบไฮเดรต 15.0% และส่วนที่เป็นแกนกลางมีโปรตีนประมาณ 1.62% ไขมัน 1.32% เยื่อใย 7.42% เถ้า 1.97% และคาร์โบไฮเดรท 74.73% ซึ่งถือว่าเป็นแหล่งอาหารที่ให้พลังงานสูงชนิดหนึ่ง และเมื่อนำไปเลี้ยงโคพบว่าโคจะมีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่าในโคที่กินหญ้าเพียงอย่างเดียว (กองอาหารสัตว์. 2549) นอกจากนี้ ดวงสิรินทร์ รักษาราษฎร์ ได้ให้สัมภาษณ์ถึงการศึกษาผลของการขุนโค Brahman ลูกผสมเลือดสูง ด้วยเปลือกสับปะรดหมัก (เอกสารยังไม่ได้เผยแพร่) เมื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีแล้วพบว่ามี โปรตีน 5.89% ไขมัน 2.32% คาร์โบไฮเดรต 19.7% และเถ้า 5.83% โดยในส่วนของคุณภาพซากพบว่ามีน้ำหนักซากเท่ากับ 54 เนื้อแดงรวม 75 ไขมันรวม 6 กระดูกรวม 15% และความหนาไขมันสันหลังเท่ากับ 0.98 เซนติเมตร ในส่วนของคุณภาพเนื้อพบว่าค่าแรงตัดผ่านเนื้อที่ระยะเวลาในการบ่ม 14 วัน มีค่าประมาณ 6 กิโลกรัม และมีปริมาณไขมันแทรกเท่ากับ 2.87%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bruce *et al.* (2004) ศึกษาระบบการเลี้ยงด้วยอาหารข้นและหญ้าเป็นอาหารหลักที่มีผลต่อคุณภาพเนื้อในโคเพศผู้ตอนพันธุ์ Brahman โดยแบ่งโคออกเป็น 2 กลุ่มแรกเลี้ยงด้วยอาหารข้นที่ประกอบไปด้วย ข้าวฟ่าง 49% ข้าวโพด 22% และกากเมล็ดฝ้าย 10% กลุ่มที่ 2 เลี้ยงด้วยหญ้าเป็นหลัก (Buffel grass) ทำการขุนเป็นเวลา 74 วัน ผลการทดลองพบว่าเนื้อโคที่เลี้ยงด้วยอาหารข้นเมื่อนำไปวัดค่าแรงตัดผ่านเนื้อจะมีค่าต่ำกว่า (4.05 กิโลกรัม.) กลุ่มที่กินหญ้าเพียงอย่างเดียว (4.18 กิโลกรัม) นอกจากนี้ยังพบว่าสีของเนื้อในกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารข้น จะมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่กินหญ้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่า L* เท่ากับ 41.5 และ 37.7 ค่า a* เท่ากับ 22.4 และ 20.2 และค่า b* เท่ากับ 12.3 และ 10.5 ตามลำดับ

Grigen Naón *et al.* (2007) ทำการศึกษาความนุ่มของกล้ามเนื้อ *Longissimus* ในโค Red Angus อายุเฉลี่ย 20 เดือน ที่เลี้ยงด้วยอาหารแตกต่างกัน 3 สูตร ขุนเป็นเวลา 92 วัน โดยแบ่งโคออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มแรกเลี้ยงด้วยหญ้าชนิดต่างๆผสมกัน (PO) โดยปล่อยให้โคกินอย่างเต็มที่ กลุ่มที่ 2 เลี้ยงด้วยหญ้าชนิดต่างๆ เหมือนกลุ่มแรก ร่วมกับเมล็ดธัญพืชบดหยาบ (CMS) โดยให้กินเมล็ดธัญพืชบดหยาบนี้ในระดับ 0.85% ของน้ำหนักตัว กลุ่มที่ 3 เลี้ยงด้วยหญ้าชนิดต่างๆ เหมือนกลุ่มแรก ร่วมกับผลพลอยได้จากการเก็บเกี่ยวถั่วเหลือง (MS) โดยให้กินผลพลอยได้จากการเก็บเกี่ยวถั่วเหลือง นี้ในระดับ 0.25% ของน้ำหนักตัว จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าค่าแรงตัดผ่านเนื้อจากโคในกลุ่ม PO CMS และ MS ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 6.9 7.1 และ 7.9 กิโลกรัม ตามลำดับ ในส่วนของสีเนื้อนั้น ค่า L* (40.1 39.1 และ 40.2), a* (22.6 22.5 และ23.7) และ b* (12.7 12.6 และ 13.7) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) เช่นกัน

Kerth *et al.* (2007) ทำการศึกษาความนุ่มของกล้ามเนื้อ *Longissimus* ในโคเพศผู้ตอนลูกผสมสายพันธุ์ Angus ( Angus 50% x English 25% x Continental 25%) ที่เลี้ยงด้วยอาหารแตกต่างกัน 3 สูตร โดยแบ่งโคออกเป็น 3 กลุ่มแรก เลี้ยงด้วย สูตรอาหารที่ประกอบไปด้วย เมล็ดข้าวโพด 85% กากเมล็ดฝ้าย 7.5% และแร่ธาตุต่างๆ 7.5% (GRAIN) กลุ่มที่ 2 เลี้ยงด้วยหญ้าไรย์ ร่วมกับ GRAIN (RG/GRAIN) และกลุ่มที่ 3 เลี้ยงด้วย หญ้าไรย์ เพียงอย่างเดียว (RG) ทำการขุนเป็นระยะเวลา 94 วัน จากการศึกษาพบว่า เนื้อจากโคกลุ่มที่เลี้ยงด้วย GRAIN RG/GRAIN และ RG มีค่าแรงตัดผ่านเนื้อเท่ากับ 32.36, 40.60 และ 44.62 นิวตัน (N) ตามลำดับ และเมื่อนำไปทดสอบความนุ่มด้วยวิธีการทางประสาทสัมผัสแล้วพบว่า เนื้อโคในกลุ่มที่เลี้ยงด้วย GRAIN จะมีความนุ่มมากที่สุด รองลงมาคือ RG/GRAIN และ RG สำหรับสีของเนื้อพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.4.6 ระยะเวลาการบ่มเนื้อ (aging period)**

การบ่มเนื้อเป็นวิธีการปรับปรุงคุณภาพเนื้อในเรื่องของความนุ่มให้เพิ่มขึ้น เนื่องจากการบ่มเนื้อนั้นทำให้เนื้อมีอุณหภูมิ และ pH ที่เหมาะสมกับทำงานของเอนไซม์ calpain สำหรับการย่อยโปรตีนในกล้ามเนื้อของสัตว์ (Koohmaraie. 1992)

Shackelford *et al.* (1997) รายงานว่า ในกล้ามเนื้อโคขุนลูกผสมเลือดอินเดียระดับ 62.5% ที่เลี้ยงด้วยอาหารข้นพลังงานสูง โดยให้กินอย่างเต็มที่ นาน 15 เดือน พบว่าที่ระยะเวลาในการบ่มเนื้อ 1 2 และ 14 วัน มีค่าแรงตัดผ่านเนื้อเท่ากับ 5.2 4.2 และ 4.1 กิโลกรัม

Shanks *et al.* (2002) ทำการทดลองในกล้ามเนื้อ *Longissimus* ทั้งแบบเนื้อสด และเนื้อแช่แข็งจากโคเพศผู้ตอนพันธุ์ Charolais และโคสาวลูกผสมพันธุ์ Angus พบว่าที่ระยะเวลาการบ่ม 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 14 21 และ 35 วันหลังสัตว์ตาย พบว่าค่าแรงตัดผ่านเนื้อในส่วนของเนื้อสดมีค่าเท่ากับ 7.97 6.53 5.85 5.27 4.91 4.76 4.79 4.64 4.08 3.86 และ 3.89 กิโลกรัม ตามลำดับ

สำหรับเนื้อแช่แข็งนั้น ค่าแรงตัดผ่านเนื้อที่แต่ละช่วงการบ่มมีค่าเท่ากับ 6.25 4.60 4.46 4.34 4.54 4.11 3.68 3.30 3.48 3.35 และ 3.10 กิโลกรัม ตามลำดับ

George-Evins *et al.* (2004) พบว่าอิทธิพลจากระยะเวลาการบ่ม และความนุ่มของกล้ามเนื้อสันสะโพก (*Gluteus medius*) จากโคเนื้อพันธุ์ Angus ที่เวลาในการบ่ม 7 14 และ 21 วันหลังสัตว์ตาย มีค่าแรงตัดผ่านเนื้อเท่ากับ 3.96 3.64 และ 3.47 กิโลกรัม ตามลำดับ เห็นได้ว่าระยะเวลาในการบ่มเนื้อที่นานขึ้น จะทำให้เนื้อมีความนุ่มเพิ่มขึ้น

**2.4.7 การกระตุ้นซากด้วยกระแสไฟฟ้า** (electrical stimulation)

การกระตุ้นซากด้วยกระแสไฟฟ้าทันทีหลังเสร็จสิ้นกระบวนการฆ่า จะเป็นการช่วยเร่งการปล่อย $Ca^{2+}$ ออกมาจาก sarcoplasmic reticulum ซึ่งจะมีผลทำให้กล้ามเนื้อหดตัวอย่างรวดเร็ว กระบวนการสร้างและใช้พลังงานหมดลงอย่างรวดเร็ว และเร่งการใช้ ATP, ADP และ phosphocreatine ให้หมดไป ทำให้ค่า pH ลดลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เกิด rigor mortis ได้ในเวลาอันรวดเร็วเช่นกัน นอกจากนี้การกระตุ้นซากด้วยกระแสไฟฟ้ายังสามารถป้องกันการเกิด cold shortening ได้อีกทางหนึ่ง โดยเร่งการเกิด rigor mortis ให้เร็วขึ้น ช่วยลดระยะเวลาในการบ่มซากทำให้เนื้อมีความนุ่มเพิ่มขึ้นภายในเวลา 2 ถึง 3 วัน โดยที่ไม่แตกต่างจากการบ่มซากที่ใช้เวลานาน 2 ถึง 3 สัปดาห์ (Swatland. 1997)

จากการศึกษาของ Strydom *et al.* (2005) ที่ทำการเปรียบเทียบในซากโคที่ถูกกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า กับซากที่ไม่ถูกกระตุ้น ต่อการทำงานของเอ็นไซม์ calpains พบว่าในซากที่ถูกกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า การทำงานของ calpains จะทำงานได้ต่ำกว่าในซากที่ไม่ถูกกระตุ้น ในส่วนของค่าแรงตัดผ่านเนื้อพบว่าในซากที่ถูกกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้าจะมีค่าต่ำกว่า เนื้อมีความนุ่มมากกว่า เนื่องจากมีการฉีกขาดของ myofibril มากกว่าในซากที่ไม่ได้ถูกกระตุ้นด้วยไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ho *et al.* (1997) ได้ศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของการกระตุ้นซากโคด้วยกระแสไฟฟ้า และการเก็บรักษาซากภายหลังสัตว์ตายที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนโครงร่างในกล้ามเนื้อสัตว์ ในซากโคที่ถูกกระตุ้น และไม่ถูกกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า จากโคลูกผสมพันธุ์ Brahman x Simmental ที่เวลาการบ่ม 0 1 3 7 14 และ 28 วันหลังจากสัตว์ตาย พบว่าปริมาณของ troponin-T มีการลดลงในอัตราที่ใกล้เคียงกันทั้งจากซากโคที่ถูกกระตุ้น และไม่ถูกกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า แต่ในส่วนของ troponin-$T_{product}$ พบว่าซากที่ถูกกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้าจะมีปริมาณมากกว่าซากที่ไม่ถูกกระตุ้น โดยสามารถเห็นได้ชัดเจนตั้งแต่วันที่ 7 ไปจนถึงวันที่ 28 หลังจากสัตว์ตาย

Rhee *et al.* (2000). ศึกษาการใช้กระแสไฟฟ้าในการกระตุ้นซากและสภาวะของอุณหภูมิภายในเนื้อหลังจากสัตว์ตายที่มีผลต่อการสลายตัวของโปรตีน troponin-T ในกล้ามเนื้อ *Longissimus dorsi* ของโคพื้นเมืองเกาหลี (*Bos taurus* x *Bos zebu*) โดยใช้อุณหภูมิที่ 2 16 และ 30°C เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมงหลังจากสัตว์ตายและทำการบ่มเนื้อที่อุณหภูมิ 2°C เป็นเวลา 1 2 3 7 และ 14 วันหลังจากสัตว์ตาย พบว่าการใช้กระแสไฟฟ้าในการกระตุ้นซากร่วมกับการเก็บซากที่อุณหภูมิ 30°C หลังจากสัตว์ตายเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมงนั้น troponin-T จะเริ่มพบการสลายตัวอย่างชัดเจนในวันที่ 2 และพบ polypeptides ขนาด 30 kDa ในวันที่ 7 หลังจากสัตว์ตาย ในขณะที่ตัวอย่างที่ไม่ได้รับการกระตุ้นซากด้วยกระแสไฟฟ้าจะพบการสลายตัวของ troponin-T ในวันที่ 7 หลังจากสัตว์ตาย

### 2.4.8 ชนิดของกล้ามเนื้อ

Shackelford *et al.* (1995) ทำการศึกษาความนุ่มของเนื้อโค ในโคสายพันธุ์ Hereford, Angus และ Brahman จากกล้ามเนื้อทั้งหมด 10 ชนิด (ตารางที่ 2.8) ประกอบไปด้วยกล้ามเนื้อสันใน(*Psoas major*) กล้ามเนื้อใบพาย (*Infraspinatus*) กล้ามเนื้อตะพาบ (*Triceps brachii*) กล้ามเนื้อสันนอก (*Longissimus*) กล้ามเนื้อหมอน (*Semitendinosus*) กล้ามเนื้อสันสะโพก (*Gluteus medius*) กล้ามเนื้อสันในเทียม (*Supraspinatus*) กล้ามเนื้อหางจรเข้ (*Biceps femoris*) กล้ามเนื้อพับใน (*Semimembranosus*) และ ส่วนบนของกล้ามเนื้อลูกมะพร้าว (*Quadriceps femoris*) พบว่ากล้ามเนื้อ *Psoas major* และ *Infraspinatus* มีความนุ่มมากกว่ากล้ามเนื้อชนิดอื่น ($p<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.8** ความนุ่มของกล้ามเนื้อแต่ละชนิดที่วัดได้จากคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสและค่าแรงตัดผ่านเนื้อ

| กล้ามเนื้อ | ผลการทดสอบ[a] ทางประสาทสัมผัส | ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (กิโลกรัม) |
|---|---|---|
| *Psoas major* | $7.9^{w}$ | $2.6^{w}$ |
| *Infraspinatus* | $7.6^{w}$ | $2.7^{w}$ |
| *Triceps brachii* | $6.5^{x}$ | $3.9^{x}$ |
| *Longissimus* | $6.5^{x}$ | $4.1^{x}$ |
| *Semitendinosus* | $5.7^{y}$ | $4.1^{x}$ |
| *Gluteus medius* | $5.6^{y}$ | $4.4^{x}$ |
| *Supraspinatus* | $5.6^{y}$ | $4.3^{x}$ |
| *Biceps femoris* | $5.0^{z}$ | $4.3^{x}$ |
| *Semimembranosus* | $5.0^{z}$ | $4.3^{x}$ |
| *Quadriceps femoris* | $4.9^{z}$ | $4.1^{x}$ |

[a] การทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยมีระดับการให้คะแนน 8 ระดับ (1 = เหนียวที่สุด และ 8 = นุ่มที่สุด)

$^{w,x,y,z}$ = ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ที่มา : ดัดแปลงจาก Shackelford *et al.* (1995)

Rhee *et al.* (2004) ที่ได้ทำการศึกษาความนุ่มของเนื้อโค ด้วยการทดสอบทางประสาทสัมผัสและการวัดค่าแรงตัดผ่านเนื้อในโคลูกผสมสายพันธุ์ Charolais x MARC III จากกล้ามเนื้อจำนวนทั้งหมด 11 ชนิด (ตารางที่ 2.9) ประกอบไปด้วยกล้ามเนื้อ *Psoas major, Infraspinatus, Longissimus, Triceps brachii, Rectus femoris, Gluteus medius, Adductor* (ส่วนหนึ่งของกล้ามเนื้อพับใน), *Semimembranosus, Supraspinatus, Semitendinosus* และ *Biceps femoris* จากการศึกษาพบว่ากล้ามเนื้อ *Psoas major* มีความนุ่มมากที่สุด และ รองลงมาคือ กล้ามเนื้อ *Infraspinatus* โดยให้ผลไปในทำนองเดียวกันกับ Shackelford *et al.* (1995) ที่รายงานว่ากล้ามเนื้อ *Psoas major* มีความนุ่มมากที่สุดเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.9** ความนุ่มของกล้ามเนื้อแต่ละชนิดที่วัดได้จากคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส และค่าแรงตัดผ่านเนื้อ

| กล้ามเนื้อ | ผลการทดสอบ[a] ทางประสาทสัมผัส | ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (กิโลกรัม) |
|---|---|---|
| *Psoas major* | $7.4^{f}$ | $2.95^{i}$ |
| *Infraspinatus* | $5.9^{g}$ | $3.27^{h}$ |
| *Longissimus* | $5.7^{h}$ | $3.86^{g}$ |
| *Triceps brachii* | $5.2^{i}$ | $3.87^{g}$ |
| *Rectus femoris* | $4.9^{j}$ | $3.98^{g}$ |
| *Gluteus medius* | $4.7^{k}$ | $3.99^{g}$ |
| *Adductor* | $4.3^{l}$ | $4.29^{f}$ |
| *Semimembranosus* | $4.2^{l}$ | $4.44^{ef}$ |
| *Supraspinatus* | $4.1^{l}$ | $4.64^{de}$ |
| *Semitendinosus* | $4.1^{l}$ | $4.73^{cd}$ |
| *Biceps femoris* | $3.7^{m}$ | $4.95^{c}$ |

[a] การทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยมีระดับการให้คะแนน 8 ระดับ (1 = เหนียวที่สุด และ 8 = นุ่มที่สุด)

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

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

### 2.4.9 การลดอุณหภูมิภายในกล้ามเนื้อหลังสัตว์ตาย (post-mortem decline of muscle temperature)

Kerry *et al.* (2002) กล่าวว่า cold-induced toughening หรือ cold-shortening เป็นปรากฏการณ์ที่กล้ามเนื้อเกิดการหดตัวอย่างรวดเร็วก่อนการเกิด rigor mortis สาเหตุของการเกิดพบเนื่องจากการลดอุณหภูมิซากอย่างรวดเร็วภายหลังเสร็จสิ้นกระบวนการฆ่า การลดลงอย่างรวดเร็วนี้จะไปมีผลทำให้ $Ca^{2+}$ ที่ออกมาจาก sarcoplasmic reticulum ไม่สามารถกลับเข้าที่เดิมได้ ดังนั้นความเข้มข้นของ $Ca^{2+}$ ใน cytosal จะเพิ่มขึ้นทำให้ร่างกายเร่งการใช้พลังงานที่เก็บไว้ในรูป ATP ออกมาจนหมดเพื่อทำให้กล้ามเนื้อเกิดการคลายตัว และเมื่อกล้ามเนื้อใช้พลังงานที่มีอยู่หมดจึงทำให้กล้ามเนื้อไม่สามารถเกิดการคลายตัวได้ เมื่อเส้นใยกล้ามเนื้อเกิดการหดตัวมากกว่าปกติและไม่มีการคลายตัวผลที่ตามมาคือเนื้อนั้นจะมีความเหนียวเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้เพื่อการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

Dransfield. (1994) รายงานว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการเก็บรักษาเนื้อทุกๆ 10°C สามารถปรับปรุงความนุ่มของเนื้อโคได้ถึง 2.5 เท่า แต่หากอุณหภูมิซากเกินกว่า 60°C ความนุ่มของเนื้อจะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากว่า เอ็นไซม์ที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายเนื้อได้ถูกทำลายไปหมดแล้ว

Hannula and Puolanne. (2004) พบว่าอิทธิพลของการบ่มซากในห้องเย็นมีผลต่อการเกิด cold shortening อย่างมาก เพื่อป้องกันการเกิดปรากฏการณ์ดังกล่าว ควรรักษาอุณหภูมิของซากให้อยู่ที่ระดับ 7-10 °C .ให้ได้ก่อนการเกิด rigor mortis นอกจากนี้การเก็บซากโคในห้องเย็นโดยที่ไม่มีการตัดแต่งเอาไขมันหุ้มซากออกนั้น นอกจากมีวัตถุประสงค์ที่จะให้ไขมันทำหน้าที่เป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่จะระบายออกจากซากให้เป็นไปได้ช้าแล้ว ยังเป็นการป้องกันความเย็นจากอุณหภูมิในห้องเย็นไม่ให้แทรกผ่านเข้าเนื้อได้เร็ว ซึ่งเป็นการยืดระยะเวลาของการลดอุณหภูมิซากลง ช่วยป้องกันการเกิด cold shortening ได้อีกทางหนึ่ง

**2.4.10 การใช้สารกลุ่มเร่งเนื้อแดง**

สารเบต้า-อะดรีเนอจิก อะโกนิสต์ (β-Adrenergic agonist) จัดอยู่ในกลุ่มของ ยากล่อมประสาท เช่นเดียวกับ อะดรีนาลิน(adrenaline) แอมเฟตามีน (amphetamine) และ เอปพริดีน (ephedrine) ซึ่งสารทั้งหมดมีโครงสร้างหลักทางเคมีที่เหมือนกัน แต่ต่างกันในส่วนที่เป็นแขนด้านข้าง (Side-Chain) เนื่องจากสารในกลุ่มเบต้า–อะโกนิสต์ (β-agonist) เมื่อผสมลงในอาหารส่งผลให้สัตว์มีประสิทธิภาพการใช้อาหารดีขึ้น โดยมีผลเร่งขบวนการสลายไขมันในร่างกาย ทำให้ไขมันสันหลังบางลง และส่งผลให้การสะสมเนื้อแดงเพิ่มมากขึ้น จึงมีผลทำให้พื้นที่หน้าตัดเนื้อสันเพิ่มขึ้น สัตว์มีลักษณะเนื้อแดงตรงตามความต้องการของ ผู้บริโภค แต่มีข้อเสียคือเนื้อจะมีความเหนียวมากกว่าเนื้อที่ไม่ได้รับสารกลุ่มนี้ (Mersmann. 1998)

Koohmaraie *et al.* (1991) รายงานว่าสาร β-adrenergic agonists มีผลทำให้เนื้อโคนั้นมีความนุ่มลดลง เนื่องจากทำให้การสลายตัวของ myofibrillar protein ลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากทำงานของเอ็นไซม์ m-calpain ลดประสิทธิภาพ เนื่องจากว่า สารตัวนี้จะมีส่วนในการเพิ่มปริมาณของเอ็นไซม์ calpastatin โดยเป็นเอ็นไซม์ที่ไปขัดขวางการทำงานของ calpains ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Geesink *et al.* (1993) ที่พบว่าสารดังกล่าว จะเป็นตัวไปลดการทำงานของ เอ็นไซม์ μ-calpain ในเนื้อสัตว์ อันเป็นผลเนื่องมาจากการเพิ่มปริมาณขึ้นของ calpastatin

Gruber *et al.* (2007) ศึกษาอิทธิพลของการเสริม rectopamine ซึ่งเป็นสารเร่งเนื้อแดงในกลุ่ม β-agonist ที่มีผลต่อคุณภาพซากของโค 3 สายพันธุ์ ประกอบด้วย โคพันธุ์ British โคพันธุ์ Brahman และโคลูกผสม Brahman แบ่งโคออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกเลี้ยงด้วยอาหารที่ไม่ได้เสริม rectopamine (กลุ่มควบคุม) และกลุ่มที่เสริม ractopamine ในระดับ 200มิลลิกรัม ขุนนาน 28 วัน จากการศึกษาพบว่าในโคกลุ่มที่ได้รับ ractopamine จะมีน้ำหนักซากอุ่นมากกว่าโคที่ไม่ได้รับ ractopamine (365 และ 359

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิโลกรัม) โคที่ไม่ได้รับ ractopamine พื้นที่หน้าตัดเนื้อสันนอกมีขนาดใหญ่ขึ้น (84.0 และ 81.7 ตารางเซนติเมตร) ปริมาณไขมันแทรกลดลง (477 และ 487 ปริมาณไขมันแทรกเล็กน้อย = 400 และ ปริมาณไขมันแทรกน้อย = 500)

