ผลของการเสริม rumen-protected methionine หรือ rumen-protected methionine ร่วมกับแร่ธาตุอินทรีย์ ต่อผลผลิตน้ำนมในโคนม

นายปกรณ์ กลางนอก

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2553

EFFECTS OF RUMEN-PROTECTED METHIONINE OR RUMEN-PROTECTED METHIONINE PLUS ORGANIC MINERALS SUPPLEMENTATION ON PERFORMANCE OF DAIRY COWS

Pakorn klangnork

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

Suranaree University of Technology

Academic Year 2010

ผลของการเสริม rumen-protected methionine หรือ rumen-protected methionine ร่วมกับแร่ธาตุอินทรีย์ ต่อผลผลิตน้ำนมในโคนม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

_____

(ผศ. ดร.ปราโมทย์ แพงคำ)
ประธานกรรมการ

_____

(รศ. ดร.วิศิษฐิพร สุขสมบัติ)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

_____

(ผศ. ดร.พิพัฒน์ เหลืองลาวัณย์)
กรรมการ

_____

(อ. ดร.อมรรัตน์ โมฬี)
กรรมการ

_____

(อ. ดร.วุฒิ ด่านกิตติกุล)
รักษาการแทนรองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

_____

(ผศ. ดร.สุเวทย์ นิงสานนท์)
คณบดีสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

ปกรณ์ กลางนอก : ผลของการเสริม rumen-protected methionine หรือ rumen-protected methionine ร่วมกับแร่ธาตุอินทรีย์ ต่อผลผลิตน้ำนมในโคนม (EFFECTS OF RUMEN-PROTECTED METHIONINE OR RUMEN-PROTECTED METHIONINE PLUS ORGANIC MINERALS SUPPLEMENTATION ON PERFORMANCE OF DAIRY COWS) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.วิศิษฐิพร สุขสมบัติ, 144 หน้า

วิทยานิพนธ์นี้ศึกษาถึงการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ที่ระดับ 0, 11 และ 22 กรัม/ตัว/วัน และการศึกษาผลของการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ที่ระดับ 22 กรัม/ตัว/วัน ร่วมกับแร่ธาตุอินทรีย์ (MINTREX®) ที่ระดับ 14 กรัม/ตัว/วัน ต่อผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมตลอดจนปริมาณของกรดไขมันในน้ำนม และเซลล์เม็ดเลือดขาวในน้ำนม รวมถึงการศึกษาเกี่ยวกับการหมักย่อยในกระเพาะหมัก โดยทำการทดลองในโคนมลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชียน

การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ในอาหารโคนมต่อการกินได้ของวัตถุแห้ง การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว ผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบทางเคมีในน้ำนม กรดไขมันในน้ำนม และการหมักย่อยในกระเพาะหมักของโคนม โดยใช้โคนมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีจำนวน 21 ตัว โดย มีจำนวนวันของการให้นมเฉลี่ย 103±53 วัน ปริมาณน้ำนมเฉลี่ย 12.5±3 กิโลกรัม/วัน อายุเริ่มต้นในการทดลองเฉลี่ย 58±19 เดือน น้ำหนักเฉลี่ย 412±56 กิโลกรัม แบ่งสัตว์ออกเป็น 3 กลุ่มการทดลอง กลุ่มละ 7 ตัว โดยทำการ block ด้วย จำนวนท้อง และทำการปรับสมดุลในแต่ละกลุ่มด้วยจำนวนวันที่ให้นม ปริมาณน้ำนมเริ่มต้นและน้ำหนักตัวเริ่มต้น โดยที่กลุ่มควบคุมไม่ได้รับการเสริม MHA® และได้รับอาหาร TMR วันละ 17.4 kgDM (อาหารข้น ข้าวโพดหมัก และหญ้าสด 7, 6 และ 30 กิโลกรัม ตามลำดับ) กลุ่มการทดลองที่ 1 ได้รับการเสริม MHA® ที่ระดับ 11 กรัม/ตัว/วัน และกลุ่มการทดลองที่ 2 ได้รับการเสริม MHA® ที่ระดับ 22 กรัม/ตัว/วัน จากผลการทดลองพบว่า การกินได้ของวัตถุแห้ง โปรตีนที่ได้รับจากอาหาร ความต้องการพลังงานเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ ของโคนม การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว รวมไปถึงระดับความเป็นกรด-ด่าง ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน และความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ภายในของเหลวในกระเพาะหมัก ผลผลิตน้ำนม และองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) และในการเสริม MHA® ที่ระดับ 11 กรัม/ตัว/วัน มีผลทำให้การกินได้ของวัตถุแห้ง และโปรตีนต่อน้ำหนักตัวเมแทบอลิก (g/kg $W^{0.75}$) ลดต่ำลง แต่มีผลทำให้สัดส่วนของกรดไขมันในน้ำนม ได้แก่ C4:0, C18:1n9c, C21:0 และ UFA (unsaturated fatty acid) เพิ่มขึ้น ส่วน C18:3n3 และ SFA (saturated fatty acid) ลดต่ำลง โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และ