**2.4.11 การเสริมฮอร์โมน (hormone implant)**

Laflamme and Burgess. (1973) ศึกษาอิทธิพลของการเสริมฮอร์โมน diethylstibestrol (DES) ซึ่งเป็นฮอร์โมนที่ช่วยให้ประสิทธิภาพการใช้อาหารในโคเพิ่มขึ้นประมาณ 15% ที่มีผลต่อความนุ่มของกล้ามเนื้อสันนอก (*longissimus dosi*)ในโคเพศผู้ลูกผสม Charolais (50% Charolais x 25% Hereford x 25% Short horn) ทำการขุนด้วยอาหารพลังงานสูงเป็นเวลานาน 140 วัน โดยแบ่งโคออกเป็น 6 กลุ่ม แต่ละกลุ่มจะได้รับการเสริมฮอร์โมนลงในสูตรอาหารที่ระดับต่างๆกัน ดังนี้

กลุ่มที่ 1 จัดเป็นกลุ่มควบคุม คือไม่มีการเสริมฮอร์โมนในอาหาร

กลุ่มที่ 2 เสริมฮอร์โมน DES ที่ระดับ 36 มิลลิกรัม

กลุ่มที่ 3 เสริมฮอร์โมน DES ที่ระดับ 72 มิลลิกรัม

กลุ่มที่ 4 เสริมฮอร์โมน DES ที่ระดับ 36 มิลลิกรัม และเสริมฮอร์โมน DES ที่ระดับ 36 มิลลิกรัม เพิ่มในช่วง 98 วันสุดท้ายของการขุน

กลุ่มที่ 5 เสริมฮอร์โมน DES ที่ระดับ 72 มิลลิกรัมและเสริมฮอร์โมน DES ที่ระดับ 72 มิลลิกรัม เพิ่มในช่วง 98 วันสุดท้ายของการขุน

กลุ่มที่ 6 เสริมฮอร์โมน DES ที่ระดับ 36 มิลลิกรัม ร่วมกับฮอร์โมน melengestrol acetate ที่ระดับ 50 มิลลิกรัม

จากการศึกษาพบว่าค่าแรงตัดผ่านเนื้อในโคกลุ่มควบคุมจะมีค่าต่ำกว่าเนื้อโคที่ได้รับการเสริมฮอร์โมนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่าแรงตัดผ่านเนื้อของโคแต่ละกลุ่มเท่ากับ 6.35 8.05 6.80 7.14 6.85 และ 6.67 กิโลกรัม ตามลำดับ

Barham *et al.* (2003) ศึกษาอิทธิพลของการเสริมฮอร์โมนในกลุ่ม anabolic ซึ่งเป็นฮอร์โมนที่ช่วยในเรื่องของการเจริญเติบโต และปรับปรุงคุณภาพเนื้อ ที่มีผลต่อความนุ่มของกล้ามเนื้อสันนอก (*longissimus dosi*) ในเนื้อโคเพศผู้ตอน แบ่งโคออกเป็น 3 กลุ่ม ประกอบด้วย

กลุ่มที่ 1 จัดเป็นกลุ่มควบคุม คือไม่มีการเสริมฮอร์โมนในอาหาร

กลุ่มที่ 2 เสริมฮอร์โมน anabolic ที่มีชื่อทางการค้าว่า Synovex-S ของบริษัท Fort Dodge Animal Health

กลุ่มที่ 3 เสริมฮอร์โมน anabolic ที่มีชื่อทางการค้าว่า Revalor-S ของบริษัท Intervet

จากการศึกษาพบว่า ค่าแรงตัดผ่านเนื้อจากโคทั้ง 3 กลุ่ม ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) แต่พบว่าค่าแรงตัดผ่านเนื้อในเนื้อโคกลุ่มควบคุมมีค่าต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 3.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.57 และ 3.51 กิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อทำการวัดระดับความนุ่มของเนื้อโคด้วยวิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่า เนื้อโคในกลุ่มควบคุมจะมีความนุ่มมากที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 6.2 5.9 และ 5.8 ตามลำดับ (1= เหนียวมากที่สุด และ 8= นุ่มมากที่สุด) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Foutz *et al.* (1997) ที่พบว่าเนื้อโคที่ไม่ได้รับการเสริมฮอร์โมนจะมีค่าแรงตัดผ่านเนื้อต่ำกว่ากลุ่มเนื้อโคที่ได้รับการเสริมฮอร์โมน

Smith *et al.* (2007) ศึกษาอิทธิพลของการเสริมฮอร์โมนในกลุ่ม anabolic steroids ที่มีผลต่อคุณภาพซาก และความนุ่มในเนื้อโคสายพันธุ์ Angus แบ่งโคออกเป็น 2 กลุ่ม ประกอบด้วย

กลุ่มที่ 1 จัดเป็นกลุ่มควบคุม คือไม่มีการเสริมฮอร์โมนในอาหาร

กลุ่มที่ 2 เสริมฮอร์โมนกลุ่ม anabolic ที่มีชื่อทางการค้าว่า Synovex-Plus จากบริษัท Fort Dodge Animal Health โดยมีส่วนผสมของ estradiol benzoate 28 มิลลิกรัม และ trenbolone acetate 200มิลลิกรัม

ทำการเสริมฮอร์โมนชนิดนี้ร่วมกับอาหารที่มีระดับโปรตีนรวม 12.5% ขุนเป็นเวลา 108 วัน จากผลการศึกษาพบว่าในเนื้อโคกลุ่มที่มีการเสริมฮอร์โมนจะมีน้ำหนักซากอุ่นมากกว่ากลุ่มควบคุม (375.62 และ 338.84 กิโลกรัม) นอกจากนี้ยังพบว่าขนาดพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันนอกมีขนาดใหญ่กว่า (87.10 และ 70.84 ตารางเซนติเมตร) และปริมาณไขมันแทรกมากกว่า (612 และ 566 ; 500 = ระดับน้อย และ 600 = ระดับปานกลาง) ในขณะที่ค่าแรงตัดผ่านเนื้อที่เวลา 24 ชั่วโมงหลังสัตว์ตายพบว่าในกลุ่มควบคุมมีค่าต่ำกว่าในกลุ่มที่ได้รับฮอร์โมนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) โดยมีค่าเท่ากับ 2.68 และ 3.26 กก/ลบ.ซม. ตามลำดับ

**2.4.12 ซาร์โคเมียร์ (sarcomere)**

จุฑารัตน์ เศรษฐกุล และคณะ (2551) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของซาร์โคเมียร์และความนุ่มของเนื้อสันนอก (*Longissimus dorsi*) ของโคขุนพันธุ์กำแพงแสน (โคพื้นเมือง 25 % x Brahman 25 % x Charolais 50 %) ที่ระยะเวลาการบ่ม 1 5 7 14 และ 20 วัน จากการศึกษาไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงตัดผ่านเนื้อและความยาวของซาร์โคเมียร์ในแต่ละช่วงเวลาการบ่ม แต่พบว่าความยาวของซาร์โคเมียร์ที่ 1 6 และ 24 ชั่วโมงลดลงอย่างต่อเนื่อง ($p < 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 1.95 1.93 และ 1.44 µm ตามลำดับ ส่วนความยาวของซาร์โคเมียร์ที่ระยะเวลาการบ่ม 1 5 7 14 และ 20 วัน ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 1.28 1.29 1.31 1.37 และ 1.35 µm ตามลำดับ ทั้งนี้ที่ระยะเวลาการบ่ม 20 วัน ในขณะที่ค่าแรงตัดผ่านเนื้อในแต่ละช่วงเวลาการบ่ม1 5 7 14 และ 20 วัน ลดลงอย่างต่อเนื่องโดยเท่ากับ 7.39 5.99 4.99 4.45 และ 3.82 กก/ลบ.ซม. ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wheeler and Koohmaraie (1994) ได้ทำการศึกษาในช่วงระหว่างการเกิด rigor mortis และหลังการเกิด rigor mortis ที่มีผลต่อความนุ่มของเนื้อแกะ ที่ระยะเวลาการบ่มที่ 0 3 6 9 12 24 72 และ 336 ชั่วโมง ความยาวของ sarcomere มีค่าเท่ากับ 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 กิโลกรัม ตามลำดับ ($p<0.05$) ซึ่งพบว่าความยาวของ sarcomere จะลดลงในช่วงที่ 0-24 ชั่วโมง ภายหลังสัตว์ตาย เป็นต้นเหตุของความเหนียวในเนื้อและมีความสัมพันธ์กับค่าแรงตัดผ่านเนื้อที่เพิ่มขึ้น และภายหลัง 24 ชั่วโมง ความยาวของ sarcomere มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันค่าแรงตัดผ่านเนื้อลดลง

**2.4.13 เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue)**

Kerry *et al.* (2002) ได้รายงานว่า กล้ามเนื้อที่มีการใช้งานมากหรือมีการเคลื่อนไหวมากจะมี connective tissue สูงกว่ากล้ามเนื้อที่มีการใช้งานน้อย กล้ามเนื้อที่มี connective tissue สูงจะเหนียวกว่ากล้ามเนื้อที่มี connective tissue น้อย อีกอย่างหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับ connective tissue คือ ชนิดของ crosslinking ภายใน connective tissue ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ heat-soluble bonds และ heat insoluble bond ซึ่งเปอร์เซ็นต์ของ insoluble bonds จะเพิ่มขึ้นตามอายุสัตว์ ความเหนียวของเนื้อก็จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากอายุสัตว์ที่เพิ่มขึ้นจะเชื่อมโยงกับการเพิ่มขึ้นของ heat-insoluble collagen bonds ดังนั้น connective tissue จะเกี่ยวข้องกับคุณภาพของเนื้อโดยมีอิทธิพลต่อ ความนุ่มของเนื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อสีของเนื้อ

สีของเนื้อเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการตัดสินใจเลือกซื้อเนื้อของผู้บริโภค สีของเนื้อเกิดจากปริมาณเม็ดสีในเนื้อซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดกลืนและสะท้อนแสง myoglobin เป็นเม็ดสีที่สำคัญที่ประกอบอยู่ในเนื้อ ระดับ myoglobin ภายในกล้ามเนื้อมีผลมาจากชนิดของสัตว์ สายพันธุ์ อายุ อาหาร และการจัดการ ตลอดจนระยะเวลาการบ่มเนื้อ

สัตว์แต่ละชนิดจะมีสีของเนื้อแตกต่างกัน เนื้อโคมีปริมาณ myoglobin สูงกว่าจึงมีค่าความสว่างสูงกว่าเนื้อหมูและสัตว์ปีก อย่างไรก็ตาม สีในสัตว์ชนิดเดียวกัน และในซากจะมีความแปรปรวน กล้ามเนื้อที่มี myoglobin สูงเป็นผลมาจากบทบาททางกายภาพของกล้ามเนื้อ กล้ามเนื้อที่ทำงานมาก เช่นกล้ามเนื้อขา myoglobin จะเพิ่มขึ้นเมื่อสัตว์มีอายุมากขึ้น จะเห็นได้ว่าสัตว์ที่อายุมากจะมีสีของเนื้อเข้มกว่าสัตว์ที่อายุน้อย ดังนั้น จึงสามารถใช้สีของกล้ามเนื้อเป็นตัวบ่งชี้ maturity และแยกประเภทเนื้อสัตว์แต่ละชนิดได้ (Kerry *et al.* 2002)

### 2.5.1 พันธุ์โค

วรินธร มณีรัตน์. (2551) ศึกษาคุณภาพเนื้อจากกล้ามเนื้อสันนอก (longissimus dosi) ของโคลูกผสม 4 กลุ่ม ประกอบไปด้วย กลุ่มที่1 โคลูกผสม Brahman (Brahman 50% x โคพื้นเมืองไทย 50%) กลุ่มที่2 โคลูกผสม Charolais (Charolais 50% x Brahman 25% x โคพื้นเมืองไทย 25%) กลุ่มที่3 โคลูกผสม Holstein Friesian (Holstein Friesian 50% x Brahman 25% x โคพื้นเมืองไทย 25%) และกลุ่มที่4 โคลูกผสม Holstein Friesian (Holstein Friesian 75% x Brahman 12.5% x โคพื้นเมืองไทย 12.5%) จากผลการศึกษาพบว่า ค่า L* และ b* ในโคกลุ่มที่ 2 3 และ 4 ซึ่งเป็นโคกลุ่ม taurus จะมีค่าสูงกว่าในโคกลุ่มที่ 1 ซึ่งเป็นโคกลุ่ม indicus ในขณะที่พบว่าค่า a* ของโคกลุ่มที่ 1 จะมีค่ามากกว่าโคในกลุ่ม taurus สาเหตุเนื่องจากโคในกลุ่ม taurus จะมีปริมาณเม็ดสีต่ำกว่าในโค indicus โดยค่า L* มีค่าเท่ากับ 39.34 40.08 40.51 และ 41.27 ค่า a* มีค่าเท่ากับ 18.76 17.86 17.63 และ 17.49 ค่า b* มีค่าเท่ากับ 5.82 6.16 6.32 และ 6.57 ตามลำดับ

Page *et al.* (2001) ทำการสุ่มสำรวจสีจากเนื้อโคที่พบทั่วไปในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยแยกออกเป็น 3 กลุ่มสายพันธุ์คือ กลุ่มโคพื้นเมืองอเมริกา (*Bos taurus*) กลุ่มโคนม (*Bos taurus*) และโคพันธุ์ American Brahman (*Bos indicus*) จากการสำรวจพบว่าสีของเนื้อโคพื้นเมืองอเมริกา โคนม และโคพันธุ์ American Brahman มีค่า L* เท่ากับ 39.60 37.6 และ 39.80 ค่า a* เท่ากับ 25.10 23.40 และ 25.20 และค่า b* เท่ากับ 11.00 9.70 และ 11.10 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Jaturasitha *et al.* (2004) ศึกษาสีของเนื้อโคลูกผสม Brahman (Brahman x โคพื้นเมืองไทย) (*Bos indicus*) พบว่าค่าสีของเนื้อโคที่เวลา 24 ชั่วโมงมีค่า L* เท่ากับ 37.40 ค่า a* เท่ากับ 22.00 และค่า b* เท่ากับ 6.51 ตามลำดับ ในขณะที่ Shackelford et al. (1992) ทำการศึกษาในเรื่องสีของเนื้อจากโคสายพันธุ์ Charolais (*Bos taurus*) พบว่าค่าสีของเนื้อโคที่เวลา 24 ชั่วโมงมีค่า L* เท่ากับ 41.70 ค่า a* เท่ากับ 17.8 และค่า b* เท่ากับ 12.5 ตามลำดับ จากผลการศึกษาทั้ง 2 งานวิจัยนี้เห็นได้ว่าเนื้อโคลูกผสม Brahman จะมีค่า a* สูงกว่าโค Charolais แต่ในโคลูกผสมBrahman จะมีค่า L* และ b* ต่ำกว่าโค Charolais ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Wulf *et al.* (1997) ที่พบว่าโค *Bos taurus* จะมีค่า L* (37.60) และ b* (11.2) สูงกว่าโค *Bos indicus* (36.3 และ 11.1) แต่จะมีค่า a* (23.00) ต่ำกว่า โค *Bos indicus* (23.7) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

**2.5.2. อายุโค**

Sawyer *et al.* (2004) ศึกษาเรื่องคุณภาพซากของแม่โคคัดทิ้งสายพันธุ์ Hereford และโคลูกผสม Hereford x Angus โดยจำแนกโคออกเป็น 4 กลุ่มตามอายุ ได้แก่ กลุ่ม young คือโคที่มีอายุ 3-4 ปี กลุ่ม low mid คือโคที่มีอายุ 5-6 ปี กลุ่ม high mid คือโคที่มีอายุ 7-8 ปี และกลุ่ม aged คือโคที่มีอายุมากกว่า 9 ปี เมื่อทำการพิจารณาสีของเนื้อตามหลักการให้คะแนนซากของ USDA (1 = สีแดงสดคล้ายผลเชอร์รี่ และ 9 = สีน้ำตาลเข้ม) พบว่าในโคแต่ละกลุ่มมีคะแนนสีของเนื้อเป็น 4.72 4.61 4.89 และ 5.44 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเมื่อโคมีอายุมากขึ้นสีของเนื้อก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

Warren *et al.*, (2008) ศึกษาอิทธิพลของพันธุ์โค เปรียบเทียบระหว่างการเลี้ยงด้วยอาหารข้นและหญ้าหมัก ที่มีผลต่อความคงตัวของเนื้อและกลิ่นรสของเนื้อโค ที่แบ่งการเข้าฆ่าออกเป็น 3 ช่วงอายุ โดยใช้โคเพศผู้สายพันธุ์ Aberdeen Angus (AA) และสายพันธุ์ Holstein-Friesian (HF) และทั้ง 2 สายพันธุ์จะแบ่งตามช่วงอายุที่เข้าฆ่า คือ 14 19 และ 24 เดือน และในแต่ละช่วงอายุจะแบ่งโคเป็น 2 กลุ่มตามชนิดของอาหารคือ อาหารข้นและหญ้าหมัก

จากตารางที่ 2.10 โคที่เข้าฆ่าเมื่ออายุ 14 เดือน ค่า b* ของโคที่เลี้ยงด้วยหญ้าหมักและอาหารข้นมีความแตกต่างกันในทางสถิติคือ ค่า b* ของโคที่เลี้ยงด้วยหญ้าหมักจะสูงกว่าโคที่เลี้ยงด้วยอาหารข้น โคอายุ 19 เดือน พบว่าโคที่เลี้ยงด้วยหญ้าหมักจะมีค่า L* สูงกว่าโคที่เลี้ยงด้วยอาหารข้น ($p\leq0.001$) ในขณะที่ค่า a* ของโคที่เลี้ยงด้วยอาหารข้นจะสูงกว่าโคที่เลี้ยงด้วยหญ้าหมัก กลุ่มอายุ 24 เดือน ไม่พบความแตกต่างของสีเนื้อของทั้ง 2 กลุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.10** ค่า pH และค่าสีของกล้ามเนื้อสันนอกในโคเพศผู้สองสายพันธุ์ที่ได้เลี้ยงด้วยอาหารข้นหรือหญ้าหมักและที่อายุเข้าฆ่าที่ 14 19 และ 24 เดือน

| | 14 เดือน | | | | 19 เดือน | | | | 24 เดือน | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | AA | | HF | | AA | | HF | | AA | | HF | |
| | อาหาร | Silage | Conc. | Silage | Conc. | Silage | Conc. | Silage | Conc. | Silage | Conc. | Silage |
| L* | 43.6 | 43.9 | 42.9 | 42.6 | 42.6 | 45.4 | 42.4 | 43.9 | 43.2 | 43.5 | 42.0 | 42.4 |
| a* | 18.8 | 19.2 | 18.4 | 18.8 | 18.5 | 17.2 | 18.9 | 16.4 | 19.6 | 19.3 | 19.0 | 18.9 |
| b* | 8.3 | 8.7 | 8.1 | 8.4 | 7.5 | $7.3^{ab}$ | $7.9^{b}$ | $6.5^{a}$ | 8.3 | 8.3 | 8.0 | 7.9 |

$^{a,b}$ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ที่มา : ดัดแปลงจาก Warren *et al.* (2008)

### 2.5.3. อาหาร และการจัดการ

Cranwell *et al.* (1996) ทำการศึกษาสีของกล้ามเนื้อ *Longissimus* จากแม่โคคัดทิ้งสายพันธุ์ British อายุเฉลี่ย 5 ปี ที่ระยะเวลาการขุนแตกต่างกันคือ 0 28 และ 56 วัน ทำการขุนด้วยอาหารระดับอาหารข้น 80% โปรตีนรวม 11.9% จากการศึกษาพบว่า ระยะการขุนที่นานขึ้นทำให้ค่า L* a* b* มีค่าเพิ่มสูงขึ้นโดยมีค่า L* เท่ากับ 32.1 33.5 และ 35.0 a* มีค่าเท่ากับ 21.2 21.8 และ 23.7 และb* มีค่าเท่ากับ 8.0 8.4 และ 9.6 ตามลำดับ ค่าแรงตัดผ่านเนื้อลดลงมีค่าเท่ากับ 5.7 4.9 และ 4.9 กก./ลบ.ซม ตามลำดับ จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า การขุนโคด้วยอาหารข้นในระดับสูงเป็นเวลานาน จะมีค่าสีสูงกว่าการขุนในเวลาสั้น เนื่องจากว่าการขุนโคในเวลาที่นานกว่านั้นร่างกายของโคจะมีการสะสมของโปรตีนในกล้ามเนื้อ และมีการสะสมไขมันได้มากกว่าการขุนในเวลาสั้น

Priolo *et al.* (2001) ได้รวบรวมงานวิจัยในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 1977 ถึง 2000 ที่เกี่ยวข้องกับอิทธิพลของการเลี้ยงโคด้วยหญ้าเพียงอย่างเดียว เปรียบเทียบกับการเลี้ยงโคด้วยอาหารข้นอย่างเดียวที่มีผลต่อสีของเนื้อ ซึ่งจากงานวิจัยที่ได้รวบรวมมาสามารถสรุปได้ว่า โคที่กินแต่หญ้าเพียงอย่างเดียวสีของเนื้อจะมีความเข้มมากกว่าโคที่กินอาหารข้น และเมื่อเลี้ยงโคด้วยหญ้าเพียงอย่างเดียวเป็นเวลา 150 วัน ค่า L* จะมีค่าต่ำกว่าโคที่เลี้ยงด้วยอาหารข้นอยู่ประมาณ 5%

Dunne *et al.* (2005) ศึกษาสีของกล้ามเนื้อโคจากโคเพศผู้ตอน อายุ 18 เดือน แบ่งการจัดการออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่เลี้ยงแบบผูกยืนโรง และกลุ่มที่เลี้ยงแบบปล่อยทุ่ง เลี้ยงด้วยอาหารข้น และหญ้าโดยให้กินแบบเต็มที่ ขุนเป็นเวลา 18 สัปดาห์ จากการศึกษาพบว่าค่า L* a* b* จากโคแต่ละกลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ในส่วนของค่า a* พบว่าโคที่เลี้ยงแบบปล่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทุ่งจะมีค่า a* สูงกว่า ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากความสัมพันธ์ของปริมาณ myoglobin ที่พบมากในกล้ามเนื้อมีการเคลื่อนไหวบ่อย

Jaturasitha *et al.* (2008) ศึกษาคุณภาพเนื้อโคพื้นเมืองไทยอายุเข้าฆ่าเฉลี่ย 3 ปี ในกล้ามเนื้อสันนอก (longissimus dosi; LD) กล้ามเนื้อสะโพก (semitendinosus; ST) และกล้ามเนื้อหัวไหล่ (infraspinatus; IS) ที่เวลา 24 ชั่วโมงหลังสัตว์ตาย โดยแบ่งโคออกเป็น 2 กลุ่ม ตามอาหารที่ได้รับ คือ กลุ่มที่เลี้ยงด้วยหญ้ากินนีสีม่วงเพียงอย่างเดียว และกลุ่มที่เลี้ยงด้วยหญ้ากินนีสีม่วงร่วมกับพืชตระกูลถั่ว ใช้เวลาเลี้ยงโคทั้ง 2 กลุ่ม ประมาณ 2 ปี จากผลการศึกษา (ตารางที่ 2.11) พบว่าค่า L* จากกล้ามเนื้อ LD ของโคทั้งสองกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

**ตารางที่ 2.11** ค่าสี (L* a* b*) ของเนื้อโคพื้นเมืองไทยที่เลี้ยงด้วยหญ้ากินนีสีม่วงเพียงอย่างเดียว และกลุ่มที่เลี้ยงด้วยหญ้ากินนีสีม่วงร่วมกับพืชตระกูลถั่ว จากกล้ามเนื้อสันนอก (LD) กล้ามเนื้อสะโพก (ST) และกล้ามเนื้อหัวไหล่ (IS) ที่เวลา 24 ชั่วโมงหลังสัตว์ตาย

| ชนิดของกล้ามเนื้อ | เลี้ยงด้วยหญ้าอย่างเดียว | เลี้ยงด้วยหญ้าร่วมกับพืชตระกูลถั่ว | P-value |
|---|---|---|---|
| ค่า L* (lightness) | | | |
| LD | 36.0 | 37.4 | <0.001 |
| ST | 36.2 | 37.2 | 0.22 |
| IS | 35.5 | 37.1 | 0.025 |
| ค่า a* (redness) | | | |
| LD | 20.0 | 19.6 | 0.40 |
| ST | 20.1 | 19.7 | 0.69 |
| IS | 20.4 | 19.9 | 0.50 |
| ค่า b* (yellowness) | | | |
| LD | 15.6 | 15.7 | 0.84 |
| ST | 16.3 | 16.4 | 0.89 |
| IS | 16.0 | 15.9 | 0.90 |

ที่มา : ดัดแปลงจาก Jaturasitha *et al.* (2008)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.5.4. ระยะเวลาการบ่มเนื้อ**

วิชิต พรหมอินทร์ (2549) ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาการบ่มที่มีผลต่อคุณภาพเนื้อโคขุนลูกผสม Charolais (Charolais 50% x Brahman 25% x โคพื้นเมืองไทย 25%) เลี้ยงภายใต้ระบบการผลิตของสหกรณ์โคเนื้อกำแพงแสน ที่ระยะเวลาการบ่ม 1 5 7 14 และ 20 วันหลังการฆ่า ในกล้ามเนื้อสันนอก (longissimus dorsi (LD)) พบว่ามีค่าแรงตัดผ่านเนื้อเท่ากับ 7.39 5.99 4.99 4.46 และ 3.92 กก./ลบ.ซม. ตามลำดับ ค่า L* มีค่าเท่ากับ 38.08 38.58 38.71 40.56 และ40.02 ค่า a* มีค่าเท่ากับ 16.99 17.01 18.48 17.67 และ 18.80 และค่า b* มีค่าเท่ากับ 5.01 6.45 7.31 7.76 และ 7.94 ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าเมื่อเวลาการบ่มเนื้อเพิ่มขึ้น ค่าสีของเนื้อจะมีค่าสูงตามไปด้วย อันเป็นผลมาจากโปรตีนของกล้ามเนื้อเกิดการเสียสภาพ ทำให้ประสิทธิภาพการจับตัวของน้ำในกล้ามเนื้อลดต่ำลง ดังนั้นน้ำจึงมีการซึมออกมานอกก้อนเนื้อ เมื่อมีแสงมาตกกระทบจึงทำให้มีการสะท้อนกลับของแสงได้มาก ทำให้มองเห็นราวกับว่าเนื้อนั้นมีสีสดขึ้น (Warriss and Brown. 1987)

Boakye and Mittal. (1995) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีเนื้อโคจากกล้ามเนื้อสันนอก (LD) ที่ระยะเวลาการบ่ม 0 2 4 8 12 และ 16 วันหลังสัตว์ตาย พบว่าเมื่อเวลาในการบ่มเพิ่มขึ้นจาก 0 วันเป็น 16 วัน ค่า L* a* b* จะมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน (ตารางที่ 2.12 ) เนื่องมาจากเกิดการดั่งของออกซิเจนตรงบริเวณผิวหน้าของเนื้อ เมื่อออกซิเจนไม่สามารถเข้าไปในก้อนเนื้อได้ส่งผลให้เอ็นไซม์ที่อยู่ลึกลงไปในก้อนเนื้อที่ต้องใช้ออกซิเจนในการทำปฏิกิริยาจะค่อยๆเสื่อมสภาพไป และยิ่งเวลาในการบ่มเนื้อนานขึ้นเอ็นไซม์เหล่านี้จะยิ่งหมดไปเรื่อยๆ ดังนั้นเมื่อก้อนเนื้อมีการสัมผัสกับออกซิเจนอีกครั้ง myoglobin ในเนื้อจึงสามารถเข้าจับกับออกซิเจนได้อย่างเต็มที่จึงเป็นเหตุให้สีของเนื้อมีค่าเพิ่มขึ้น

**ตารางที่ 2.12** การเปลี่ยนแปลงของสีเนื้อโคจากกล้ามเนื้อสันนอก (LD) ที่ระยะเวลาการบ่ม 0 2 4 8 12 และ 16 วันหลังสัตว์ตาย

| เวลาในการบ่ม (วัน) | ค่าสีของเนื้อ | | |
|---|---|---|---|
| | L* | a* | b* |
| 0 | 29.0$^{c}$ | 16.2$^{b}$ | 9.5$^{c}$ |
| 2 | 32.1$^{b}$ | 16.2$^{b}$ | 10.1$^{bc}$ |
| 4 | 32.2$^{b}$ | 15.9$^{b}$ | 9.9$^{bc}$ |
| 8 | 33.1$^{ab}$ | 16.2$^{b}$ | 10.3$^{b}$ |
| 12 | 34.1$^{a}$ | 16.3$^{b}$ | 10.7$^{ab}$ |
| 16 | 34.6$^{a}$ | 17.2$^{c}$ | 11.3$^{a}$ |

$^{a,b,c}$ = ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมภ์เดียวกันจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ที่มา : ดัดแปลงจาก Boakye and Mittal. (1995)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 ชนิดของเนื้อโคภายใต้ระบบการผลิตของประเทศ

เนื้อโคที่มีอยู่ในประเทศไทยในปัจจุบันพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมากในเรื่องของคุณภาพเนื้อ เนื่องมาจากระบบการผลิตที่แตกต่างกัน ซึ่งจุฑารัตน์ เศรษฐกุล และญาณิน โอภาสพัฒนกิจ (2548) ได้จำแนกชนิดเนื้อโคที่มาจากระบบการผลิตของไทยที่แตกต่างกันออกเป็น 3 ชนิด ประกอบไปด้วย

### 2.6.1 เนื้อโคขุนคุณภาพสูง

เนื้อโคขุนภาพสูงได้มาจาก โคลูกผสมที่มีเลือดยุโรปมากกว่า 50 % สายพันธุ์ที่นิยมเลี้ยง ได้แก่ พันธุ์ Charolais, Limousin และ Simmental การขุนโคลูกผสมจะเริ่มต้นที่โคมีน้ำหนักตัวประมาณ 300-350 กิโลกรัม ขุนด้วยอาหารข้นที่มีพลังงานจากคาร์โบไฮเดรตสูง รวมกับการให้หญ้าสดและฟาง เป็นเวลา 8-12 เดือน อาจมีการเสริมกากน้ำตาลหลังจากขุนไปแล้ว 4 เดือน ก่อนสิ้นสุดการขุนที่น้ำหนักโคมีชีวิต 550-650 กิโลกรัม โดยเนื้อโคในกลุ่มนี้จะเน้นความนุ่มและไขมันแทรกในเนื้อ และผ่านขั้นตอนการบ่มเนื้อในห้องเย็น 0-4 °C เป็นเวลาอย่างน้อย 7-14 วัน ก่อนการจำหน่าย

กลุ่มการผลิตเนื้อโคประเภทนี้ มีศักยภาพในการผลิตคุณภาพเนื้อไม่ด้อยกว่าเนื้อโคขุนนำเข้าจากต่างประเทศ แต่มีส่วนแบ่งในตลาดไม่ถึง 1 เปอร์เซ็นต์ และเป็นตลาดระดับสูง ได้แก่ โรงแรม ภัตตาคาร ร้านสเต็กมีระดับ ซุปเปอร์มาเกต โมเดิร์นเทรดระดับ 5 ดาว และห้างสรรพสินค้าชั้นนำ เป็นต้น

เนื้อโคขุนคุณภาพสูงเลือดยุโรปที่เป็นที่รู้จักกันดี ได้แก่ เนื้อโคขุนโพนยางคำ หรือเนื้อโค Thai-French ที่มาจากโคของสมาชิกสหกรณ์การเลี้ยงปศุสัตว์ กรป.กลาง โพนยางคำจำกัด จังหวัดสกลนคร ซึ่งเป็นโคขุนที่เน้นให้มีไขมันแทรกในปริมาณสูง เลี้ยงด้วยอาหารข้นที่มีระดับพลังงานสูง และหญ้าสดหรือฟางข้าว เป็นเวลา 12-18 เดือน มีการเสริมกากน้ำตาลหลังจากขุนไปแล้ว 4 เดือน น้ำหนักมีชีวิตประมาณ 600-700 กิโลกรัม ซึ่งมาลัย จงเจริญ (2546) ได้ทำการศึกษาคุณภาพซากของโคขุนโพนยางคำที่เลี้ยงภายใต้ระบบการผลิตของสหกรณ์การเลี้ยงปศุสัตว์ กรป. กลาง โพนยางคำ ที่น้ำหนักมีชีวิต 600 กิโลกรัม ในส่วนของคุณภาพซากพบว่ามีน้ำหนักซากเท่ากับ 54.72% ความหนาไขมันสันหลังประมาณ 1.2 เซนติเมตร ในส่วนของคุณภาพเนื้อพบว่าเนื้อโคโพนยางคำมีค่าแรงตัดผ่านเนื้อประมาณ 3 กิโลกรัม และมีปริมาณไขมันแทรกเท่ากับ 11.22% นอกจากนี้ Opatpatanakit *et al.* (2008) ได้รายงานว่าคุณภาพซากของโคขุนโพนยางคำที่มีน้ำเข้าฆ่าประมาณ 620 กิโลกรัม พบว่ามีน้ำหนักซากเท่ากับ 58.2 เนื้อแดงรวมเท่ากับ 68 ไขมันรวม 13 และเศษเนื้อแดง 3.4%

เนื้อโคขุน KU-Beef ของสหกรณ์โคเนื้อกำแพงแสน ซึ่งเป็นเนื้อที่มีไขมันแทรกพอสมควรแต่ไม่เน้นไขมันแทรกเท่าเนื้อโคขุนโพนยางคำ ใช้ระยะเวลาในการขุน 8-10 เดือน เน้นที่ความนุ่มของโคขุนอายุน้อยกว่า (ประมาณ 2 ปีครึ่ง) น้ำหนักมีชีวิตอยู่ที่ 500-600 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โคเนื้อลูกผสมเลือดยุโรปที่นิยมนำมาทำการขุนในปัจจุบันนี้ส่วนใหญ่มักเป็นโคสายพันธุ์ Charolais Simmental และโคกำแพงแสน ในส่วนของโคพันธุ์ Charolais นั้นเป็นโคที่มีการเจริญเติบโตเร็ว สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดีพอสมควร ซากมีขนาดใหญ่ เนื้อนุ่ม เนื้อสันนอกมีไขมันแทรกเป็นที่ต้องการของตลาด มีถิ่นกำเนิดอยู่ในเมือง Charolais ตอนกลางของประเทศฝรั่งเศส นำเข้าประเทศไทยครั้งแรกในปี พ.ศ. 2515 มีสีขาวครีมตลอดทั้งลำตัว รูปร่างเป็นทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขาสั้น ลำตัวยาว และลึก เป็นโคที่มีขนาดใหญ่มาก แม่โคให้นมดีเลี้ยงลูกเก่ง เพศผู้โตเต็มวัยมีน้ำหนักประมาณ 1,000 กิโลกรัม เพศเมียมีน้ำหนักประมาณ 700-800 กิโลกรัม (ปรารถนา พฤกษะศรี. 2548)

ในขณะที่โคพันธุ์ Simmental เป็นโคที่เติบโตเร็ว ซากมีขนาดใหญ่ เนื้อนุ่ม เนื้อสันนอกมีไขมันแทรกสูง เป็นที่ต้องการของตลาดเนื้อโคคุณภาพสูง มีถิ่นกำเนิดอยู่แถวหุบเขา Simmental ในประเทศสวิสเซอร์แลนด์ ลำตัวมีสีแดงอ่อนหรือสีครีม ใบหน้า ท้อง และขามีสีขาว เป็นโคขนาดใหญ่ โครงร่างสี่เหลี่ยม ลำตัวยาวลึก บั้นท้ายใหญ่ เพศผู้โตเต็มวัยมีน้ำหนักประมาณ 1,000-1,300 กิโลกรัม เพศเมียมีน้ำหนักประมาณ 650-800 กิโลกรัม (ศรเทพ ธัมวาสร. 2539)

สำหรับโคเนื้อพันธุ์ กำแพงแสนนั้น คือโคเนื้อที่มีเลือด Charolais 50% x Brahman 25% x Thai Native 25% มีสีขาวครีมเหลืองทั้งตัว เป็นโคเนื้อพันธุ์แรกที่มีการปรับปรุงพันธุ์ขึ้นในประเทศไทย กำเนิดขึ้นที่อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม จึงให้ชื่อว่า " พันธุ์กำแพงแสน " เพศผู้โตเต็มที่มีน้ำหนักประมาณ 800-1,000 กิโลกรัม เพศเมียมีน้ำหนักประมาณ 500-600 กิโลกรัม ลำตัวยาวกว้าง และลึก สันหลังกว้างมีเนื้อมากอย่างสม่ำเสมอ เนื่องจากเป็นโคที่ปรับปรุงพันธุ์ได้ในประเทศไทย จึงไม่ค่อยมีปัญหาเกี่ยวกับสภาพภูมิอากาศ (สมาคมโคเนื้อพันธุ์กำแพงแสน. 2544) ได้มีรายงานการศึกษาคุณภาพซาก และคุณภาพเนื้อของโคขุนกำแพงแสนที่เลี้ยงภายใต้ระบบการผลิตของสหกรณ์โคเนื้อกำแพงแสน โดย วิชิต พรหมอินทร์ (2549) พบว่าเนื้อโคขุนกำแพงแสนที่มีน้ำหนักเข้าฆ่าเท่าเท่ากับ 522 กิโลกรัม มีน้ำหนักซากเท่ากับ 57.87 ปริมาณเนื้อแดง 77.24 ไขมัน 7.92 และปริมาณกระดูก 13.06% ความหนาไขมันสันหลังประมาณ 0.7 เซนติเมตร ในส่วนของคุณภาพเนื้อพบว่ามีปริมาณไขมันแทรกเท่ากับ 4.62% และค่าแรงตัดผ่านเนื้อที่ระยะเวลาในการบ่ม 20 วันเท่ากับ 4 กิโลกรัม

**2.6.2 เนื้อโคขุนคุณภาพปานกลาง**

เป็นเนื้อที่มีความนุ่มปานกลางเป็นเนื้อที่ไม่มีไขมันแทรก ส่วนใหญ่จะเป็นการขุนโคลูกผสมพันธุ์ Brahman เลือดสูง โดยเริ่มที่น้ำหนัก 300 กิโลกรัม ระยะเวลาขุน 4–5 เดือน จนได้น้ำหนักส่งเข้าโรงฆ่า 450-500 กิโลกรัม ถูกนำมาขุนเลี้ยงด้วยอาหารข้นและอาหารหยาบที่เป็นผลพลอยได้จากการปลูกพืช เช่น ยอดอ้อย ต้นถั่วเหลือง ต้นถั่วลิสง ต้นข้าวโพด เป็นต้น และผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการเกษตร ซึ่งส่วนใหญ่ ได้แก่ เปลือกและเหง้าสับปะรด ที่อยู่ในจังหวัด ประจวบคีรีขันธ์ เพชรบุรี กาญจนบุรี นครปฐม ราชบุรี ชลบุรี ระยอง เป็นต้น ปัจจุบันเริ่มใช้โคลูกผสมพันธุ์ Brahman อายุน้อยเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขุนเพิ่มขึ้น ขุนนาน 6-8 เดือน เนื้อโคขุนกลุ่มนี้อาจจะผ่านขั้นตอนการบ่มหรือไม่บ่ม ขึ้นอยู่กับตลาดของเนื้อโค ผู้บริโภคในกลุ่มนี้ส่วนมากจะซื้อเนื้อไปประกอบอาหารแบบไทย จนถึงแบบตะวันตก ขึ้นอยู่กับการตัดแต่งเป็นชิ้นส่วนย่อย

สายพันธุ์โคที่นิยมนำมาทำการขุนส่วนใหญ่มักเป็นโคเนื้อลูกผสมพันธุ์ American Brahman เนื่องจากโคพันธุ์นี้สามารถทนต่ออากาศประเทศไทยที่มีความร้อน และความชื้นสูงได้ดี ทนต่อแมลงเกาะกินเลือด ให้ลูกสม่ำเสมอแม้มีอากาศร้อน ได้มีการนำเข้ามาเลี้ยงในประเทศไทยเมื่อปี พ.ศ. 2497 โดยมีจุดประสงค์เพื่อนำมาทำการปรับปรุงโคเนื้อพันธุ์พื้นเมืองของไทยให้มีขนาดใหญ่ และมีอัตราการเจริญเติบโตที่ดีขึ้น ปัจจุบันเกษตรกรไทยนิยมเลี้ยงทั้งแบบพันธุ์แท้ และใช้ผสมกับโคพื้นเมืองของไทยเพื่อปรับปรุงโคพื้นเมืองให้มีลักษณะดีขึ้น (สุวิทย์ เทียรทอง. 2530) เป็นโคที่มีถิ่นกำเนิดอยู่ 2 ประเทศในโลก คือที่สหรัฐอเมริกา และออสเตรเลีย ลักษณะโดยทั่วไปมีขนสีขาวทั้งลำตัว มีโหนกใหญ่ ลำตัวลึก หลังค่อนข้างยาว เพศผู้โตเต็มวัยมีน้ำหนักเฉลี่ย 700-1000 กิโลกรัม เพศเมียมีน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ที่ 450-590 กิโลกรัม (ศรเทพ ธัมวาสร. 2539) ทั้งนี้ ธนนันท์ ศุภกิจจานนท์ (2547) รายงานว่า โคขุน Brahman เลือดสูง น้ำหนักมีชีวิต 430 กิโลกรัม ที่เลี้ยงด้วยหญ้าเป็นอาหารหลักร่วมกับการให้อาหารข้นที่มีส่วนประกอบทางเคมีดังนี้ โปรตีน 13.3 ไขมัน 8.29 เยื่อใย 11.22 เถ้า 9.10% โดยขุนเป็นระยะเวลา 165 วัน พบว่าซากมีความหนาไขมันสันหลังเท่ากับ 0.64 เซนติเมตร และมีปริมาณไขมันแทรกในเนื้อประมาณ 1.66% ในส่วนของคุณภาพซากพบว่ามีน้ำหนักซากเท่ากับ 53.8 เนื้อแดงรวม 74.1 ไขมันรวม 5.5 กระดูกรวม 15.8% ความหนาไขมันสันหลังเท่ากับ 0.64 เซนติเมตร ในส่วนของคุณภาพเนื้อพบว่ามีค่าแรงตัดผ่านเนื้อที่ระยะเวลาในการบ่ม 20 วันเท่ากับ 5 กิโลกรัม

**2.6.3 เนื้อโคที่ไม่กำหนดคุณภาพ** ได้มาจาก

**2.6.3.1 โคมัน**

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.6.3.2 โคแก่**

หมายถึงเนื้อที่ได้มาจากโคเนื้ออายุมาก โคคัดทิ้ง โคนำเข้าจากชายแดน โคที่ผ่ายผอม เนื้อโคจะเหนียวมาก ไม่มีมัน มีพังผืดมาก เนื้อมีกลิ่นแรง เนื้อโคกลุ่มนี้ส่วนใหญ่ถูกส่งเข้าโรงงานทำลูกชิ้น อาจจะมีจำหน่ายอยู่บ้างตามตลาดสดในชนบท ตลาดนัดเคลื่อนที่

**2.6.3.3 โคพื้นเมือง**

ถูกเลี้ยงแบบปล่อยให้หากินในทุ่งหญ้าตามธรรมชาติ ซึ่งเกษตรกรรายย่อยจะเลี้ยงปล่อยตามพื้นที่สาธารณะ ท้องนา พื้นที่ข้างถนน ที่รกร้าง ป่าชายเขา รวมทั้งบนภูเขาด้วย โดยพื้นที่ดังกล่าวมีหญ้าและไม้พุ่มตามธรรมชาติ ลักษณะการเลี้ยงแบบไล่ต้อนไปตามแหล่งอาหารธรรมชาติ โดยไม่มีการเสริมอาหารข้น คุณภาพของเนื้อโคพื้นเมืองนั้นไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับอายุโค ความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งอาหารหยาบที่มีอยู่ตามธรรมชาติ เนื้อโคพื้นเมืองส่วนใหญ่มีจำหน่ายตามตลาดสดต่างจังหวัด ร้านขายเนื้อริมถนนหลวง (ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ) และตลาดนัดเคลื่อนที่ ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะไม่นิยมบ่มเนื้อก่อนออกจำหน่าย

โดยทั่วไปเนื้อโคพื้นเมืองจะค่อนข้างเหนียว มีหน้าตัดเนื้อสันนอกเล็ก ไขมันแทรก และไขมันสันหลังน้อยมาก จากรายงานของ Opatpatanakit *et al.* (2008) ได้ทำการศึกษาในโคพื้นเมืองไทยที่เลี้ยงด้วยหญ้าเพียงอย่างเดียวที่น้ำหนักเข้าฆ่าเฉลี่ย 198 กิโลกรัม พบว่ามีน้ำหนักซากเท่ากับ 50.7 เนื้อแดงรวม 72.6 ไขมันรวม 2.9 กระดูกรวม 20% ความหนาของไขมันสันหลังน้อยมาก หรือแทบไม่มีเลย ในส่วนของคุณภาพเนื้อพบว่าค่าแรงตัดผ่านเนื้อที่ระยะเวลาในการบ่ม 14 วัน มีค่าประมาณ 10 กิโลกรัม และมี ปริมาณไขมันแทรกเท่ากับ 0.77%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 วิธีการตรวจวัดความนุ่มในเนื้อ

### 2.7.1 การวัดค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (Warner Bratzler Shear Force)

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

### 2.7.2 การวัดความยาวซาร์โคเมียร์ (sarcomere length)

" sarcomere " คือหน่วยวัดที่เล็กที่สุดของกล้ามเนื้อ (muscle unit) บริเวณตรงกลางของ I band จะมีเส้นทึบที่เรียกว่า z-line ระยะห่างระหว่าง z-line 2 อัน ที่อยู่ติดกันเรียกว่า 1 sarcomere ในสภาวะปกติ sarcomere จะมีความยาวประมาณ 2.5 ไมโครเมตร ความยาวของ sarcomere มีความสัมพันธ์กับความนุ่มของเนื้อ โดยพบว่าถ้าเนื้ออยู่ในสภาวะคลายตัวความยาวของ sarcomere จะมากกว่าในเนื้อที่หดตัว และเนื้อจะมีความนุ่มมากกว่า (Vandendriessche *et al.* 1984)

### 2.7.3 การวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อ (muscle fiber)

เป็นตัวบ่งชี้ความนุ่มของเนื้อวิธีหนึ่ง โดยพบว่าเนื้อที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อขนาดเล็กจะมีความนุ่มมากกว่าเนื้อที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดใหญ่ (Tuma *et al.* 1962b)

### 2.7.4 การหาค่าดัชนีการแตกตัวของ myofibrillar (myofibrillar fragmentation index: MFI)

เป็นการวัดความนุ่มของเนื้อ จากค่าดูดกลืนแสงของเส้นใยของกล้ามเนื้อที่คงเหลือจากการย่อยสลายโดยปฏิกิริยา proteolysis โดยวัดด้วยความยาวคลื่นแสงที่ 540 นาโนเมตร แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณในสมการ

" MFI = 200 x ค่าการดูดกลืนแสงของสารแขวนลอยไมโอไฟบริล "

ค่าที่ได้จากการคำนวณจะถูกนำมาเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ ดังนี้ (Olson *et al.* 1976)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.7.5 การวัดความสามารถในการทำงานของเอ็นไซม์ calpains ในเนื้อสด (calpains activity)**

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

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

เป็นวิธีการศึกษาโดยอาศัยหลักการ ทำให้โปรตีนทุกชนิดมีประจุเป็นลบด้วยสารซักฟอก (detergent) ซึ่งคือ sodium dodecyle sulphate (SDS) ที่มีประจุลบและทำให้โปรตีนเกิดการสูญเสียสภาพ เกิดการแยกโปรตีนออกเป็นหน่วยย่อย แล้วแยกโปรตีนแต่ละชนิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกันในสนามไฟฟ้า ทำให้สามารถทราบน้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนนั้นๆ ได้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับโปรตีนมาตรฐาน (Ngapo and Alexander. 1999)

**2.7.7 การวัดระดับความนุ่มของเนื้อด้วยประสาทสัมผัสของคนจากการชิม (sensory test)**

การวัดระดับความนุ่มของเนื้อด้วยประสาทสัมผัส เป็นการอาศัยความพึงพอใจของผู้บริโภคมาเป็นตัวตัดสิน ซึ่งความนุ่มของเนื้อจะเกี่ยวข้องกับความพึงพอใจในขณะเคี้ยว 3 ระยะอันได้แก่ ระยะแรกคือ ความง่ายต่อการกัดชิ้นเนื้อ ระยะที่สองคือ ความง่ายต่อการเคี้ยว หรือบดให้เนื้อแหลก และระยะที่สามคือ จำนวนสิ่งที่เหลืออยู่ภายหลังจากการบดเคี้ยวอย่างละเอียด (Wheeler *et al.* 1998)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3
# วิธีดำเนินการวิจัย

## 3.1 สัตว์ทดลอง

การศึกษาครั้งนี้ใช้โค 5 ประเภท (ตารางที่ 3.1) ประกอบไปด้วย

1. โคเนื้อลูกผสมเลือดยุโรปภายใต้ระบบการผลิตของสหกรณ์โคเนื้อกำแพงแสน (KU) ที่มีเลือดสายพันธุ์ Charolais 50% x Brahman 25% x พันธุ์พื้นเมืองไทย 25% อายุเฉลี่ย 2½ ปี น้ำหนักมีชีวิตประมาณ 500-600 กิโลกรัม (ภาพที่ 3.1) ที่เลี้ยงโดยสมาชิก และขุนด้วยอาหารผสมเสร็จหรือที่เรียกกันว่า ที เอ็ม อาร์ (total mixed ration: TMR) และเลี้ยงด้วยหญ้าเป็นอาหารหยาบ เป็นเวลา 8-10 เดือน จำนวน 10 ตัว เข้าฆ่าที่โรงฆ่าสัตว์ศูนย์วิจัยและพัฒนาผลิตผลจากสัตว์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

**ภาพที่ 3.1** โคเนื้อลูกผสมพันธุ์ Charolais 50% x Brahman 25% x พันธุ์พื้นเมืองไทย 25% ภายใต้ระบบการผลิตของสหกรณ์โคเนื้อกำแพงแสน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. โคเนื้อลูกผสมเลือดยุโรปพันธุ์ Charolais 50 % ขึ้นไป กับโคพันธุ์ Brahman และหรือโค พันธุ์พื้นเมืองไทย (TF) อายุเฉลี่ย 3½ ปี น้ำหนักมีชีวิตประมาณ 600-700 กิโลกรัม (ภาพที่ 3.2) เลี้ยงด้วยอาหารข้นและหญ้าสดหรือฟางข้าว เป็นเวลา 12-18 เดือน มีการเสริมกากน้ำตาลหลังจากขุนไปแล้ว 4 เดือน ภายใต้ระบบการผลิตของสหกรณ์การเลี้ยงปศุสัตว์ กรป.กลาง โพนยางคำจำกัด จังหวัดสกลนคร จำนวน 5 ตัว เข้าฆ่าที่โรงฆ่าสัตว์ของสหกรณ์การเลี้ยงปศุสัตว์ กรป.กลาง โพนยางคำจำกัด จังหวัดสกลนคร

**ภาพที่ 3.2** โคเนื้อลูกผสมพันธุ์ Charolais 50% ขึ้นไป ภายใต้ระบบการผลิตของสหกรณ์การเลี้ยงปศุสัตว์ กรป.กลาง โพนยางคำจำกัด จังหวัดสกลนคร

3. โคเนื้อลูกผสมพันธุ์ Brahman เลือดสูง ระหว่าง โคพันธุ์ Brahman กับ พันธุ์พื้นเมืองไทย(BG) อายุเฉลี่ย 3 ปี น้ำหนักมีชีวิตประมาณ 450-500 กิโลกรัม (ภาพที่ 3.3) ที่ขุนด้วยอาหาร TMR และเลี้ยงด้วยหญ้าสดหรือฟางข้าว เป็นเวลา 3 เดือน ภายใต้ระบบการเลี้ยงของฟาร์มบริษัทประกอบบีฟโปรดักส์ จำนวน 10 ตัว เข้าฆ่าที่โรงฆ่าสัตว์ประกอบบีฟโปรดักส์ จังหวัดราชบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาพที่ 3.3** โคเนื้อลูกผสมพันธุ์ Brahman เลือดสูง เลี้ยงด้วยอาหาร TMR เป็นอาหารหลัก

4. โคเนื้อลูกผสมพันธุ์ Brahman เลือดสูง ระหว่าง โคพันธุ์ Brahman กับ พันธุ์พื้นเมืองไทย(BP) อายุเฉลี่ย 3 ปี น้ำหนักมีชีวิตประมาณ 480-600 กิโลกรัม (ภาพที่ 3.4) เลี้ยงด้วยอาหารข้น และเปลือกสับปะรดเป็นอาหารหยาบเป็นเวลา 6 เดือน ภายใต้ระบบการผลิตของ สุรสิงห์ ฟาร์ม จังหวัดชลบุรี จำนวน 10 ตัว เข้าฆ่าที่โรงฆ่าสัตว์บริษัทรักษ์เศรษฐ์ จังหวัดชลบุรี

**ภาพที่ 3.4** โคเนื้อลูกผสมพันธุ์ Brahman เลือดสูง เลี้ยงด้วยเปลือกสับปะรดเป็นอาหารหยาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. โคพันธุ์พื้นเมืองไทย ( Native Thai cattle) อายุเฉลี่ย 2 ปี น้ำหนักมีชีวิตประมาณ 180-250 กิโลกรัม (ภาพที่ 3.5) ที่เลี้ยงปล่อยแทะเล็มหญ้าตามธรรมชาติในเขตจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ (TN) จำนวน 10 ตัว เข้าฆ่าที่โรงฆ่าสัตว์บริษัทประกอบบีฟโปรดักส์ จังหวัดราชบุรี

**ภาพที่ 3.5** โคพันธุ์พื้นเมืองไทย เลี้ยงภายใต้ระบบปล่อยเล็มหญ้าตามธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 3.1** สัตว์ทดลอง

| ประเภทโค | สายพันธุ์โค | ระบบการเลี้ยง | อาหาร | ระยะเวลาการขุน (เดือน) | อายุ (ปี) | น้ำหนักมีชีวิต (กิโลกรัม) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| KU | โคเนื้อลูกผสมCharolais 50% x Brahman 25% x พื้นเมืองไทย 25% | ภายใต้การผลิตของสหกรณ์โคเนื้อกำแพงแสน | อาหาร TMR และหญ้าสด | 8-10 | 2½ | 500-600 |
| TF | โคเนื้อลูกผสมเลือดCharolais ไม่น้อยกว่า50% x Brahman และ/หรือ โคพื้นเมืองไทย | ภายใต้การผลิตของสหกรณ์การเลี้ยงปศุสัตว์ กรป.กลาง โพนยางคำ | อาหารข้น ร่วมกับหญ้าสดหรือฟางข้าว และเสริมกากน้ำตาลหลังจากขุนไปแล้ว 4 เดือน | 12-18 | 3½ | 600-700 |
| BG | โคเนื้อลูกผสม Brahman เลือดสูง | ภายใต้การผลิตของบริษัทประกอบบีฟโปรดักซ์ | อาหาร TMR ร่วมกับหญ้าสดหรือฟางข้าว | 3 | 3 | 450-500 |
| BP | โคเนื้อลูกผสม Brahman เลือดสูง | ภายใต้การผลิตของสุรสิงห์ฟาร์ม | อาหารข้น ร่วมกับเปลือก และเหง้าสับปะรดหมัก | 6 | 3 | 480-600 |
| TN | โคพันธุ์พื้นเมืองไทย | เลี้ยงแบบปล่อยแทะเล็มหญ้าตามธรรมชาติ | หญ้าธรรมชาติ | 24 | 2 | 180-250 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

## 3.2 อุปกรณ์ และสารเคมี

### 3.2.1 การศึกษาอิทธิพลของระบบการเลี้ยงโค และระยะเวลาการบ่มต่อคุณภาพเนื้อ

#### 3.2.1.1 อุปกรณ์

1. เครื่องบรรจุสุญญากาศ (vacum packaging machine) บริษัท Vama
2. ถุงสุญญากาศชนิด polyvinyl chloride
3. อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath) บริษัท Memmert
4. เครื่องมือวัดอุณหภูมิใจกลางเนื้อแบบอิเลคโทรนิค รุ่นab 321870 บริษัท Rexor industri
5. เครื่องมือวัดค่าแรงตัดผ่านเนื้อ รุ่น 1011 Instron ที่ติดอุปกรณ์วัดค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (Warner Bratzler Shear Force)
6. เครื่องมือวัดค่าความเป็นกรด-ด่างในเนื้อ (pH meter) บริษัท Toledo
7. เครื่องมือวัดสีเนื้อ รุ่น Chomameter CR-300 บริษัท Minolta

### 3.2.2 ศึกษาอิทธิพลของระบบการผลิตโคที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของโปรตีน troponin-T ในเนื้อโคที่แต่ละช่วงเวลาการบ่ม ด้วยเทคนิค SDS – PAGE

#### 3.2.2.1 อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล ขนาด 220 กรัม รุ่น CP2243 บริษัท Sartorius
2. เครื่องบดละเอียด รุ่น minipimer MR 430 HC บริษัท Braun
3. เครื่อง homogenizer บริษัท Ultra tarrax
4. เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge) รุ่น Universal 32R บริษัท Hettich
5. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง รุ่น ultrospec 1100 pro UV/visible spectrophotometer บริษัท Amersham phamasia biotechnique
6. เครื่องสำหรับการแยกโปรตีนแบบ vertical slab gels ขนาด 18 ซม. x 16 ซม.x 0.15 ซม. รุ่น SE600 บริษัท Hoefer
7. เครื่องถ่ายรูปเจล รุ่น gene genius bio imagine system บริษัท Syngeme
8. เครื่องเขย่าสาร รุ่น incubated shaker KBLee 1001 บริษัท Daiki
9. micropipet ขนาด 1000 200 และ 20 ไมโครลิตร บริษัท Gilson®
10. micro tube บริษัท Eppendorf
11. กระดาษพาราฟิล์ม บริษัท Parafilm®
12. ห้องแช่เย็นควบคุมอุณหภูมิที่ 2-4 ºC
13. ตู้แช่แข็งควบคุมอุณหภูมิที่ -20 ºC
14. ตู้แช่แข็งควบคุมอุณหภูมิที่ -80 ºC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3.2.2.2 สารเคมี**

1. น้ำกลั่น (distilled water)
2. โปรตีนมาตรฐาน (protein marker) รุ่น SeeBlue® Plus2 Pre- stained standard บริษัท Invitrogen
3. น้ำยาวัดโปรตีน (protein assay) บริษัท Bio-Rad
4. BSA (bovine serum albumin) บริษัท Fluka Biochemika
5. 0.25M sucrose บริษัท Ajax Finechem
6. 1mM EDTA (ethylenediaminetetraacetic acid disodium salt) บริษัท AnalaR®
7. 0.05M tris บริษัท Promega
8. hydrochrolic acid (HCl) บริษัท Merck
9. 0.15M potassium chloride (KCl) บริษัท Ajax Finechem
10. imidazol บริษัท Fluka Biochemika
11. SDS (sodium dodecyl sulfate) บริษัท Bio Basic Inc.
12. phosphoric acid ($H_3PO_4$) บริษัท Merck
13. 2 – mercaptoethanol บริษัท Biochemical™
14. 30% acrylamide-bis solution (29:1) บริษัท Serva
15. TEMED (tetramethylethylenediamine) บริษัท Bio Basic Inc.
16. APS (ammoniumpersulfate) บริษัท Ajax Finechem
17. isopropanol บริษัท LAB-SCAN Analytical sciences
18. glycine บริษัท Promega
19. coomassie blue $R_{250}$ รุ่น CI42660 บริษัท Research organics
20. methanol บริษัท AnalaR®
21. bromophenol blue บริษัท Ajax Finechem
22. ethanol บริษัท Merck

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.3 วิธีการ

ตัวอย่างเนื้อโคจากแต่ละระบบการผลิตที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้มาจากกล้ามเนื้อสันนอก (*Longissimus dorsi* ) บริเวณซี่โครงคู่ที่ 6 – 12 ซีกซ้ายของซาก เก็บตัวอย่างเนื้อหลังฆ่า 1 ชั่วโมงที่โรงฆ่าสัตว์ นำเนื้อตัวอย่างที่ลดอุณหภูมิในห้องเย็นอุณหภูมิ 4 ºC ประมาณ 3 ชั่วโมง จากนั้นบรรจุในถุงพลาสติกปิดสนิทแช่ในถังน้ำแข็ง เพื่อส่งมาที่ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพเนื้อสัตว์ ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เก็บไว้ในห้องเย็นอุณหภูมิ 4 ºC ให้ครบเวลา 24 ชั่วโมงหลังฆ่า แล้วจึงนำก้อนเนื้อสันนอกมาตัดแบ่งออกเป็น 3 ชิ้น ให้ได้รูปแบบชิ้นเนื้อสเต็ก เพื่อทำการทดสอบที่ระยะเวลา 1 7 และ 14 วันหลังการฆ่า ชิ้นเนื้อสำหรับทำการศึกษาในวันที่ 1 ของการบ่ม จะถูกทำการทดสอบคุณภาพเนื้อทันที ในขณะที่ชิ้นเนื้อสำหรับการศึกษาในเวลาบ่มที่ 7 และ 14 วันจะถูกนำไปเก็บในถุงสุญญากาศเพื่อทำการบ่มต่อให้ครบเวลา สำหรับใช้ในการศึกษาอิทธิพลของระบบการผลิตโค และระยะเวลาการบ่มต่อคุณภาพเนื้อโค และการเปลี่ยนแปลงของโปรตีน troponin-T

### 3.3.1 ศึกษาอิทธิพลของระบบการผลิตโค และระยะเวลาการบ่มต่อคุณภาพเนื้อ

#### 3.3.1.1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) ของเนื้อโค

ทำการวัดอุณหภูมิภายในเนื้อ และค่า pH ของเนื้อที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมงภายหลังฆ่า และที่ระยะเวลาการบ่ม 7 และ 14 วัน

#### 3.3.1.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีเนื้อโค

ภายหลังจากการวัดค่า pH ของเนื้อเรียบร้อยแล้ว เนื้อก้อนดังกล่าวจะถูกนำมาตัดบริเวณหน้าตัดเนื้อหนาประมาณ 1.5 เซนติเมตร จากนั้นปล่อยให้ผิวหน้าที่ถูกตัดนั้นสัมผัสกับอากาศนาน 45 นาที (Goñi *et al.* 2007) แล้วจึงนำมาวัดค่าสีของเนื้อโค (L* a* b*) ด้วยเครื่องมือวัดสี

#### 3.3.1.3 ศึกษาความนุ่มของเนื้อโดยวิธีหาค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (shear force)

นำตัวอย่างเนื้อโคที่ผ่านการศึกษาค่า pH และสีของเนื้อแล้วมาตัดขอบออกให้เป็นชิ้นเนื้อรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าความหนา 2.5 เซนติเมตร จากนั้นนำใส่ถุงพลาสติก แล้วทำการไล่อากาศออกให้หมดด้วยเครื่องบรรจุสุญญากาศ นำไปทำให้สุกโดยการนำถุงเนื้อนั้นไปทำให้สุกโดยการแช่น้ำที่มีอุณหภูมิ 80 ºC ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ เป็นเวลา 30-45 นาที โดยให้อุณหภูมิใจกลางเนื้ออยู่ที่ 70-75 ºC จากนั้นนำเนื้อขึ้นมาทำให้เย็นโดยการแช่ในน้ำที่ไหลผ่านประมาณ 20 นาที โดยไม่ต้องนำชิ้นเนื้อออกจากถุง แล้วทำการตัดเนื้อที่เย็นแล้วตามแนวยาวของเส้นใยกล้ามเนื้อเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 1 x 3 x 1 เซนติเมตร ตัวอย่างละ 10 ชิ้น แล้วนำไปวัดค่าแรงตัดผ่านเนื้อด้วยเครื่องวัดค่าแรงตัดผ่านเนื้อ กำหนดหน่วยเป็น กิโลกรัม (Boccard *et al.* 1981)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3.3.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโปรตีน troponin-T ในเนื้อโคจากแต่ละระบบการผลิต ที่ระยะเวลาการ บ่มต่างๆกัน โดยเทคนิค SDS-PAGE**

**3.3.2.1 การสกัด myofibrillar proteins** (Claeys *et al.* 1995)

1. นำตัวอย่างเนื้อสดที่ได้จากการบ่ม 1 7 และ14 วัน ของโคจากแต่ละระบบการผลิต มาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วนำมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดละเอียด เก็บตัวอย่างเนื้อบดละเอียดตัวอย่างละ 2.5 กรัม

2. นำเนื้อบดมา homogenized ด้วยเครื่อง homogenizer ที่ความเร็ว 13,500 รอบ/นาที ร่วมกับสารละลาย STE buffer จำนวน 25 มิลลิลิตร (0.25M sucrose 1mM EDTA และ 0.05M tris; pH 7.6 )

3. ทำการปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง ความเร็ว 3,500 รอบ/นาที นาน 10 นาที ที่อุณหภูมิ 4 ºC เพื่อแยกตะกอนเนื้อบดออกจากสารละลาย buffer

4. นำตะกอนที่ได้มาเติมสารละลาย TE buffer 25 มิลลิลิตร (1mM EDTA และ 0.05M tris pH 7.6) คนให้เข้ากัน

5. นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 3,500 รอบ/นาที นาน 10 นาที ที่อุณหภูมิ 4 ºC แยกตะกอนอีกครั้ง เติมสารละลาย KCl buffer 25 มิลลิลิตร (0.15M KCl) คนให้เข้ากัน นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 3,500 รอบ/นาที นาน 10 นาที ที่อุณหภูมิ 4 $^{\circ}$C

6. แยกตะกอนที่ได้ครั้งที่ 3 เติมสารละลาย Sample buffer 30 มิลลิลิตร (2% SDS 0.01M imidazol และ 2% 2-mercaptoethanol) คนให้เข้ากัน ทิ้งไว้ข้ามคืน จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 3,500 รอบ/นาที นาน 10 นาที ที่อุณหภูมิ 4 ºC

7. เก็บส่วนสารละลายทั้งหมด แบ่งใส่ใน micro tube ขนาด 1 มิลลิลิตร และนำไปเก็บที่ตู้แช่แข็งอุณหภูมิ -20 ºC สารละลายนี้คือส่วนของ myofibrillar proteins ที่ได้จากการสกัด

**3.3.2.2 การหาความเข้มข้นของ myofibrillar proteins**

1. การทำกราฟมาตรฐาน (standard curve) ของสารละลายโปรตีน BSA ทำได้โดยนำสารละลาย BSA ที่มีความเข้มข้น 1 ไมโครกรัม/1 ไมโครลิตร มาเจือจางด้วยน้ำกลั่น ให้ได้ความเข้มข้นของ BSA เท่ากับ 0.1 0.2 0.4 0.6 และ 0.8 ไมโครกรัม/1 ไมโครลิตร จากนั้นนำสารละลายที่มีความเข้มข้นของ BSA ที่แตกต่างกันมาอย่างละ 10 ไมโครลิตร ผสมด้วยน้ำยาวัดโปรตีน (protein assay) 300 ไมโครลิตร แล้วนำตัวอย่างทั้งหมดไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่นแสงเท่ากับ 595 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงของแต่ละตัวอย่างที่มีความเข้มข้นต่างๆกันมาสร้างกราฟมาตรฐาน และคำนวณสมการถดถอย โดยกำหนดให้ค่า x เป็นค่าความเข้มข้นของ BSA และค่า y เป็นค่าการดูดกลืนแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. หาความเข้มข้นของ myofibrillar proteins ที่สกัดได้จากแต่ละตัวอย่าง นำตัวอย่างสกัดมาตัวอย่างละ 10 ไมโครลิตร ผสมกับน้ำยาวัดโปรตีน 300 ไมโครลิตร นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสง ได้ค่าการดูดกลืนแสง (y) เท่าใด ให้นำค่า y นั้นไปคำนวณเทียบกับสมการถดถอย เพื่อหาค่า x ที่คำนวณได้คือค่าความเข้มข้นของตัวอย่างที่จะต้องเตรียมสำหรับการหยอดลงในเจลต่อไป

**3.3.2.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของ myofibrillar proteins**

การแยกโปรตีนด้วยเทคนิค SDS – PAGE มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การเตรียมเจล

อุปกรณ์ที่ใช้ในการแยกโปรตีนคือเครื่อง vertical slab gels รุ่น SE 600 ขนาด 20 เซนติเมตร เจลสำหรับการแยกโปรตีนจะประกอบไปด้วย 2 ชั้น ชั้นล่างเรียกว่า separating gel มีความเข้มข้นเจลเท่ากับ 15% ซึ่งประกอบไปด้วย 30% acrylamide-bis 1.5M tris 10% SDS TEMED 10% APS และ น้ำกลั่น เจลชั้นนี้จะใช้สำหรับการแยกโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 10-200 k D a และเจลชั้นบนเรียก stacking gel มีความเข้มข้น 4% ประกอบด้วย 30% acrylamide-bis 0.5M tris 10% SDS TEMED 10% APS และ น้ำกลั่น ซึ่งชั้นนี้จะใช้แยกโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุล 50-1000 kDa ( Claeys *et al.* 1995 )

2. การหยอดโปรตีนตัวอย่าง ( protein sample loading )

เจลประกอบไปด้วยช่องใส่ตัวอย่างทั้งหมดจำนวน 15 ช่อง โดยมีรายละเอียดการใส่ตัวอย่างในแต่ละช่องดังต่อไปนี้

ช่องที่ 1 กำหนดให้เป็นช่องของโปรตีนมาตรฐาน ( protein standard marker ) เพื่อใช้สำหรับเปรียบเทียบน้ำหนักโมเลกุลของ myofibrillar protein โปรตีนมาตรฐานนี้ ประกอบไปด้วย myosin phosphorylase BSA glutamic-dehydrogenase alcohol-dehydrogenase carbonic-anhydrase myoglobin-red lysozyme aprotinin และ insulin B chain ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 250 148 98 64 50 36 22 16 6 และ 4 kDa ตามลำดับ

ช่องที่ 2 กำหนดให้เป็นช่องของสารละลาย BSA ที่มีความเข้มข้น 2 ไมโครกรัม/ไมโครลิตร มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 67 kDa เพื่อใช้เป็นโปรตีนมาตรฐาน อีกตัวหนึ่งในการเทียบปริมาณความเข้มข้นของแถบ myofibrillar proteins ที่ทำการศึกษา

ตั้งแต่ช่องที่ 3 เป็นต้นไป กำหนดให้เป็นช่องสำหรับตัวอย่างที่จะใช้หา myofibrillar proteins ที่ได้จากการสกัดตัวอย่างเนื้อโคแต่ละประเภทที่เทียบความเข้มข้นกับกราฟมาตรฐานแล้ว และถูกปรับให้มีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 30 ไมโครกรัม ซึ่งแต่ละช่องจะใส่ running buffer ที่ประกอบด้วย 100 mM DTT 0.5M tris glycerol 10% SDS bromophenol blue และ น้ำกลั่น ลงไปด้วยในอัตราส่วน myofibrillar proteins 3 : running buffer 1 เพื่อให้เห็นการเคลื่อนที่ของโปรตีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากใส่ตัวอย่างลงในแต่ละช่องเรียบร้อยแล้ว จึงทำการเปิดเครื่อง vertical slab gels โดยใช้กระแสไฟฟ้าขนาด 80 โวลต์ (V) 50 มิลลิแอมแปร์ (mA) เป็นเวลา 16 ชั่วโมง (Ho *et al.* 1997)

**3.3.2.4 การหาปริมาณของโปรตีน troponin-T (39 และ 37 kDa) และ troponin-$T_{Product}$ (30 kDa)**

myofibrillar proteins จะถูกแยกเป็นแถบตามน้ำหนักโมเลกุล แล้วเทียบแถบน้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนที่ถูกแยก กับโปรตีนมาตรฐานในช่องที่ 1 ถ้าแถบโปรตีนที่อ่านได้มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 39 กับ 37 kDa ถือได้ว่าเป็นโปรตีน troponin-T และแถบที่มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 30 kDa ถือว่าเป็นโปรตีน troponin-$T_{Product}$ (Ho *et al* . 1997) จากนั้นวัดความเข้มของแถบโปรตีน troponin-T และ troponin-$T_{Product}$ แล้วเทียบความเข้มของแถบโปรตีน troponin-T และ troponin-$T_{Product}$ กับความเข้มของแถบ BSA ในช่องที่ 2 โดยใช้โปรแกรม Gene Tools สำหรับการคำนวณหาปริมาณของโปรตีน กำหนดหน่วยเป็น μg BSA-equivalent

## 3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของข้อมูลที่ทำการศึกษาจากเนื้อโคที่แตกต่างกัน 5 ประเภท ข้อมูลที่ทำการศึกษา ได้แก่

1. ค่า pH ของเนื้อ
2. ค่าสีของเนื้อ (L* a* b*)
3. ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม
4. ปริมาณของโปรตีน troponin-T 39 kDa (Tn-T1) มีหน่วยเป็นμg BSA-equivalent
5. ปริมาณของโปรตีน troponin-T 37 kDa (Tn-T2) มีหน่วยเป็น μg BSA-equivalent
6. ปริมาณของโปรตีน troponin-$T_{Product}$ (30 kDa) มีหน่วยเป็น μg BSA-equivalent

ใช้การวิเคราะห์ทางสถิติแบบ 5 x 3 แฟคทอเรียล ในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (5 x 3 factorial in complete randomized design) ประกอบไปด้วย 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัย A คือ ระบบการผลิตโคเนื้อที่แตกต่างกันจำนวน 5 ระบบ และปัจจัย B คือ ระยะเวลาในการบ่มที่แตกต่างกัน 3 ระยะเวลาการบ่ม เพื่อหาความแตกต่างของข้อมูลที่ทำการศึกษา และปฏิกิริยาร่วมระหว่างระบบการผลิตโคกับระยะเวลาในการบ่ม ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SAS (Statistical Analysis System; 1985)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4

# ผลการทดลอง

## 4.1 อิทธิพลของระบบการผลิตโค และระยะเวลาการบ่มที่มีผลต่อค่า pH ในเนื้อ

ผลการศึกษา แสดงให้เห็นว่า ระบบการผลิตโคที่แตกต่างกันมีอิทธิพลต่อค่า pH ของเนื้อโดยพบว่าเนื้อโคขุนโพนยางคำ (TF) มีค่า pH ต่ำที่สุด (5.48) แต่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับเนื้อโคขุนลูกผสม Brahman ที่กินหญ้า (BG) ซึ่งมีค่า pH น้อยกว่าเนื้อโคพื้นเมือง (TN) เนื้อโคขุนกำแพงแสน (KU) และเนื้อโคขุนลูกผสม Brahman ที่กินเปลือกสับปะรด (BP)

ในด้านของระยะเวลาในการบ่มที่แตกต่างกันพบว่าไม่มีผลต่อค่า pH ของเนื้อ (ตารางที่ 4.1) และไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างระบบการผลิตโคกับระยะเวลาการบ่ม

## 4.2 อิทธิพลของระบบการผลิตโค และระยะเวลาการบ่มที่มีต่อสีของเนื้อ (L* a* b*)

### 4.2.1 การเปลี่ยนแปลงของค่า L* (lightness)

จากการศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่าระบบการผลิตโคมีอิทธิพลต่อค่าความสว่าง หรือค่า L* (lightness) ของเนื้อ ทั้งนี้พบว่าเนื้อโคขุนโพนยางคำ (TF) มีค่า L* สูงที่สุด แต่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับเนื้อโคลูกผสม Brahman เลี้ยงด้วยเปลือกสับปะรด (BP) และเนื้อโคพื้นเมืองโดยมีค่าเท่ากับ 42.40 41.58 และ 40.14 ตามลำดับ โดยเนื้อโคพื้นเมืองมีค่า L* แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับเนื้อโคขุนกำแพงแสน (38.21) ส่วนค่า L* ของเนื้อโคลูกผสม Brahman เลี้ยงด้วยหญ้า (BG)น้อยที่สุด (37.09) แต่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับเนื้อโคขุนกำแพงแสน (KU)

ในด้านของระยะเวลาในการบ่มพบว่ามีอิทธิพลต่อค่า L * ของเนื้อเช่นกัน โดยที่ระยะเวลาในการบ่ม 1 และ 7 วัน ค่า L* พบว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่เมื่อระยะเวลาในการบ่มผ่านไปถึง 14 วัน พบว่าค่า L* เพิ่มขึ้น และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ทั้งนี้ไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างระบบการผลิตโคกับระยะเวลาการบ่มที่มีต่อค่า L*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4.2.2 การเปลี่ยนแปลงของค่า a* (redness)**

สำหรับค่า a* (redness) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงระดับความมีสีแดงของเนื้อ โดยจะสัมพันธ์กับปริมาณของ myoglobin ในเนื้อ จากการศึกษา ดังตารางที่ 4.1 พบว่าระบบการผลิตโคมีอิทธิพลต่อค่า a* ของเนื้อ ซึ่งเนื้อโคพื้นเมือง (TN) มีค่า a* น้อยที่สุด (15.62) คือมีสีที่ออกแดงน้อยที่สุด แต่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับเนื้อโคขุนกำแพงแสน (KU) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 17.05 ในขณะที่ค่า a* ของโคลูกผสมเลือด Brahman ที่เลี้ยงด้วยเปลือกสับปะรด (BP) และเลี้ยงด้วยหญ้า (BG) พบว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับกลุ่ม KU ในส่วนของเนื้อโคขุนโพนยางคำ (TF) พบว่ามีค่า a* สูงที่สุด (22.94) คือมีสีออกแดงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อโคที่มาจากระบบการผลิตอื่นๆ ($p<0.05$) ที่ระยะเวลาในการบ่มนานขึ้นจะพบว่าค่า a* จะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยค่า a* ที่ระยะเวลาการบ่ม 1 วัน มีค่าน้อยที่สุด (16.15) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ที่ระยะเวลาในการบ่มวันที่ 7 พบความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับวันที่ 14 ทั้งนี้ไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างระบบการผลิตโคกับระยะเวลาการบ่มที่มีต่อค่า a*

**4.2.3 การเปลี่ยนแปลงของค่า b* (yellowness)**

ในส่วนของการศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ค่า b* (yellowness) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงระดับความมีสีเหลืองของเนื้อ โดยจะสัมพันธ์กับระดับไขมันแทรกในเนื้อ พบว่าระบบการผลิตโคที่แตกต่างกันมีอิทธิพลต่อค่า b* ของเนื้อ ซึ่งเนื้อโคขุนโพนยางคำ (TF) มีค่า b* สูงที่สุด (10.62) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อโคที่มาจากระบบการผลิตอื่นๆ ในขณะที่ ค่า b* ของเนื้อโคขุนกำแพงแสน (KU) เนื้อโคขุนลูกผสม Brahman เลี้ยงด้วยหญ้า (BG) และเลี้ยงด้วยเปลือกสับปะรด (BP) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 6.90 7.48 และ 7.38 ตามลำดับ ส่วนเนื้อโคพื้นเมือง (TN) มีค่า b* ต่ำที่สุด (5.59) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากการศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาในการบ่มพบว่ามีอิทธิพลต่อค่า b* เช่นกันโดยเมื่อระยะเวลาการบ่มนานขึ้น ค่า b* จะสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้ที่ระยะเวลาการบ่ม 1 7 และ 14 วัน มีค่า b* เท่ากับ 5.47 7.63 และ 8.67 ตามลำดับ และไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างระบบการผลิตโคที่แตกต่างกันและระยะเวลาในการบ่มที่มีต่อค่า b*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.3 อิทธิพลของระบบการผลิตโค และระยะเวลาการบ่มที่มีผลต่อค่าแรงตัดผ่านเนื้อ

จากการศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่าระบบของการผลิตโคมีอิทธิพลต่อค่าแรงตัดผ่านเนื้อ โดยพบว่าเนื้อโคขุนโพนยางคำ (TF) มีค่าแรงตัดผ่านเนื้อน้อยที่สุด (3.75 กิโลกรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) รองลงมาคือเนื้อโคขุนกำแพงแสน (KU) มีค่าเท่ากับ 5.59 กิโลกรัม เนื้อโคขุนลูกผสม Brahman เลี้ยงด้วยเปลือกสับปะรด (BP) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 8.97 กิโลกรัม ส่วนเนื้อโคลูกผสม Brahman เลี้ยงด้วยหญ้า (BG) และเนื้อโคพื้นเมืองมีค่าแรงตัดผ่านเนื้อสูงที่สุด (13.81 และ 13.77 กิโลกรัม ตามลำดับ) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่ม TF KU และ BP

สำหรับอิทธิพลของระยะเวลาในการบ่มที่มีผลต่อค่าแรงตัดผ่านเนื้อ พบว่าระยะเวลาในการบ่มที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการลดลงของค่าแรงตัดผ่านเนื้อที่ทุกระยะของการบ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 11.93 9.79 และ 7.62 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาการบ่ม 1 7 และ 14 วัน ตามลำดับ ทั้งนี้ไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างระบบการผลิตโค และระยะเวลาการบ่มที่มีผลต่อค่าแรงตัดผ่านเนื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.1** อิทธิพลของระบบการผลิตโค และระยะเวลาการบ่มที่มีต่อคุณภาพเนื้อ

| ลักษณะที่ศึกษา | ระบบการเลี้ยงโค (PS) | | | | | ระยะเวลาการบ่ม (Ageing) | | | P-value | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | KU | TF | BG | BP | TN | 1 | 7 | 14 | PS | Ageing | PS*Ageing |
| ค่า pH | 5.59$^{b}$ | 5.48$^{a}$ | 5.53$^{ab}$ | 5.59$^{b}$ | 5.60$^{b}$ | 5.60 | 5.53 | 5.55 | 0.0153 | 0.1015 | 0.5604 |
| ค่าสีของเนื้อ L* | 38.21$^{ab}$ | 42.40$^{c}$ | 37.09$^{a}$ | 41.58$^{c}$ | 40.14$^{bc}$ | 38.21$^{d}$ | 39.17$^{d}$ | 41.42$^{e}$ | 0.001 | 0.0010 | 0.9272 |
| a* | 17.05$^{ab}$ | 22.94$^{c}$ | 18.49$^{b}$ | 18.20$^{b}$ | 15.62$^{a}$ | 16.15$^{d}$ | 18.66$^{e}$ | 19.10$^{e}$ | 0.001 | 0.0010 | 0.3925 |
| b* | 6.90$^{b}$ | 10.62$^{c}$ | 7.38$^{b}$ | 7.48$^{b}$ | 5.59$^{a}$ | 5.47$^{d}$ | 7.63$^{e}$ | 8.67$^{f}$ | 0.001 | 0.001 | 0.4399 |
| ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (กก.) | 5.59$^{b}$ | 3.75$^{a}$ | 13.81$^{d}$ | 8.97$^{c}$ | 13.77$^{d}$ | 11.93$^{g}$ | 9.79$^{f}$ | 7.62$^{e}$ | 0.001 | 0.001 | 0.0530 |

$^{a,b,c,d,e,f,g}$ = ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



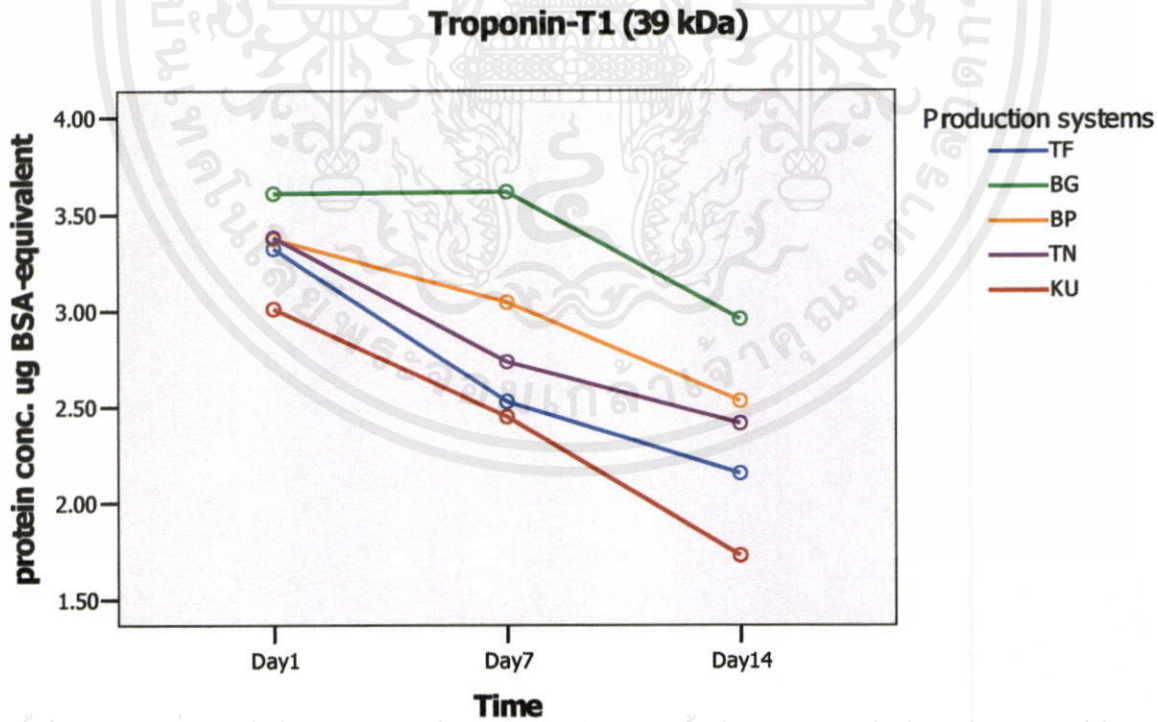
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

## 4.4 อิทธิพลของระบบการผลิตโค และระยะเวลาการบ่มที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโปรตีน troponin-T

### 4.4.1 การเปลี่ยนแปลงของ troponin-T1 (39 kDa)

จากการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณของโปรตีน troponin-T1 (Tn-T1) ในเนื้อโคจากแต่ละระบบการผลิตพบว่าเนื้อโคขุนลูกผสม Brahman เลี้ยงด้วยหญ้า (BG) มีปริมาณ Tn-T1 สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และเนื้อโคขุนเลือดยุโรป KU และ TF มีปริมาณน้อยที่สุด ส่วนในเนื้อโคขุนลูกผสม Brahman เลี้ยงด้วยเปลือกสับปะรด (BP) และในเนื้อโคพื้นเมือง (TN) มีปริมาณสูงกว่าเนื้อโคขุน BG แต่น้อยกว่าเนื้อโคขุน KU ดังแสดงในตารางที่ 4.3

จากการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณของโปรตีน Tn-T1 ที่ระยะเวลาการบ่มต่างกันพบว่า เมื่อระยะเวลาการบ่มนานขึ้นปริมาณโปรตีน Tn-T1 จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่าที่ระยะเวลาการบ่ม 1 7 และ 14 วัน เท่ากับ 3.34 2.92 และ 2.38 µg BSA-equivalent ตามลำดับ ทั้งนี้ไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างระบบการผลิตโคที่แตกต่างกันและระยะเวลาในการบ่มที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของ Tn-T1




**ภาพที่ 4.1** กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของ troponin-T1 ของเนื้อโคแต่ละประเภทที่แต่ละระยะเวลาการบ่ม TF= โคโพนยางคำ BG= โค Brahman เลี้ยงด้วยหญ้า BP= โค Brahman เลี้ยงด้วยเปลือกสับปะรด TN= โคพื้นเมืองไทย และ KU= โคกำแพงแสน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ในรูปแบบอื่นๆ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

จากกราฟแสดงให้เห็นว่า เนื้อโคขุนลูกผสม Brahman เลี้ยงด้วยหญ้า (BG) มีอัตราการย่อยสลายของปริมาณ Tn-T1 น้อยกว่าเนื้อชนิดอื่นๆ ในโคพื้นเมือง (TN) และเนื้อโคโพนยางคำ (TF) พบว่ามีอัตราการย่อยสลายได้มากในช่วง 7 วันแรก แต่จะมีอัตราการย่อยสลายลดลงเมื่อเวลาการบ่มเพิ่มขึ้น ส่วนเนื้อโคขุนลูกผสม Brahman เลี้ยงด้วยเปลือกสับปะรด (BP) และเนื้อโค KU มีอัตราการย่อยสลายเพิ่มขึ้นในทุกช่วงของการบ่ม (ตารางที่ 4.2)

**ตารางที่ 4.2** อัตราการย่อยสลาย (%) ของโปรตีน troponin-T1 (39 kDa) ในเนื้อโคจากระบบการผลิตและระยะเวลาการบ่มที่แตกต่างกัน

| ระยะเวลาการบ่ม | ระบบการผลิตโค | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | KU | TF | BG | BP | TN |
| 1-7 วัน | 19 | 24 | 0.28 | 9 | 19 |
| 7-14 วัน | 24 | 11 | 17 | 15 | 9 |

### 4.4.2 การเปลี่ยนแปลงของ troponin-T2 (37 kDa)

จากการศึกษา (ตารางที่ 4.4) เปรียบเทียบปริมาณของโปรตีน troponin-T2 (Tn-T2) ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 37 kDa ในเนื้อโคจากแต่ละระบบการผลิต พบว่าโคขุนโพนยางคำ (TF) มีปริมาณน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) รองลงมาคือโคขุนกำแพงแสน (KU) และโคขุนลูกผสม Brahman เลี้ยงด้วยเปลือกสับปะรด (BP) โดยมีค่าเท่ากับ 1.14 1.88 และ 2.31 µg BSA-equivalent ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณที่พบในเนื้อโคขุนลูกผสม Brahman เลี้ยงด้วยหญ้า (BG) และในเนื้อโคพื้นเมือง (TN) มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 3.28 และ 3.11 µg BSA-equivalent ตามลำดับ

จากการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณของโปรตีน Tn-T2 ที่ระยะเวลาการบ่มต่างกัน พบว่าเมื่อระยะเวลาการบ่มนานขึ้น ปริมาณ Tn-T2 จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่าที่ระยะเวลาการบ่ม 1 7 และ 14 วันเท่ากับ 2.92 2.47 และ 2.04 µg BSA-equivalent ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.3** อิทธิพลของระบบการผลิตโค และระยะเวลาการบ่มที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของ troponin-T1 (39 kDa) troponin-T2 (37 kDa) และ troponin-$T_{product}$ (30 kDa)

| ลักษณะที่ศึกษา | ระบบการผลิตโค (PS) | | | | | ระยะเวลาการบ่ม (Ageing) | | | P-value | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | KU | TF | BG | BP | TN | 1 | 7 | 14 | PS | Ageing | PS*Ageing |
| troponin-T1 | $2.40^{a}$ | $2.67^{ab}$ | $3.40^{c}$ | $2.99^{b}$ | $2.85^{b}$ | $3.34^{f}$ | $2.92^{e}$ | $2.38^{d}$ | 0.001 | 0.001 | 0.5720 |
| troponin-T2 | $1.88^{b}$ | $1.14^{a}$ | $3.28^{d}$ | $2.31^{c}$ | $3.11^{d}$ | $2.92^{g}$ | $2.47^{f}$ | $2.04^{e}$ | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| troponin-$T_{product}$ | $3.07^{b}$ | $2.84^{b}$ | $3.28^{c}$ | $1.63^{b}$ | $4.02^{c}$ | $2.12^{d}$ | $3.02^{e}$ | $3.81^{f}$ | 0.001 | 0.001 | 0.3929 |

$^{a,b,c,d,e,f,g}$ = ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ทั้งนี้พบว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่างระบบการผลิตโคกับระยะเวลาการบ่มที่มีต่อต่อปริมาณของโปรตีน Tn-T2 พบว่า โคกลุ่ม TF มีปริมาณของ TN-T2 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทุกๆ ระยะเวลาการบ่ม ในโคกลุ่ม KU และ TN มีการลดลงของปริมาณความเข้มข้นของ Tn-T2 ตลอดระยะเวลาการบ่ม แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เฉพาะที่ระยะเวลาการบ่ม 1 และ 14 วัน โคกลุ่ม BG และ BP พบว่ามีการลดลงของ Tn-T2 ตลอดระยะเวลาการบ่มเช่นเดียวกันแต่มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.4

**ตารางที่ 4.4** ปริมาณของ troponin-T2 (37 kDa) ในเนื้อโคจากแต่ละระบบการผลิตที่ระยะเวลาการบ่ม 1 7 และ 14 วัน (µg BSA-equivalent)

| ระบบการผลิตโค | ระยะเวลาการบ่ม (วัน) | | | ค่าเฉลี่ยของเนื้อโคจากแต่ละระบบการผลิต |
|---|---|---|---|---|
| | 1 | 7 | 14 | |
| KU | 2.15$^{j}$ | 1.97$^{jk}$ | 1.51$^{k}$ | 1.88$^{b}$ |
| TF | 2.58$^{ij}$ | 0.84$^{l}$ | มป. | 1.14$^{a}$ |
| BG | 3.56$^{h}$ | 3.25$^{hi}$ | 3.02$^{hi}$ | 3.28$^{d}$ |
| BP | 2.64$^{ij}$ | 2.45$^{ij}$ | 1.85$^{jk}$ | 2.31$^{c}$ |
| TN | 3.53$^{h}$ | 3.01$^{hi}$ | 2.80$^{i}$ | 3.11$^{d}$ |
| ค่าเฉลี่ยของแต่ละระยะเวลาการบ่ม | 2.92$^{g}$ | 2.47$^{f}$ | 2.04$^{e}$ | |

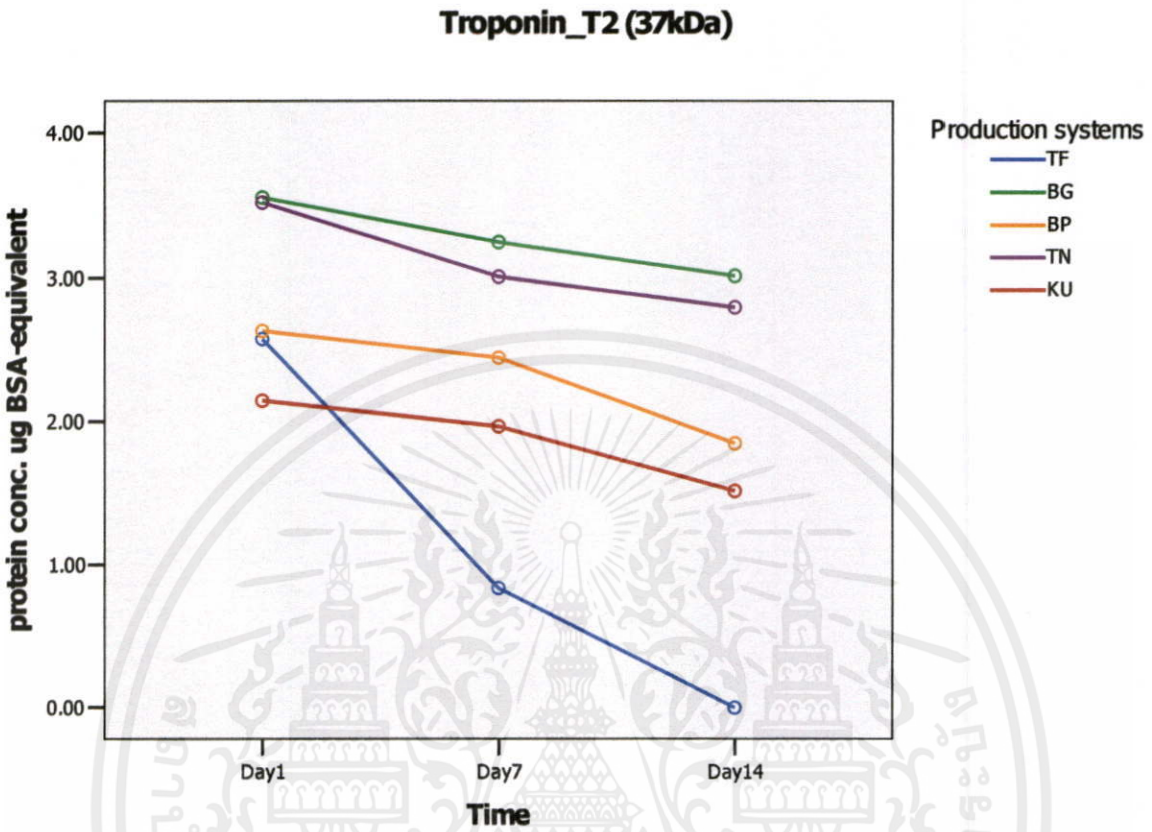
มป. = ไม่ปรากฏแถบโปรตีน

$^{a, b, c, d}$ = ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

$^{e, f, g}$ = ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

$^{h,I,j,k,l,}$ = ตัวอักษรที่แตกต่างกันภายในตาราง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื่องจากอิทธิพลร่วมของระบบการผลิตโค และระยะเวลาการบ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**ภาพที่ 4.2** กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของ troponin-T2 ของเนื้อโคแต่ละประเภทที่แต่ละระยะเวลาการบ่ม TF= โคโพนยางคำ BG= โค Brahman เลี้ยงด้วยหญ้า BP= โค Brahman เลี้ยงด้วยเปลือกสับปะรด TN= โคพื้นเมืองไทย และ KU= โคกำแพงแสน

จากกราฟแสดงอิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาการบ่มกับชนิดโคต่อปริมาณของโปรตีน Tn-T2 จะเห็นว่า เมื่อระยะเวลาการบ่มนานขึ้น เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโปรตีน Tn-T2 ในเนื้อโค TN และเนื้อโค BG โดยมีอัตราการสลายน้อยมาก (ตารางที่ 4.5) เมื่อเทียบกับเนื้อโคจากระบบการผลิตอื่น ส่วนปริมาณโปรตีน Tn-T2 ในเนื้อโค BP และเนื้อโค KU เกิดการสลายน้อยในช่วง 7 วันของการบ่ม แต่จะย่อยสลายมากถึงประมาณ 22-23% ในช่วงการบ่ม 14 วัน ในขณะที่ปริมาณโปรตีน Tn-T2 ในเนื้อโค TF มีการย่อยสลายมากในช่วงการบ่ม 7 วันและตรวจไม่พบปริมาณโปรตีน Tn-T2 เมื่อบ่มนาน 14 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.5** อัตราการย่อยสลาย (%) ของโปรตีน troponin-T2 (37 kDa) ในเนื้อโคจากระบบการผลิตและระยะเวลาการบ่มที่แตกต่างกัน

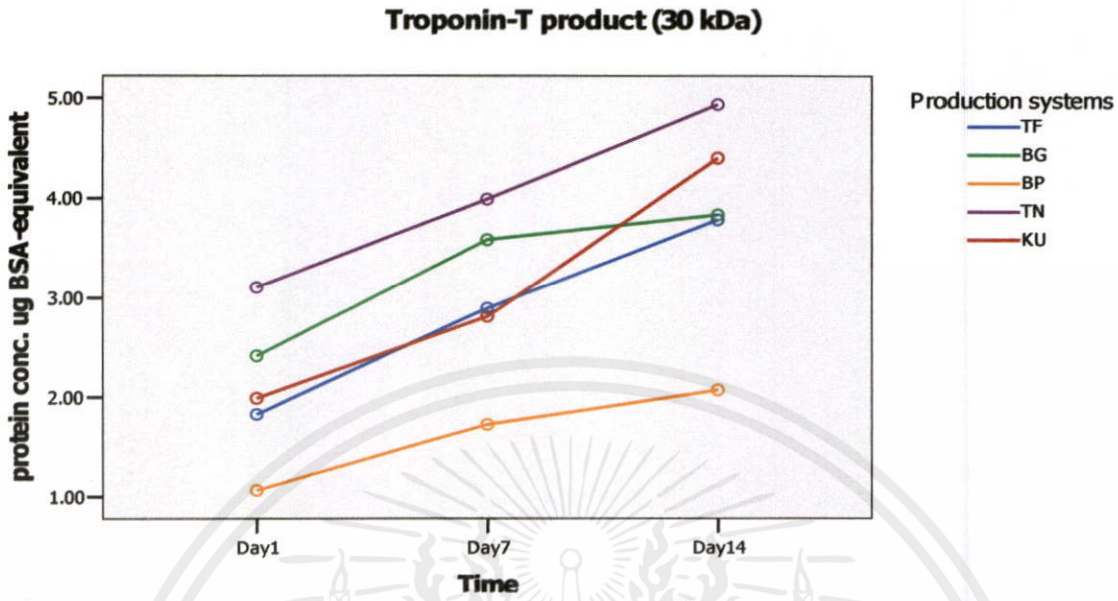
| ระยะเวลาการบ่ม | ระบบการผลิตโค | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | KU | TF | BG | BP | TN |
| 1-7 วัน | 8 | 67 | 9 | 7 | 15 |
| 7-14 วัน | 22 | 33 | 6 | 23 | 6 |

### 4.4.3 การเปลี่ยนแปลงของ troponin-$T_{product}$ (30 kDa)

จากการศึกษา (ตารางที่ 4.3) ปริมาณของโปรตีน troponin ที่เป็นผลผลิตที่เกิดจากการย่อยสลายโปรตีน Tn-T1 และ Tn-T2 ซึ่งได้กลุ่มโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุล 30 kDa (troponin-$T_{product}$: Tn-$T_{product}$) พบว่าปริมาณของ Tn-$T_{product}$ ในเนื้อโคจากแต่ละระบบการผลิต เนื้อโคพื้นเมือง (TN) และเนื้อโคขุนลูกผสม Brahman เลี้ยงด้วยหญ้า (BG) มีปริมาณสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 4.02 และ 3.28 µg BSA-equivalent ตามลำดับ ในขณะที่เนื้อโคขุนเลือดยุโรป KU และ TF ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.07 และ 3.28 µg BSA-equivalent ตามลำดับ นอกจากนี้ปริมาณที่พบในเนื้อโคลูกผสม Brahman ที่เลี้ยงด้วยเปลือกสับปะรด (BP) มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 1.63 µg BSA-equivalent

ที่ระยะเวลาการบ่มแตกต่างกัน พบว่าในเนื้อโคจากแต่ละระบบการผลิต มีปริมาณของ Tn-$T_{product}$ เพิ่มขึ้นทุกระยะการบ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 2.12 3.02 และ 3.81 µg BSA-equivalent ที่ระยะเวลาการบ่ม 1 7 และ 14 วัน ตามลำดับ ทั้งนี้ไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างระบบการผลิตโคกับระยะเวลาการบ่มต่อปริมาณของ Tn-$T_{product}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



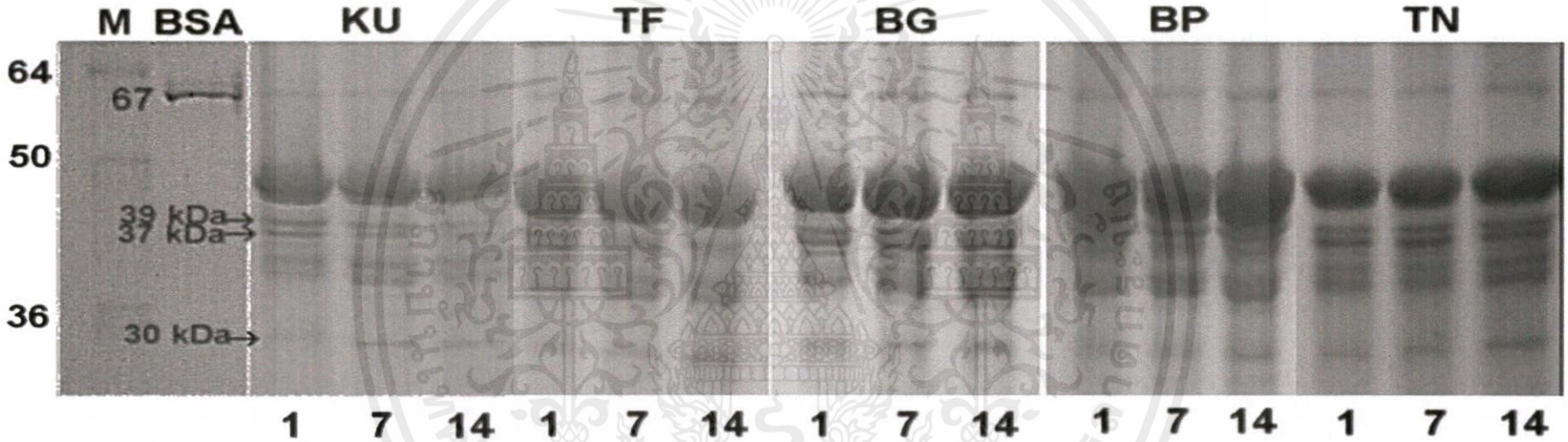

**ภาพที่ 4.3** กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของ troponin-$T_{product}$ ของเนื้อโคแต่ละประเภทที่แต่ละระยะเวลาการบ่ม TF= โคโพนยางคำ BG= โค Brahman เลี้ยงด้วยหญ้า BP= โค Brahman เลี้ยงด้วยเปลือกสับปะรด TN= โคพื้นเมืองไทย และ KU= โคกำแพงแสน

จากกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงในปริมาณของ Tn-$T_{product}$ เมื่อระยะเวลาการบ่มนานขึ้น พบว่าในเนื้อโค BP ปริมาณของ Tn-$T_{product}$ มีน้อยที่สุด แต่อัตราการเพิ่มสูงสุดในช่วง 7 วันของการบ่ม (62%) แต่อัตราการเพิ่มปริมาณจะลดลงเหลือประมาณ 32% ในช่วงการบ่ม 14 วัน การเปลี่ยนแปลงของปริมาณของ Tn-$T_{product}$ ในเนื้อโค TF และ KU มีลักษณะคล้ายคลึงกันในช่วงการบ่ม 7 วัน แต่ KU จะมีปริมาณของ Tn-$T_{product}$ เพิ่มขึ้นในอัตราสูงกว่า TF ในช่วงการบ่ม 14 วัน ส่วนปริมาณของ Tn-$T_{product}$ ในเนื้อโค BG มีอัตราการเพิ่มขึ้นสูงในช่วง 7 วันของการบ่ม (48%) แล้วลดลงเหลือเพียง 11% ในช่วงการบ่ม 14 วัน ในขณะที่เนื้อโค TN ปริมาณของ Tn-$T_{product}$ สูงที่สุดในวันแรกของการบ่ม แต่เกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดเมื่อบ่มนาน 7 วัน เพิ่มขึ้นเพียง 29% และมีการเพิ่มขึ้นประมาณ 30% ในช่วงการบ่ม 14 วัน ดังแสดงในตารางที่ 4.6

**ตารางที่ 4.6** อัตราการเพิ่มปริมาณ (%) ของโปรตีน troponin-$T_{product}$ (30 kDa) ในเนื้อโคจากระบบการผลิตและระยะเวลาการบ่มที่แตกต่างกัน

| ระยะเวลาการบ่ม | ระบบการผลิตโค | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | KU | TF | BG | BP | TN |
| 1-7 วัน | 40 | 57 | 48 | 62 | 29 |
| 7-14 วัน | 80 | 48 | 11 | 32 | 30 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**ภาพที่ 4.4** ภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงของ troponin-T1 (39 kDa) troponin-T2 (37 kDa) และ troponin-$T_{product}$ (30 kDa) ในโคจากแต่ละระบบการผลิตที่แต่ละระยะเวลาการบ่ม M= protein marker BSA= internal marker KU= โคกำแพงแสน TF= โคโพนยางคำ BG= โค Brahman เลี้ยงด้วยหญ้า BP= โค Brahman เลี้ยงด้วยเปลือกสับปะรด และ TN= โคพื้นเมืองไทย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

### 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของโปรตีน troponin-T1 troponin-T2 และ troponin-$T_{product}$ ในเนื้อโคจากแต่ละระบบการผลิต และค่าแรงตัดผ่านเนื้อ

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของโปรตีน troponin-T1 (Tn-T1) และ troponin-T2 (Tn-T2) ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 39 kDa และ 37 kDa ตามลำดับ และปริมาณของโปรตีนที่เป็นผลผลิตจากการย่อยสลายของโปรตีน troponin ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุล 30 kDa หรือ troponin-$T_{product}$ (Tn-$T_{product}$) และค่าแรงตัดผ่านเนื้อของโคจากแต่ละระบบการผลิต (ตารางที่ 4.7) พบว่าเนื้อโคKU มีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.71 0.50 และ -0.63 เนื้อโค TF มีค่าเท่ากับ 0.68 0.60 และ -0.83 เนื้อโค BG มีค่าเท่ากับ 0.38 0.84 และ -0.87 เนื้อโค BP มีค่าเท่ากับ 0.67 0.70 และ -0.82 และเนื้อโค TN มีค่าเท่ากับ 0.62 0.58 และ -0.67 ตามลำดับ

**ตารางที่ 4.7** ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของโปรตีน troponin-T1 (Tn-T1) troponin-T2 (Tn-T2) และ troponin-$T_{product}$ (Tn-$T_{product}$) ในเนื้อโคจากแต่ละระบบการผลิต และค่าแรงตัดผ่านเนื้อ

| ระบบการผลิต | Tn-T1 (39 kDa) | Tn-T2 (37 kDa) | troponin-$T_{product}$ (30 kDa) |
|---|---|---|---|
| KU | 0.71** | 0.50* | -0.63** |
| TF | 0.68** | 0.60* | -0.83** |
| BG | 0.38* | 0.84 ** | -0.87** |
| BP | 0.67** | 0.70** | -0.82** |
| TN | 0.62** | 0.58* | -0.67** |

* = มีสหสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

** = มีสหสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

จากตารางแสดงให้เห็นว่าปริมาณของ Tn-T1 และ Tn-T2 กับค่าแรงตัดผ่านเนื้อมีความสัมพันธ์กันในทางบวก โดยพบว่าเมื่อปริมาณของ Tn-T1 และ Tn-T2 ลดลง ค่าแรงตัดผ่านเนื้อจะมีค่าลดลงเช่นกัน ในขณะที่ปริมาณของ Tn-$T_{product}$ กับค่าแรงตัดผ่านเนื้อมีความสัมพันธ์กันในทางลบ โดยพบว่าเมื่อปริมาณของ Tn-$T_{product}$ เพิ่มขึ้น ค่าแรงตัดผ่านเนื้อจะมีค่าลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5
# วิจารณ์ผลการทดลอง

## 5.1 ค่า pH ของกล้ามเนื้อ

ผลการศึกษาครั้งนี้พบว่า เนื้อโคขุนโพนยางคำ (TF) จะมีค่า pH ต่ำที่สุด ซึ่งอาจเป็นผลมาจากน้ำหนักตัวของโคขุน TF มากที่สุด ซากมีไขมันสันหลังหนากว่าโคที่มาจากระบบการผลิตอื่น เนื่องจากเป็นโคที่มีระยะการขุนนาน จึงมีไขมันสะสมใต้ผิวหนังมาก Smith *et al.* (1976) รายงานว่าจากการที่ซากโคมีไขมันหุ้มซากหนาจะส่งผลให้การระบายความร้อนออกจากซากเป็นไปได้ช้ากว่าทำให้อุณหภูมิของซากลดลงได้ช้าจึงมีผลไปเร่งปฏิกิริยา anaerobic glycolysis ทำให้ค่า pH ลดลงเร็ว เนื้อโคจะลดลงถึง ultimate pH เร็วขึ้น

ในขณะที่เนื้อโคชนิดอื่นโดยเฉพาะเนื้อโคพื้นเมือง (TN) จะมีค่า pH สูงที่สุด แม้ว่าจะไม่ต่างจากโคอีก 3 กลุ่มที่เหลือ ทั้งนี้โค TN เป็นโคที่มีน้ำหนักซากน้อยกว่ามาก อีกทั้งยังเป็นโคที่มาจากระบบการเลี้ยงที่กินแต่หญ้าจึงไม่มีไขมันหุ้มซาก การลดลงของอุณหภูมิเป็นไปได้เร็วกว่ามาก จึงมีส่วนไปชะลอการทำงานของเอ็นไซม์ที่ไปช่วยเร่งปฏิกิริยา anaerobic glycolysis

ในส่วนของระยะเวลาที่ใช้ในการบ่มเนื้อพบว่าไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ในเนื้อโคจากทุกระบบการผลิต โดย ชัยณรงค์ คันธพนิต. (2529) อธิบายว่าเนื่องจากภายหลังจากสัตว์ตายไปแล้ว 24 ชั่วโมง ค่า pH ของเนื้อสัตว์จะลดลงจาก 7.0 เป็น 5.3-5.7 และจะไม่มีการลดลงต่อไปอีก ซึ่งเรียก pH ในเนื้อสัตว์นี้ว่า ค่า pH สุดท้าย หรือ ultimate pH และการที่ค่า pH ไม่มีการลดลงต่อ Anderson. (1999) ได้อธิบายว่าเป็นผลจากภายหลังสัตว์ตาย ร่างกายมีปริมาณ glycogen ที่จะนำมาสร้างพลังงานให้กับร่างกายโดยผ่านกระบวนการ anaerobic metabolism เพื่อให้ได้กรดแลคติก และพลังงานความร้อนนั้นเหลืออยู่ไม่มากจึงส่งผลให้ค่า pH ในกล้ามเนื้อสัตว์ลดลงน้อยจนถึงไม่สามารถลดลงต่อได้อีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**5.2 ค่าสีของกล้ามเนื้อ (L*a*b*)**

ผลการศึกษาค่าสีของกล้ามเนื้อในส่วนของค่า L* (lightness) พบว่าเมื่อเวลาในการบ่มเนื้อนานขึ้น ค่า L* ในเนื้อโคจากทุกระบบการผลิตจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่งผลให้สีของเนื้อมีความสว่างมากขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากโปรตีนกล้ามเนื้อเกิดการเสื่อมสภาพ (protein denature) ส่งผลให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อลดต่ำลง และน้ำในเนื้อถูกปล่อยออกมามากขึ้น ดังนั้นเมื่อมีแสงมาตกกระทบกับเนื้อ จึงเกิดการสะท้อนกลับของแสงได้มาก ซึ่งจากการที่เนื้อมีการสะท้อนกลับของแสงได้มากนี้ทำให้ดูเหมือนว่าเนื้อนั้นมีความสว่างเพิ่มขึ้น (Bruce *et al.* 2004)

ในส่วนของค่า a* (redness) ซึ่งเป็นค่าที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณเม็ดสีในเนื้อ (myoglobin) ซึ่งเป็นโปรตีนกลุ่ม sarcoplasmic protein (Dunne *et al.* 2005) จากการศึกษาพบว่าโค TF มีค่า a* สูงที่สุด ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการที่โค TF ได้รับการขุนด้วยอาหารข้นในระดับสูงเป็นเวลานาน(12-18 เดือน) โคจึงมีการสร้างของโปรตีนในกล้ามเนื้อได้มากกว่าโคที่ใช้เวลาขุนด้วยอาหารข้นสั้น และโคที่กินแต่หญ้าเพียงอย่างเดียว และเมื่อเวลาในการบ่มเนื้อนานขึ้น ค่า a* ของเนื้อโคจากทุกระบบการผลิตจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กล่าวว่าค่า a* ซึ่งจากผลการศึกษานี้ให้ผลไปในทางเดียวกับ Bruce *et al.* (2004) ที่รายงานว่า การขุนโคด้วยอาหารข้นในระดับสูงเป็นเวลานาน จะมีค่า a* สูงกว่าการขุนในเวลาสั้น เนื่องจากการขุนโคในเวลาที่นานกว่านั้น ร่างกายของโคจะมีการสะสมของโปรตีนในกล้ามเนื้อ และไขมันได้มากกว่าการขุนในเวลาสั้น

นอกจากนี้การที่ค่า a* มีการเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการบ่มนานขึ้น ได้มีรายงานของ Boakye and Mittal. (1995) อธิบายว่าเป็นผลเนื่องมาจากการที่ออกซิเจนที่มีอยู่ในอากาศ ไม่สามารถผ่านเข้าไปในก้อนเนื้อได้ส่งผลให้เอ็นไซม์ที่อยู่ลึกลงไปในก้อนเนื้อที่ต้องใช้ออกซิเจนในการทำปฏิกิริยาต่างๆ จะค่อยๆเสื่อมสภาพไป ซึ่งยิ่งเวลาในการบ่มเนื้อนานขึ้นเอ็นไซม์เหล่านี้จะยิ่งหมดไปเรื่อยๆ และเมื่อเนื้อมีการสัมผัสกับออกซิเจนอีกครั้ง myoglobin ในเนื้อจึงสามารถเข้าจับกับออกซิเจนได้อย่างเต็มที่ จึงเป็นเหตุให้ค่า a* มีค่าเพิ่มขึ้น

สำหรับค่า b* (yellowness) พบว่าโค TF มีค่าสูงที่สุดซึ่งอาจเป็นเพราะโค TF เป็นโคที่ได้รับการขุนด้วยอาหารข้นระดับสูงเป็นเวลานาน จึงทำให้ร่างกายโคมีการสะสมไขมันแทรกในกล้ามเนื้อได้มาก ขณะที่โค TN จะมีค่า b* ต่ำที่สุด เนื่องจากว่าโค TN นี้เป็นโคที่เลี้ยงด้วยการปล่อยแทะเล็มหญ้าเพียงอย่างเดียว ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Sethakul *et al.* (2008) ที่ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อโคในชุดเดียวกันกับการทดลองครั้งนี้พบว่าปริมาณไขมันแทรกในกล้ามเนื้อสันนอกของโค TF KU BG BP และ TN มีค่าเท่ากับ 8.58 5.00 1.83 2.87 และ 0.77 % ตามลำดับ อีกทั้งโค TF เป็นโคที่อยู่ในกลุ่ม *Bos taurus* ซึ่งตามพันธุกรรมแล้วโคในกลุ่มนี้จะมีการสะสมไขมันในร่างกายได้ดีกว่าโค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่ม *Bos indicus* ส่วนโค TN นั้นจัดอยู่ในกลุ่ม *Bos indicus* ร่างกายจึงมีการสะสมไขมันได้น้อย จากการศึกษานี้ได้สอดคล้องกับ Page *et al.* (2001) ที่รายงานว่า โค *Bos taurus* ที่มีปริมาณไขมันแทรกในกล้ามเนื้อสูงจะมีค่า b* สูงกว่าโคกลุ่ม *Bos indicus* ซึ่งมีปริมาณไขมันแทรกน้อยกว่า

เมื่อเวลาในการบ่มเนื้อนานขึ้น ค่า b* จากโคทุกชนิดจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) จากการที่ค่า b* มีค่าเพิ่มขึ้น Warriss. (2000) ได้อธิบายไว้ว่าเป็นผลเนื่องมาจากการที่ไขมันนั้นเมื่อสัมผัสกับอากาศที่มีออกซิเจนเป็นเวลานานๆ จะทำให้ไขมันเกิดการ oxidation หรือเกิดการหืนขึ้น ส่งผลให้ไขมันที่เคยมีลักษณะอ่อน และมีสีเหลืองใส เปลี่ยนสภาพเป็นมีความข้น และแข็งขึ้น อีกทั้งสีจะมีความขุ่นขึ้น จึงเป็นเหตุให้ค่า b* มีค่าเพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**5.3 ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (shear force)**

จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า ค่าแรงตัดผ่านเนื้อในโคกลุ่ม *Bos indicus* (BP, BG และ TN) มีค่าแรงตัดผ่านเนื้อมากกว่าโคในกลุ่ม *Bos taurus* (TF และ KU) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในโคกลุ่ม *Bos indicus* แม้ว่าจะใช้เวลาในการบ่มเนื้อนานถึง 14 วัน เนื้อยังคงมีค่าแรงตัดผ่านเนื้อสูงมาก ในขณะที่โคกลุ่ม *Bos taurus* จะใช้เวลาเพียง 7 วันสำหรับทำให้เนื้อมีความนุ่มเพิ่มขึ้น ซึ่งให้ผลการทดลองไปในทางเดียวกับงานวิจัยของ Wheeler *et al.* (1990), Koohmaraie. (1996), O'Conner *et al.* (1997) และ Wulf *et al.* (1997) ที่รายงานว่า โคในกลุ่ม *Bos taurus* จะมีความนุ่มมากกว่า และมีค่าแรงตัดผ่านเนื้อต่ำกว่าโคกลุ่ม *Bos indicus*

โคกลุ่ม *Bos taurus* ได้แก่ TF และ KU จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า ในเนื้อโค TF จะมีค่าแรงตัดผ่านเนื้อต่ำกว่าโค KU อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากโค TF มีปริมาณไขมันแทรกในเนื้อมากที่สุด ซึ่งเป็นผลมาจากได้รับการขุนด้วยอาหารข้นระดับสูงเป็นเวลานานกว่าโค KU จึงมีผลทำให้เนื้อนั้นมีความนุ่มมากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Cranwell *et al.* (1996) ที่กล่าวว่าการขุนโคด้วยอาหารข้นในระดับสูงเป็นเวลานานมีส่วนช่วยในการปรับปรุงความนุ่มของเนื้อโคได้มากกว่าการขุนในเวลาสั้น อีกทั้งการมีไขมันแทรกในเนื้อสูงทำให้เนื้อมีความนุ่มมากกว่า โดย Savell and Cross (1988) ได้อธิบายไว้ว่าเป็นผลมาจากการที่ไขมันนั้นจะไปแทรกอยู่ระหว่างกล้ามเนื้อ และเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ทำให้แรงตึงของกล้ามเนื้อ และเนื้อเยื่อเกี่ยวพันลดลง จึงเป็นเหตุให้เนื้อนั้นมีความนุ่มขึ้น นอกจากนี้ไขมันที่สะสมแทรกอยู่ในเนื้อจะทำให้รู้สึกว่าเนื้อนั้นมีความฉ่ำน้ำ เคี้ยวง่าย และนุ่ม

ในส่วนของโคกลุ่ม *Bos indicus* ที่ประกอบไปด้วย TN และ BG จะมีค่าแรงตัดผ่านเนื้อไม่แตกต่างกัน แต่กลับพบว่าโค BP ซึ่งเป็นโคที่ขุนด้วยด้วยเปลือก และเหง้าสับปะรดหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบเนื้อจะมีความนุ่มมากกว่า และค่าแรงตัดผ่านเนื้อน้อยกว่า โค TN และ BG อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่าแรงตัดผ่านเนื้อเท่ากับ 13.77 13.81 และ 8.97 กิโลกรัม ตามลำดับ เหตุที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากอิทธิพลของสับปะรดหมักที่ใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบในการขุนโค BP ทั้งนี้ได้มีรายงานของกองอาหารสัตว์ (2549) พบว่าสับปะรดที่เป็นผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมที่นำมาเลี้ยงสัตว์นั้นเป็นแหล่งอาหารหยาบที่ให้พลังงานสูงชนิดหนึ่ง โดยในส่วนของเปลือกสับปะรดมีคาร์โบไฮเดรตอยู่ประมาณ 15% ซึ่งเป็นพลังงานที่ย่อยสลายง่าย และร่างกายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เร็ว ซึ่งเมื่อโคกินไปนานๆ อาจทำให้เกิดการสะสมไขมันในร่างกายเพิ่มขึ้น อีกทั้งจากรายงานของ Sethakul *et al.* (2008) ที่ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อโคในชุดเดียวกันกับการทดลองครั้งนี้พบว่า เนื้อโค BP มีปริมาณไขมันเท่ากับ 2.87% ขณะที่เนื้อโค BG และ TN มีค่าเท่ากับ 1.83 และ 0.77 % ตามลำดับ ดังนั้นจากการที่โค BP มีปริมาณไขมันแทรกสูงกว่าโค BG นี้เองจึงเป็นผลให้เนื้อโค BP มีความนุ่มมากกว่า หรือมีค่าแรงตัดผ่านเนื้อต่ำกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**5.4 การเปลี่ยนแปลงของ troponin-T (39 และ 37 kDa) และ troponin-$T_{product}$ (30 kDa)**

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโปรตีน troponin-T1 (Tn-T1; 39 kDa) troponin-T2 (Tn-T2; 37 kDa) และ troponin-$T_{product}$ (Tn-$T_{product}$; 30 kDa) พบว่าในโคกำแพงแสน (KU) และโคโพนยางคำ (TF) ซึ่งเป็นโคกลุ่ม *Bos taurus* มีอัตราการสลายของโปรตีน Tn-T1 และ Tn-T2 และอัตราการเพิ่มขึ้นของ Tn-$T_{product}$ มากกว่าโคในกลุ่ม *Bos indicus* ที่ประกอบด้วยโคลูกผสม Brahman กินหญ้า (BG) โคลูกผสม Brahman กินเปลือกสับปะรด (BP) และโคพื้นเมืองไทย (TN) ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากการที่โคกลุ่ม *Bos taurus* มีเส้นใยกล้ามเนื้อจำพวก white fiber ในสัดส่วนที่สูงกว่า red fiber โดยรายงานของ Geesink *et al.* (2006) กล่าวว่าเนื่องจากในส่วนของ white fiber จะมีปริมาณของเอ็นไซม์ calpain ที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายโปรตีนในกลุ่ม myofibrillar protein มากกว่าเอ็นไซม์ calpastatin ที่ทำหน้าที่ในการขัดขวางการทำงานของ calpain ในขณะที่ red fiber จะมีปริมาณของเอ็นไซม์ calpain ในสัดส่วนที่เท่ากันกับ calpastatin จึงส่งผลให้เนื้อของสัตว์ที่มีเส้นใยกล้ามเนื้อพวก red fiber อยู่สูงดังเช่นโคกลุ่ม *Bos indicus* จะมีความเหนียวมากกว่า และมีการย่อยสลายของโปรตีนในกลุ่ม myofibrillar protein เช่น โปรตีน troponin-T ได้ช้า และน้อยกว่า

ในด้านปริมาณของ Tn-$T_{product}$ (30 kDa) พบว่าในโค TN มีปริมาณสูงที่สุด ในขณะที่โค TF มีปริมาณน้อยกว่า ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากโปรตีน troponin-T ในโค TF เกิดการสลายตัวได้เร็วกว่า เป็นผลให้การสลายตัวต่อไปเป็น polypeptide ที่มีขนาดเล็กกว่าของ Tn-$T_{product}$ เกิดขึ้นได้เร็วตามไปด้วย จึงทำให้พบว่ามีปริมาณ Tn-$T_{product}$ ของ TF เหลือน้อยกว่าในโค TN ทั้งนี้ได้มีรายงานของ Muroya *et al.* (2006) พบว่าการย่อยสลายของ troponin-T จะมี polypeptide ที่มีขนาด 32.1 30.9 29.6 28.3 27.4 26.9 และ26.0 kDa ปรากฏขึ้น อีกทั้งในการศึกษาครั้งนี้พบว่าโค TN มีปริมาณของ troponin-T ที่เป็นตัวตั้งต้นของ Tn-$T_{product}$ มีปริมาณมากกว่าในโค TF จึงทำให้ปริมาณของ Tn-$T_{product}$ มีปริมาณมากเช่นกัน

สำหรับระยะเวลาการบ่มที่เพิ่มขึ้นนั้นมีผลทำให้การย่อยสลายของTn-T1 และ Tn-T2 และปริมาณของ Tn-$T_{product}$ เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Ho *et al.* (1994 1996 1997) ที่พบว่าเมื่อระยะเวลาการบ่มเนื้อเพิ่มขึ้นการย่อยสลายของ troponin-T และปริมาณของ Tn-$T_{product}$ มีการเพิ่มขึ้นเช่นกัน ทั้งนี้เป็นผลมาจากการทำงานของเอ็นไซม์ calpain ที่มีอยู่ในกล้ามเนื้อทำหน้าที่ในการย่อยสลาย troponin-T และทำให้เกิดผลผลิตจากการย่อยสลายซึ่งก็คือ Tn-$T_{product}$ เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 6
# สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

## สรุปผลการทดลอง

### ปัจจัยด้านระบบการผลิตโค

เนื้อโคที่ได้ทำการศึกษามาจากโคขุนลูกผสมเลือด Charolais 2 กลุ่ม ที่มีสายพันธุ์และระบบการเลี้ยงต่างกัน คือเนื้อโค TF ของกลุ่มสหกรณ์โพนยางคำ และเนื้อโค KU ของกลุ่มสหกรณ์กำแพงแสน กลุ่มโคลูกผสมเลือด Brahman ระดับสูง 2 กลุ่มที่มีสายพันธุ์และระบบการเลี้ยงต่างกัน คือเนื้อโค BG ซึ่งใช้อาหารหยาบจากฟาง และหญ้าเป็นหลัก และเนื้อโค BP ซึ่งใช้อาหารหยาบจากเปลือก และเหง้าสับปะรดเป็นหลัก และกลุ่มสุดท้ายคือเนื้อโคพื้นเมืองอายุไม่เกิน 2 ปี ที่เลี้ยงด้วยหญ้าตามธรรมชาติอย่างเดียว ผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้

1. ชนิดของเนื้อโคที่แตกต่างกันมีผลต่อความนุ่มของเนื้ออย่างชัดเจน ซึ่งโคขุนลูกผสมเลือด Charolais ที่มีเลือดโคตระกูล taurus มีค่าแรงตัดผ่านเนื้อต่ำ โดยเฉพาะเนื้อโค TF ซึ่งมีระยะการขุนนานกว่า KU จะมีความนุ่มมากที่สุด ส่วนเนื้อโคที่มาจากโคในตระกูล indicus คือเนื้อโคขุนลูกผสม Brahman ที่ใช้ฟางและหญ้าเป็นแหล่งอาหารหยาบ และมีช่วงระยะเวลาการขุนสั้นไม่เกิน 3 เดือน และเนื้อโคพื้นเมืองที่ไม่ได้รับการขุนมีแต่หญ้ากินอย่างเดียว พบว่าเนื้อมีความเหนียวมากที่สุด และไม่แตกต่างกัน แต่ในโคขุนลูกผสม Brahman ที่มีช่วงระยะเวลาการขุนนานมากขึ้น (5-6 เดือน) ประกอบกับใช้เปลือกสับปะรดเป็นแหล่งอาหารหยาบ พบว่าเนื้อมีความนุ่มมากกว่าเนื้อโคทั้ง 2 กลุ่มหลังที่กล่าวมาทั้งที่เป็นโคในตระกูล indicus เช่นกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากสายพันธุ์ และระบบการขุน อาหารหยาบ และอายุที่แตกต่างกัน ซึ่งทุกปัจจัยมีผลต่อความนุ่มของเนื้อ ตลอดจนสีของเนื้อที่พบว่ามีความแตกต่างในแต่ละชนิดของเนื้อโค อันเป็นผลมาจากสายพันธุ์ และระบบการเลี้ยง

2. ความนุ่มของเนื้อโค หรือค่าแรงตัดผ่านเนื้อของเนื้อโคจากแต่ละระบบการผลิต จากการทดลองพบว่ามีความสอดคล้องกับอัตราการสลายตัวของโปรตีน troponin-T (39 และ 37 kDa) และการเพิ่มขึ้นของ troponin-T $_{product}$ (30 kDa) เนื่องจากว่าในเนื้อโค TF จะมีค่าแรงตัดผ่านเนื้อต่ำที่สุด หรือมีความนุ่มของเนื้อมากที่สุด พบว่ามีอัตราการย่อยสลายของ troponin-T และอัตราการเพิ่มขึ้นของ troponin-T $_{product}$ สูงที่สุดเช่นกัน ซึ่งการย่อยสลายของ troponin-T และการเพิ่มขึ้นของ troponin-T $_{product}$ จะมีความสัมพันธ์กับความนุ่มของเนื้อที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่โค BG และ TN มีอัตราการย่อยสลายของ troponin-T และอัตราการเพิ่มขึ้นของ troponin-T $_{product}$ น้อยที่สุด ซึ่งพบว่าค่าแรงตัดผ่านเนื้อของโคทั้ง 2 กลุ่มนี้มีค่าสูงที่สุด หรือก็คือเนื้อมีความเหนียวมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ปัจจัยด้านระยะเวลาการบ่ม**

1. ระยะเวลาการบ่มเนื้อที่นานขึ้นจาก 1 7 และ 14 วัน มีผลทำให้ความนุ่มของเนื้อเพิ่มขึ้นในทุกๆ ระยะอย่างชัดเจน โดยแสดงผลจากค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (WB shear force) ที่ลดลงทุกๆระยะของการบ่ม

2. การย่อยสลายของ myofibrillar protein ในกลุ่มของ troponin-T1 (39 kDa) และ troponin-T2 (37 kDa) ลดลงในทุกๆระยะของการบ่มเนื้ออย่างชัดเจนและพบว่ามีการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของโปรตีนที่มีน้ำหนัก 30 kDa (troponin-$T_{product}$) เพิ่มขึ้นทุกๆระยะของการบ่ม โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3. ที่ระยะเวลาการบ่มที่นานขึ้นถึง 14 วันมีผลทำให้สีของเนื้อเปลี่ยนแปลงไป โดยพบว่าค่าสีของเนื้อที่วัดเป็นค่า L* (lightness), a* (redness) เพิ่มขึ้นอย่างเล็กน้อยแต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระยะ 7 และ 14 วัน ของการบ่มโดยทำให้สีแดงของเนื้อเข้มขึ้น และมีความสว่างมากขึ้นซึ่งไม่เป็นผลเสียต่อลักษณะปรากฏด้านสีของเนื้อ แต่พบว่าค่า b* (yellowness) สูงขึ้นในทุกๆระยะของการบ่มเนื้ออย่างชัดเจนซึ่งอาจเป็นผลเนื่องมาจากสีของไขมันแทรกในเนื้อเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากปฏิกิริยา auto-oxidation ของไขมันเมื่อระยะเวลาการบ่มที่นานขึ้น

**ข้อเสนอแนะ**

ในการศึกษาครั้งนี้มีข้อสังเกต และข้อเสนอแนะในประเด็นต่อไปนี้

1. ระยะเวลาการบ่มเนื้อ

เนื่องจากในการศึกษาครั้งนี้ใช้ระยะเวลาสำหรับการบ่มเนื้อเพียง 14 วัน จึงอาจจะไม่เพียงพอสำหรับการปรับปรุงคุณภาพเนื้อด้านความนุ่มให้แก่เนื้อโคในกลุ่ม indicus ได้ แต่เพียงพอสำหรับเนื้อโคกลุ่ม taurus จากรายงานของ Morgan *et al.* (1991) กล่าวว่า เนื้อโคที่จัดว่ามีความนุ่มในระดับที่ผู้บริโภคยอมรับได้ต้องมีค่าแรงตัดผ่านเนื้อต่ำกว่า 3.99 กิโลกรัม ซึ่งจากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าค่าแรงตัดผ่านเนื้อของเนื้อโค BG, BP และ TN ในวันที่ 14 ของการทดลองมีค่าอยู่ที่ 10.94 7.44 และ 10.08 กิโลกรัม ทั้งนี้หากมีการเพิ่มระยะเวลาการบ่มให้นานขึ้น อาจทำให้เนื้อโคกลุ่มนี้มีความนุ่มเพิ่มขึ้นได้

2. การตรวจสอบความนุ่มโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงของ troponin-T และ troponin-$T_{product}$ ในกล้ามเนื้อ

งานวิจัยครั้งนี้ใช้เทคนิค SDS-PAGE ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของ troponin-T และ troponin-$T_{product}$ ในเนื้อโคจากแต่ละระบบการผลิตที่ระยะเวลาการบ่มต่างกัน เนื่องจากเทคนิค SDS-PAGE เป็นการแยกโปรตีนออกจากกันโดยอาศัยน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันของโปรตีน ทั้งนี้ Negishi *et al.* (1996) ได้รายงานว่าแถบโปรตีนที่เห็นในแต่ละตำแหน่งที่เกิดจากการศึกษาด้วยเทคนิค SDS-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PAGE อาจไม่ได้มีแค่โปรตีนเพียงชนิดเดียวอยู่ ซึ่งโปรตีนคนละชนิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากัน หรือใกล้เคียงกันอาจลงมาอยู่ ณ ตำแหน่งเดียวกันก็เป็นได้

ดังนั้นหากต้องการแยกโปรตีนแต่ละชนิดออกจากกันอย่างชัดเจนควรเลือกใช้เทคนิคที่มีการบ่งชี้โปรตีนด้วย antibody ที่จับจำเพาะต่อโปรตีนชนิดนั้นๆ เช่นการใช้เทคนิค Western blotting

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บรรณานุกรม


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

จุฑารัตน์ เศรษฐกุล. 2539. **เอกสารประกอบการสอนวิชา วิทยาศาสตร์เนื้อสัตว์ขั้นสูง.** ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพมหานคร.

จุฑารัตน์ เศรษฐกุล และญาณิน โอภาสพัฒนกิจ. 2548. **คุณภาพเนื้อโคภายใต้ระบบการผลิตและการตลาดของประเทศไทย.** กรุงเทพมหานคร: สุพีเรียพริ้นติ้งเฮ้าส์

จุฑารัตน์ เศรษฐกุล, ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ และ ปีย์ชนิตร์ อินทรพรอุดม. 2551. " ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของซาร์โคเมียร์และความนุ่มของเนื้อโคขุนกำเพ็งเสนในระยะเวลาการบ่มต่างๆ ". หน้า 160-163. ใน **การประชุมวิชาการทางสัตวศาสตร์ ครั้งที่4.** ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ชัยณรงค์ คันธพนิต. 2529. **วิทยาศาสตร์เนื้อสัตว์.** ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร.

ดวงสิรินทร์ รักษาราษฎร์ ให้สัมภาษณ์ม 4 พฤศจายน 2551. ลลิศรา ศรีสุวรรณ ผู้สัมภาษณ์. **การศึกษาคุณภาพซาก และคุณภาพเนื้อโคลูกผสม Brahman เลือดสูง ที่ขุนด้วยเปลือก และเหง้าสับปะรด.** ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ธนนันท์ ศุภกิจจานนท์. 2547. " คุณภาพซาก และผลตอบแทนในการผลิตเนื้อโคคุณภาพสูงจากโคลูกผสมบราห์มัน". วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาสัตวศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร.

ปรารถนา พฤกษะศรี. 2548. **สาระน่ารู้เกี่ยวกับโคเนื้อ ชุดที่ 3 พันธุ์และการคัดเลือกโคพันธุ์.** กรุงเทพมหานคร: ก.พล (1996)

มาลัย จงเจริญ. 2546. " คุณภาพซาก และผลตอบแทนในการผลิตเนื้อโคคุณภาพสูง จากโคลูกผสมเลือด Charolais ". วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาสัตวศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร.

วรินธร มณีรัตน์. 2551. "อิทธิพลของพันธุ์ต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพซาก และผลตอบแทนทางเศรษกิจในการขุนโค ". วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาสัตวบาล บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตร์. กรุงเทพมหานคร.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิชิต พรหมอินทร์. 2549. " คุณภาพซากและคุณภาพเนื้อโคขุนภายใต้ระบบการผลิตของสหกรณ์โคเนื้อกำแพงแสน ". วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาสัตวศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพมหานคร.

ศรเทพ ธัมวาสร. 2539. **การเลี้ยงโคเนื้อ แนวทางการพัฒนาอาชีพของเกษตรกรไทย.** กรุงเทพมหานคร: ฟันนี่ พับบลิชชิ่ง

สมาคมโคเนื้อพันธุ์กำแพงแสน. 2544. **โคเนื้อพันธุ์กำแพงแสน.** กรุงเทพมหานคร: เฟื่องฟ้า พริ้นติ้ง

สุวิทย์ เทียรทอง. 2530. **หลักการเลี้ยงสัตว์.** กรุงเทพมหานคร: โอเดียนสโตร์

Anderson, J.R. 1999. " Optical measurements of pH in meat ". **Meat Sci.** 53: 135-141.

Bárány, M and Bárány, K. 2002. " **Biochemistry of muscle contraction** ". [Online]. Available: http://www.uic.edu/classes/phyb/phyb516/index.htm. 2008

Barham, B.L., Brooks, J.C., Blanton., J.R., Herring, A.D, Carr, M.A., Kerth, C.R. and Miller, M.F. 2003. " Effect of growth implants on consumer perceptions of meat tenderness in beef steers ". **J. Anim. Sci.** 81: 3052-3056.

Bertini, E., Salviati, G., Apollo, F., Ricci, E., Servidei, S., Broccolini, A., Papacci, M. and Tonali, P. 1994. " Reducing body myopathy and desmin storage in skeletal muscle : morphological and biochemical findings ". **J. Neurol Sci.** 87: 106-112.

Boakye, K and Mittal, G.S. 1995. " Changes in colour of beef M. longissimus dorsi muscle during ageing ". **Meat Sci.** 42 : 347-354.

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.

Bilak, S.R., Sernett, S.W., Bilak, M.M., Bellin, R.M., Stromer, M.H., Huiatt, T.W., and Robson, R.M. 1998. " Properties of the novel intermediated filament protein synemin and its identification in mammalian muscle ". **Arch. Biochem. Biophys.** 355: 63-76.

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

Chambaz, A., Scheeder, M.R.L., Kreuzer, M. and Dufey, P.A. 2003. " Meat quality of Angus, Simmental, Charolais and Limousin steers compared at the same intramuscular fat content ". **Meat Sci.** 63: 491-500.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Claeys, E., Uytterhaegen, L., Buts, B. and Demeyer, D. 1995. " Quantitation of beef myofibrillar protein by SDS – PAGE ". **Meat Sci.** 39: 177-193.

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.

Crossbridge cycle. 2008. [Online]. Available: http://physioweb.med.uvm.edu/muscle_physio/muscle _contraction/mscl_cntrct_crossbridge.htm. 2008

Davis, J.P., Rall, A.A., Alionte, C. and Tikunova, S.B. 2004. " Mutation of hydrophobic residues in the N-terminal domain of troponin C affect calcium binding and exchange with the troponin C-troponin $_{196\text{-}148}$ complex and muscle force production ". **J. Biol. Chem.** 17: 17348-17360.

De Smet, S., Cleays, E. and Rase, K. 2004. Workshop on quality and functionality of meat. [Slide]. Gent: University of Gent.

Dransfield, E., Wakefield, D.K. and Parkman, I. 1992. Modelling post-mortem tenderization-1. Texture of electrically stimulated and non-stimulates beef. ". **Meat Sci.** 31: 57-73.

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

Dunne, P.G., O'Mara, F.P., Monahan, F.J., French, P. and Moloney, A.P. 2005. " Colour of muscle from 18-mounth-old steers given long-term daily exercise ". **Meat Sci.** 71: 219-229

Etherington, D.J., Taylor, M.A. and Dranfield, E. 1987. " Conditoning of meat from different species: Relationship 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.

Foutz, C.P., Dolezal, H.G., Gardner, T.L., Gill, D.R., Hensley, J.L. and Morgan, J.B. 1997. " Anabolic implant effect on steer performance, carcass traits, subprimal yields, and longissimus muscle properties ". **J. Anim. Sci.** 75: 1256-1265.

Fry, A.C., Staron, R.S., James C.B., Hikida, R.S. and Hagerman, F.C. 1997. " Differential titin isoform expression in human skeletal muscle ". **Acta Physiol Scand.** 161: 473-479.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในโครงการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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.

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.

George-Evins, C.D., Unruh, J.A., Waylan, A.T. and Marsden, J.L. 2004. " Influence of quality classification, aging period, blade tenderization, and endpoint cooking temperature on cooking characteristics and tenderness of beef gluteus medius steaks " . **J. Anim. Sci.** 82: 1863-1867.

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., Thompson, V.F., Li, H., Wei, W. and Cong J. 2003. " The calpain system ". **Physiol Rev**. 83: 731-801.

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

Grove, B.K., Cerny, L., Perriard, J.C., Eppenberger, H.M., and Thornell, L.E. 1989. " Fiber type-specific distribution of M-band protein in chicken muscle ". **J. Histrochem. Cytochem.** 37: 447-454.

Grigen Naón, J.J., Schor, A., Cossu, M.E., Cervini, M.L. and Colombatto, D. 2007. " Relationship between short term energy supplementation and meat quality of steers in Argentina " 95-96. In Zhou,G.H. and Zhang, W.L. **Proceedings of 53rd international congress of meat science and technology**. Beijing: China Agricultural Universty.

Gruber, S.L., Tatum, J.D., Engle, T.E., Mitchell, M.A., Laudert, S.B., Schroeder, A.L. and Platter, W.J. 2007. " Effects of ractopamine supplementation on growth performance and carcass characteristics of feedlot steers differing in biological type ". **J. Anim. Sci.** 12 : 634-654.

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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Harper, S.Q., Crawford, R.W., Dellrusso, C. and Chamberlain, J.S. 2002. " Spectrin-like repeats from dystrophin and alphabactinin-2 not functionality interchangeable ". **Hum. Molec. Genet.** 11: 1807-1815.

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. and Robson, R.M. 1996. " Effects of electrical stimulation on postmortem Titin, Nebulin, Desmin, Troponin-T degradation and ultrastructural changes in bovine logissimus mussle ". **J. Anim. Sci.** 74: 1563-1575.

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., and Lonergan, S.M. 2005. " Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes ". **Meat Sci.** 71: 194-204.

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 postmortembovine muscle ". **J. Anim. Sci.** 74: 993-1008.

Human bio. 2008. [Online].Available: http://katie-humanbio.blogspot.com/2008/04/skeletal-muscle-fiber-contraction.html. 2008

Ilian, M.A., Bekhit, A.E. and Bickerstaffe, R. 2004. " The relationship between meat tenderization, myofibril fragmentation and autolysis of calpain 3 during post-mortem aging ". **Meat Sci.** 66: 387-397.

Jaturasitha, S., Thirawong, P., Leangwanta, V. and Kreuzer, M. 2004. " Reducing toughness of beef from Bos indicus draught steers by injection of calcium chloride: effect of concentration and time postmortem ". **Meat Sci.** 68: 61-69.

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 grass-legume (stylosanthes guianensis) pastures ". **Meat Sci.** xx:1-8.

Kerry, J., Kerry, J., and Ledward. 2002. **Meat processing improving quality**. Cambridge: Woodhead publishing.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Kerth, C.R., Braden, K.W., Cox, R., Kerth, L.K. and Rankins Jr, D.L. 2007. " Carcass, sensory, fat color and consumer acceptance characteristics of Angus-cross steers finished on ryegrass ( *Lolium multiflorum* ) forage or on a high-concentrate diet ". **Meat Sci.** 75: 324-331.

Killinger, K.M., Calkins, C.R., Umberger, W.J., Feuz, D.M. and Eskridge, K.M. 2004. " Consumer sensory acceptance and value for beef steaks of similar tenderness, but differing in marbling level ". **J. Anim. Sci.** 82: 3294-3301.

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

Kołczak,T., Pospiech, E., Palka, K., and Łącki, J. 2003. " Changes of myofibrillar and centrifugal drip and shear force of *psoas major* and *minor* and *semitendinosus* muscles from calves, heifers and cows during post-mortem ageing ". **Meat Sci.** 64: 69-75.

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.

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

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

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

Laflamme, L. and Burgess, T.D. 1973. " Effect of castration, ration and ormone implants on the performance of finishing cattle ". **J. Anim. Sci.** 36 : 762-767.

Lengerken, G von., Maak, S. and Wicke, M. 2002. " Muscle metabolism and meat quality of pigs and poultry ". **Vet. IR. Zootech.** 20: 82-86.

Livisay, S.A., Xiong, Y.L. and Moody, W.G. 1996. " Proteolytic activity and calcium effect in Dark-firm-dry and pale-soft-exudative meat ". **Lebensm. -Wiss. U. -Technol.** 29: 123-128.

Maddock, K.R., Huff-Lonergan, E., Rowe, L.J. and Lonergan, S.M. 2005. " Effect of pH ionic strength on μ-and m-calpain inhibition by calpastatin ". **J. Anim. Sci.** 83: 1370-1376.

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Me Elhinwy, A.S., Schwach, C., Valichrac, M., Mount-Patrick, S. and Gregorio, C.C. 2005. " Nebulin regulates the assembly and lengths of the thin filaments in striated muscle ". **J. Cell. Biol.** 170: 947-957.

Mersmann, H.I. 1998. " Overview of the effects of beta-adrenergic receptor agonists on animal growth including mechanisms of action ". **J. Anim. Sci.** 76: 160-172.

Morgan, J.B., Savell, J.W., Hale, D.S., Miller, R.K., Griffin, D.B., Cross, H.R. and Shackelford, S.D. 1991. " National beef tenderness survey ". **J. Anim. Sci.** 69: 3274-3283.

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.

Muir, P.D., Wallace, G.J., Dobbie, P.M. and Bown, M.D. 2000. " A comparison of animal performance and carcass and meat quality characteristics in Hereford x Friesian and Friesian steers grazed together at pasture ". **N. Z. J. Agri. Res.** 43: 193-205.

Muroya, S., Nakajima, I., Oe, M. and Chikuni, K. 2006. . " Difference in postmortem degradation pattern among troponin T isoforms expressed in bovine longissimuss, diaphragm and masseter muscle ". **Meat Sci.** 72: 245-251.

Muscle. 2008. [Online]. Available: http://www.exrx.net/ExInfo/Mscle.html. 2008

Myosin II. 2002. [Online]. Available: http://www.bms.cd.ac.uk. 2008

Neath, K.E., Del Barrio, A.N., Lapitan, R.M., Herrera, J.R.V., Cruz, L.C., Fujihara, T., Muroya, S., Chikuni, K., Hirabayashi, M., and Kanai, Y. 2007. " Difference in tenderness and pH decline between water buffalo meat and beef during postmortem aging ". **Meat Sci.** 75: 499-505.

Negishi, H., Yamamoto, E. and Kuwata, T. 1996. " The origin of the 30 kDa component appearing during post-mortem ageing of bovine muscle ". **Meat Sci.** 42: 289-303.

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

Ohashi, K., Ishikawa, K., and Maruyama, K. 1989. " I-protein forms cage-like aggregates of myosin in vitro ". **J. Biochem.** 106: 104-109.

Opatpatanakit, Y., Supakitjanon, T., Faengfu, A. and Sethakul, J. 2008. " Smallholder beef production and carcass quality of native Thai cattle in south central Thailand ". In Asian-Australasian association of animal production societies. **Proceedings of the 13th animal science congress of the Asian-Australasian association of animal production societies**. Hanoi: Animal husbandry association of Vietnam.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

O'Connor, S.F., Tatum, J.D., Wulf, D.M., Green, R.D. and Smith, G.C. 1997. " Genetic effect on beef tenderness in *Bos indicus* composite and *Bos Taurus* ". **J. Anim. Sci.** 75: 1822-1830.

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.

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.

Platter, W.J., Tatum, J.D., Belk, K.E., Chapman, P.L., Scanga, J.A. and Smith, G.C. 2003. " Relationships of consumer sensory ratings, marbling score, and shear force value to consumer acceptance of beef strip loin steaks ". **J. Anim. Sci.** 81: 2741-2750.

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

Priolo, A., Micol, D. and Agabriel, J. 2001. " Effect of grass feeding systems on ruminant meat colour and flavour. A review ". **Anim. Res.** 50: 185-200

Rhee, M.S., Ryu, Y.C., Imm J.Y. and Kim, B.C. 2000. " Combination of low voltage electrical stimulation and earlypostmortem temperature conditioning on degradation of myobrillar proteins in Korean native cattle (Hanwoo) ". **Meat sci.** 55: 391-396.

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

Savell, J.W. and Cross, H.R. 1988. " The role of fat in the palatability of beef, pork and lamp ". In **Designing foods: Animal product option in the marketplace**. Washington: National academy press.

Sawyer, J.E., Mathis, C.P. and Davis, B. 2004. " Effects of feeding strategy and age on live animal performance, carcass characteristics, and economics of short-term feeding programs for culled beef cows ". **J. Anim. Sci.** 82: 3646-3653.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sethakul, J., Opatpatanakit, Y., Sivapirunthep, P. and Intrapornudom, P. 2008. " Beef quality under production systems in Thailand: preliminary remarks ". In Asian-Australasian association of animal production societies. **Proceedings of the 13th animal science congress of the Asian-Australasian association of animal production societies.** Hanoi: Animal husbandry association of Vietnam.

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

Shackelford, S.D., Wheeler, T.L. and Koohmaraie, M. 1997. " Tenderness classification of beef: I. Evaluation of beef longissimus shear force at 1 or 2 days postmortem as a predictor of aged beef tenderness ". **J. Anim. Sci.** 75: 2417-2422.

Shahrabadi, M.S., and Lee, P.W.K. 1988. " Calcium requirement for syncytium formation in HEp 2 cells by respiratory syncytial virus ". **Am. Soc. Microbio.** 26: 139-141.

Shanks, B.C., Wulf, D.M. and Maddock, R.J. 2002. " Technical note: The effect of freezing on Warner-Bratzler shear force values of beef longissimus steaks across several postmortem aging periods ". **J. Anim. Sci.** 80: 2122-2125.

Silva, J.A., Patarata, L. and Martins, C. 1999. " Influence of ultimate pH on bovine meat tenderness during ageing ". **Meat Sci.** 52: 453-459.

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.

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

Strydom, P.E., Frylinck, L. and Smit, M.F. 2005. " Should electric stimulation be applied when cold shortening is not a risk? ". **Meat Sci.** 70: 733-742.

Swatland, H.J. 1997. Observation on rheological, electrical and optical changes during rigor development in pork and beef. **J. Anim. Sci.** 75: 975-985.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tuma, H.J., Henrickson, R.L., Stephens, D.F. and Moore, R. 1962a. " Influence of marbling and animal age on factors associated with beef quality ". **J. Anim. Sci.** 21 : 848-851.

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

Uriyapongson, S., Potchanapa, R., Sankaew, A., Tatong, T., Toburan, W. and Uriyapongson, J. 2005. " Comparative study on composition of meat, eating quality and appearance of loin from 4 Native Thai cattle ". T70. In Rowlinson, P., Wachirapakorn, C., Pakdee, P., and Wanapat, M. **Proceedings of AHAT/BSAS international conference**. Khon Kaen: Khon Kaen University.

Uytterhaegen, L., Claeys, E. and Demeyer, D. 1994. " Effects of exogenous protease effectors on beef tenderness development and myofibrillar degradation and solubility ". **J. Anim. Sci.** 72: 1209-1223.

Vandendriessche, F., Buts, B., Claey, E. and Dendooven, R. 1984. 110-111. " Sarcomere length by laser diffraction and light microscopy ". **Proceedings 30th European Meeting of Meat Research workers.** Gent: Gent University.

Viljoen, H.F., Kock, H.L. and Webb, E.C. 2002. " Consumer acceptability of dark, firm and dry (DFD) and normal pH beef steaks ". **Meat Sci.** 61: 181-185.

Warren, H.E., Scollan, N.D., Nute, G.R., Hughes, S.I., Wood, J.D. and Richardson, R.I. 2008. " Effects of breed and a concentrate or grass silage diet on beef quality in cattle of 3 ages. Ii: Meat stability and flavour ". **Meat Sci.** 78: 270-278.

Warriss, P.D. 2000. **Meat science an introductory text**. Wallingford: CABI.

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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Whipple, G. and Koohmaraie, M. 1991. " Degradation of myofibrillar proteins by extractable lysosomal enzymes and m-calpain, and the effects of zinc cholide ". **J. Anim. Sci.** 69: 4449-4460.

Winegrad, S. 1999. " Cardiac myosin binding protein C ". **Circ Res.** 84: 1117-1126.

Wu, A.H.B. 2004. " Role of cardiac troponin in the recent redefinition of acute myocardial Infarction ". **Clin. Lab. Sci.** 17: 50-52.

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

Xiong, Y.L., Moody, W.G., Blanchard, S.P., Liu, G. and Burris, W.R. 1996. " Postmortem proteolytic and organoleptic changes in hot – boned muscle from grass – and grain – fed and zeranol – implanted cattle ". **Food. Res.** 29: 27-34.

Yasuda, M., Koshida, S. Santo, N., and Obinata, T. 1995. " Complete primary of chicken cardiac C-protein (MyBP-C) and its expression in developing stiated muscle ". **J. Mol. Cell. Cardiol.** 27: 2275-2286.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ก การเตรียมสารเคมี

## การสกัดโปรตีนเส้นใยกล้ามเนื้อ

Solution

**STE solution (1L)**

- 0.25M Sucrose 85.6 g
- 1mM EDTA 0.37 g
- 0.05M Tris 6.05 g
- Distilled water 700 ml
- HCl

ละลาย Sucrose EDTA และ Tris ใน Distilled water จากนั้นปรับ pH ให้เป็น 7.6 ด้วยHCl และปรับปริมาตรให้ครบ 1ลิตร ด้วย Distilled water เก็บในตู้เย็น 20 °C

**TE solution (1L)**

- 1mM EDTA 0.37 g
- 0.05M Tris 6.05 g
- Distilled water 700 ml
- HCl

ละลาย EDTA และ Tris ใน Distilled water จากนั้นปรับ pH ให้เป็น 7.6 ด้วยHCl และปรับปริมาตรให้ครบ 1ลิตร ด้วย Distilled water เก็บในตู้เย็น 20 °C

**KCl solution 0.15M (1L)**

- KCl 11.20 g
- Distilled water

ละลาย KCl ใน Distilled water จากนั้นปรับปริมาตรให้ครบ 1ลิตร ด้วย Distilled water เก็บในตู้เย็น 20 °C

**Buffer solution (100 ml)**

- Imidazol 6.8 g
- SDS 2 g
- Distilled water 70 ml
- $H_3PO_4$

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละลาย Imidazol และ SDS ใน Distilled water จากนั้นปรับ pH ให้เป็น 7.6 ด้วย$H_3PO_4$ และปรับปริมาตรให้ครบ 100 ml ด้วย Distilled water เก็บในตู้เย็น 20 °C

**Sample buffer solution (1L)**

- Buffer solution 100 ml (ได้จากการเตรียม buffer solution)
- SDS 20 g
- 2 – mercapto – ethanol 20 ml
- Distilled water 700 ml

ผสม buffer solution, SDS และ 2 – mercapto – ethanol ใน Distilled water จากนั้นปรับปริมาตรให้ครบ 1L ด้วย Distilled water เก็บในตู้เย็น 20 °C

วิธีการ

ชั่งตัวอย่างเนื้อบด 2.5 g

↓

เติม STE solution 25 ml. คนให้เข้ากัน

↓

Homogenize

↓

Centrifuge 3500 rev/min นาน 10 นาที T 4 °C เทน้ำทิ้ง

↓

เติม TE solution 25 ml. คนให้เข้ากัน

↓

Centrifuge 3500 rev/min นาน 10 นาที T 4 °C เทน้ำทิ้ง

↓

เติม KCl solution 25 ml. คนให้เข้ากัน

↓

Centrifuge 3500 rev/min นาน 10 นาที T 4 °C เทน้ำทิ้ง

↓

เติม Sample buffer solution 30 ml. (คนให้เข้ากัน) นำเข้าเครื่อง Shaker ปล่อยทิ้งไว้ข้ามคืน ที่อุณหภูมิห้อง

↓

Centrifuge 3500 rev/min นาน 10 นาที T 4 °C

↓

เก็บเฉพาะส่วนที่เป็นน้ำใส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**การวิเคราะห์หาความเข้มข้นโปรตีน**

<u>เตรียมน้ำยาวัดโปรตีน</u>

- เจือจางน้ำยาวัดโปรตีน 1 ส่วน : Distilled water 4 ส่วน (น้ำยาวัดโปรตีน 50 ml : Distilled water 200 ml)
- เตรียม standard BSA ความเข้มข้น 0.1 0.2 0.4 0.6 0.8 mg/ml

| | | |
|---|---|---|
| - BSA 0.8 mg/ml | = | BSA 8 mg : Distilled water 10 ml ----① |
| - BSA 0.6 mg/ml | = | ① 750 µl : Distilled water 250 µl |
| - BSA 0.4 mg/ml | = | ① 500 µl : Distilled water 500 µl |
| - BSA 0.2 mg/ml | = | ① 250 µl : Distilled water 750 µl |
| - BSA 0.1 mg/ml | = | ① 125 µl : Distilled water 875 µl |

<u>การวัดความเข้มข้นโปรตีน</u>

- การวัดความเข้มข้น ของ standard BSA
  - น้ำยาวัดโปรตีน 300 µl
  - Standard BSA (0.1 0.2 0.4 0.6 และ 0.8) 10 µl
- การวัดความเข้มข้นของโปรตีนตัวอย่าง (myofibrillar protein solution)
  - น้ำยาวัดโปรตีน 300 µl
  - myofibrillar protein solution 10 µl
- การเตรียม Blank
  - น้ำยาวัดโปรตีน 300 µl
  - Distilled water 10 µl

**Gel electrophoresis**

<u>Solution</u>

**Tris 3M pH 8.8 (1L)**

- Tris 365 g
- Distilled water 700 ml
- HCl

ละลาย Tris ใน Distilled water จากนั้นปรับ pH ให้เป็น 8.8 ด้วย HCl และปรับปริมาตรให้ครบ 1ลิตร ด้วย Distilled water เก็บในตู้เย็น 20 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Tris 1.5M pH 8.8 (1L)**

- Tris 3M pH 8.8 500 ml
- Distilled water 500 ml

**Tris 0.5M pH 6.8 (1L)**

- Tris 60.6 g
- Distilled water 700 ml
- HCl

ละลาย Tris ใน Distilled water จากนั้นปรับ pH ให้เป็น 6.8 ด้วย HCl และปรับปริมาตรให้ครบ 1ลิตร ด้วย Distilled water เก็บในตู้เย็น 20 °C

**10 % SDS (10 ml)**

- SDS 1 g
- Distilled water 10 ml

**10 % Ammonium persulphate solution ; APS (1 ml)** (เตรียมใหม่ทุกครั้งที่ใช้)

- Ammonium persulphate 0.1 g
- Distilled water 1 ml

**1 % Bromophenol blue (10 ml)**

- Bromophenol blue 0.01 g
- Distilled water 10 ml

**Running buffer** (ใช้ผสม sample สำหรับ load ในอัตราส่วน running buffer 1 : sample 3 )

- 100 mM DTT 1 ml (1 หลอด)
- Distilled water 4,800 µl
- 0.5M Tris – HCl pH 6.8 1,200 µl
- Glycerol 1,000 µl
- 10% SDS 2,000 µl
- Bromophenol blue 500 µl

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Cathode buffer (5X) (1L)** (เวลาใช้ ให้เจือจางเป็น 1X)

- Glycine 144 g
- Tris 30 g
- SDS 5 g
- Distilled water 700 ml

ละลาย Glycine, Tris และ SDS ใน Distilled water จากนั้นปรับ ปริมาตร ให้ครบ 1ลิตร ด้วย Distilled water เก็บในตู้เย็น 20 °C

**Anode buffer pH 8.9 (5X) (1L)** (เวลาใช้ ให้เจือจางเป็น 1X)

- Tris 121.15 g
- Distilled water 700 ml
- HCl

ละลาย Tris ใน Distilled water ให้จากนั้นปรับ pH ให้เป็น 8.9 ด้วย HCl และปรับปริมาตรให้ครบ 1ลิตร ด้วย Distilled water เก็บในตู้เย็น 20 °C

**Stainning solution (2L)**

- Distilled water 1,560 ml
- Methanol 400 ml
- Phosphoric acid 40 ml
- Coomassie blue 2 g

**Destanning solution (3L)**

- Distilled water 2,100 ml
- Methanol 600 ml
- Acetic acid 300 ml

**BSA marker (2 µg / µl )(1 ml)** (ใช้ 1 µl สำหรับ load)

- Distilled water 1ml
- BSA 2 mg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Separating gel 15% (30 ml)**

- Distilled water 7,100 µl
- Tris 1.5M pH 8.8 7,500 µl
- 30% Acrylamide – Bis 15,000 µl
- 10% SDS 300 µl
- 10% APS 150 µl
- TEMED 100 µl
- Isopropanol 300 µl

ผสม Distilled water, Tris 1.5M pH 8.8, 30% Acrylamide – Bis, 10% SDS, 10% APSและ TEMEDให้เข้ากัน จากนั้นเทสารละลายใส่ใน slap gel ที่เตรียมไว้ แล้วเติม Isopropanol ลงไป ปล่อยทิ้งไว้ 20 นาที จากนั้นเทส่วนของ Isopropanol ทิ้ง แล้วจึงเทส่วนของ stacking gel ลง

**Stacking gel 4% (5 ml)**

- Distilled water 3,000 µl
- Tris 0.5M pH 6.8 1,250 µl
- 30% Acrylamide – Bis 670 µl
- 10% SDS 50 µl
- 10% APS 30 µl
- TEMED 10 µl

ผสมสารละลายทุกอย่างให้เข้ากัน จากนั้นเทใส่ใน slap gel ที่มี separating gel อยู่ เสียบ comb รอให้แห้ง (ประมาณ 2 ชั่วโมง) จึงสามารถนำไปใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ข ค่าทางสถิติ

**ภาคผนวกที่ ข1** ค่า pH ในกล้ามเนื้อสันนอกของเนื้อโคจากแต่ละระบบการผลิต ที่ระยะเวลาในการบ่ม 1 7 และ 14 วัน

| ระบบการผลิต | ระยะเวลาการบ่ม (วัน) | | |
|---|---|---|---|
| | 1 | 7 | 14 |
| KU | 5.61 | 5.59 | 5.58 |
| TF | 5.55 | 5.38 | 5.51 |
| BG | 5.57 | 5.51 | 5.52 |
| BP | 5.58 | 5.61 | 5.58 |
| TN | 5.67 | 5.58 | 5.55 |

**ภาคผนวกที่ ข2** ค่า L* ของกล้ามเนื้อสันนอกในเนื้อโคจากแต่ละระบบการผลิตที่ระยะเวลาในการบ่ม 1 7 และ 14 วัน

| ระบบการผลิต | ระยะเวลาการบ่ม (วัน) | | |
|---|---|---|---|
| | 1 | 7 | 14 |
| KU | 37.05 | 37.25 | 40.34 |
| TF | 40.02 | 43.06 | 44.12 |
| BG | 35.32 | 35.97 | 39.92 |
| BP | 40.34 | 41.28 | 43.13 |
| TN | 39.24 | 40.22 | 40.96 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาคผนวกที่ ข3** ค่าสี a* (redness) ของกล้ามเนื้อสันนอกในเนื้อโคจากแต่ละระบบการผลิตที่ระยะเวลาในการบ่ม 1 7 และ 14 วัน

| ระบบการผลิต | ระยะเวลาการบ่ม (วัน) | | |
|---|---|---|---|
| | 1 | 7 | 14 |
| KU | 14.62 | 18.31 | 18.22 |
| TF | 21.43 | 24.07 | 23.31 |
| BG | 15.61 | 19.54 | 20.32 |
| BP | 16.54 | 18.50 | 19.68 |
| TN | 15.18 | 15.60 | 16.08 |

**ภาคผนวกที่ ข4** ค่าสี b* (yellowness) ของกล้ามเนื้อสันนอกในเนื้อโคจากแต่ละระบบการผลิตที่ระยะเวลาในการบ่ม 1 7 และ 14 วัน

| ระบบการผลิต | ระยะเวลาการบ่ม (วัน) | | |
|---|---|---|---|
| | 1 | 7 | 14 |
| KU | 4.65 | 7.36 | 8.70 |
| TF | 8.95 | 11.26 | 11.65 |
| BG | 4.92 | 8.07 | 9.14 |
| BP | 6.05 | 7.47 | 8.91 |
| TN | 4.51 | 5.80 | 6.45 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาคผนวกที่ ข5** ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (กิโลกรัม) ในกล้ามเนื้อสันนอกของเนื้อโคแต่ละระบบการผลิต ที่ระยะเวลาในการบ่ม 1 7 และ 14 วัน

| ระบบการผลิต | ระยะเวลาการบ่ม (วัน) | | |
|---|---|---|---|
| | 1 | 7 | 14 |
| KU | 7.30 | 5.08 | 4.39 |
| TF | 4.70 | 3.67 | 2.88 |
| BG | 16.51 | 13.97 | 10.94 |
| BP | 10.85 | 8.63 | 7.44 |
| TN | 16.69 | 14.54 | 10.08 |

**ภาคผนวกที่ ข6** ปริมาณของโปรตีน troponin-T1 (39 kDa) ในเนื้อโคจากแต่ละระบบการผลิตที่ ระยะเวลาการบ่ม 1 7 และ 14 วัน (µg BSA-equivalent)

| ระบบการผลิต | ระยะเวลาการบ่ม (วัน) | | |
|---|---|---|---|
| | 1 | 7 | 14 |
| KU | 3.02 | 2.45 | 1.73 |
| TF | 3.33 | 2.53 | 2.16 |
| BG | 3.62 | 3.61 | 2.96 |
| BP | 3.38 | 3.05 | 2.53 |
| TN | 3.38 | 2.74 | 2.42 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาคผนวกที่ ข7** ปริมาณของโปรตีน troponin-T2 (37 kDa) ในเนื้อโคจากแต่ละระบบการผลิตที่ระยะเวลาการบ่ม 1 7 และ 14 วัน (μg BSA-equivalent)

| ระบบการผลิต | ระยะเวลาการบ่ม (วัน) | | |
|---|---|---|---|
| | 1 | 7 | 14 |
| KU | 2.15$^{c}$ | 1.97$^{cd}$ | 1.51$^{d}$ |
| TF | 2.58$^{bc}$ | 0.84$^{e}$ | มป. |
| BG | 3.56$^{a}$ | 3.25$^{ab}$ | 3.02$^{ab}$ |
| BP | 2.64$^{bc}$ | 2.45$^{bc}$ | 1.85$^{cd}$ |
| TN | 3.53$^{a}$ | 3.01$^{ab}$ | 2.80$^{b}$ |

มป. = ไม่ปรากฏแถบ

$^{a, b, c, d, e}$ = ตัวอักษรที่แตกต่างกันภายในตาราง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

**ภาคผนวกที่ ข8** ปริมาณของโปรตีน troponin – $T_{product}$ (30 kDa) ในเนื้อโคจากแต่ละระบบการผลิตที่ระยะเวลาการบ่ม 1 7 และ 14 วัน (μg BSA-equivalent)

| ระบบการผลิต | ระยะเวลาการบ่ม (วัน) | | |
|---|---|---|---|
| | 1 | 7 | 14 |
| KU | 2.00 | 2.82 | 4.41 |
| TF | 1.84 | 2.90 | 3.79 |
| BG | 2.42 | 3.59 | 3.84 |
| BP | 1.07 | 1.73 | 2.08 |
| TN | 3.11 | 4.00 | 4.94 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ประวัติผู้เขียน

| | |
|---|---|
| **ชื่อ-นามสกุล** | นางสาวลลิศรา ศรีสุวรรณ |
| **วัน/เดือน/ปีเกิด** | วันที่ 23 เมษายน 2524 |
| **ที่อยู่** | เลขที่ 55 ซอย ลาดพร้าว 99 ถนน ลาดพร้าว แขวง/เขต วังทองหลาง กรุงเทพฯ 10310 |
| **ประวัติการศึกษา** | 2538 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนสตรีศึกษา<br>2541 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสตรีศึกษา<br>2543 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) สาขาสัตวศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพระนครศรีอยุธยา หันตรา<br>2545 ปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพสัตว์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตปทุมธานี |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้