การเสริม MHA®ที่ระดับ 22 กรัม/ตัว/วัน ไม่มีผลต่อ C18:1n9c, C18:3n3, UFA และ SFA แต่มีผลทำให้ C4:0 และ C21:0 เพิ่มสูงขึ้น โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

การทดลองที่ 2 การศึกษาผลของการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ร่วมกับแร่ธาตุอินทรีย์ (MINTREX®) ในอาหารโคนมต่อประสิทธิภาพในการผลิตโคนม โดยใช้โคนมลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชียน 24 ตัว ซึ่งมีจำนวนวันของการให้นมเฉลี่ย 38.8±5.9 วัน ปริมาณน้ำนมเฉลี่ย 16.6±1.13 กิโลกรัม/วันน้ำหนักเฉลี่ย 402±16 กิโลกรัม ทำการจัดสัตว์เข้างานทดลองโดยปรับสมดุลในแต่ละกลุ่มการทดลองด้วยจำนวนวันที่ให้นม ปริมาณน้ำนม และน้ำหนักเริ่มต้น โดยทำการแบ่งโคออกเป็น 2 กลุ่มการทดลอง ในแต่ละกลุ่มการทดลองจะมีโคกลุ่มละ 12 ตัว ได้แก่ กลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ได้รับการเสริม MHA® ที่ระดับ 22 กรัม/ตัว/วัน ร่วมกับ MINTREX® ที่ระดับ 14 กรัม/ตัว/วัน จากผลการทดลองพบว่า การกินได้ของวัตถุแห้ง การกินได้ของโปรตีน การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว ผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม และจำนวนเซลล์เม็ดเลือดขาวในน้ำนม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ปีการศึกษา 2553 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม_____

PAKORN KLANGNORK : EFFECTS OF RUMEN-PROTECTED-METHIONINE OR RUMEN-PROTECTED-METHIONINE PLUS ORGANIC MINERALS SUPPLEMENTATION ON PERFORMANCE OF DAIRY COWS. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. WISITIPORN SUKSOMBAT, Ph.D., 144 PP.

MILK FATTY ACIDS/MILK COMPOSITION/MET HYDROXY ANALOG/ ORGANIC MINERALS/MILK PRODUCTION/SOMATIC CELL COUNT/ DAIRY COWS

The objective of this study was to determine the effects of rumen-protected methionine or rumen-protected methionine plus organic minerals supplementation on milk production, milk composition, milk fatty acids and somatic cell count in crossbred Holstein Friesian dairy cows. This research was divided into 2 experiments.

The first experiment was to investigate the effects of feeding Met hydroxy analog (MHA®) supplementation to dairy cow on dry matter intake, live weight change, milk yield, milk composition, milk fatty acid and rumen ecology. Twenty one Holstein Friesian crossbred (>87.5% Holstein Friesian) lactating dairy cows, averaging 103 $\pm$ 53 days in milk, 12.5 $\pm$ 3.0 kg of milk, 58 $\pm$ 19 mo old and 412 $\pm$ 56 kg body weight (BW), were blocked by parity first and then stratified and balanced for milking days, milk yield, age and body weight into three groups of 7 cows each. The first group (control) received approximately 17.4 kgDM of total mixed ration (TMR). TMR comprised approximately 7, 6 and 30 kg of commercial concentrate, corn silage and fresh cut grass respectively. The second group was fed the same basal diet as the control group and supplemented with 11 g/d of Met hydroxy analog (MHA®). The

third group was fed the same basal diet as control group and supplemented with 22 g/d of Met hydroxy analog (MHA®). Performance parameters showed that DM, CP and NE_L intakes, final body weight and live weight change were similar in all treatments. Milk yield and milk composition were unaffected, however, the second group supplemented with 11 g/d of Met hydroxy analog (MHA®) showed significant increases in C4:0, C18:1n9c, C21:0 and UFA but decreases in C18:3n3 and SFA, when compared to the control group. The third group supplemented with 22 g/d of Met hydroxy analog (MHA®) also showed significant increases in C4:0 and C21:0 when compared to the control group.

The second experiment was to investigate the effects of feeding Met hydroxy analog (MHA®) plus MINTREX® Dairy on performance of lactating dairy cows. Twenty four Holstein Friesian crossbred lactating dairy cows, averaging 38.8 ± 5.9 days in milk, 16.6 ± 1.13 kg of milk and 402 ± 16 kg body weight were stratified and randomly assigned into two treatments of 12 cows each. The treatments were control and 22 g/d of MHA® + 14 g/d of MINTREX® Dairy supplementation. Performance parameters showed that DM and CP intakes, live weight change, milk yield, milk composition and somatic cell count were similar.

School of Animal Production Technology Student's Signature _____

Academic Year 2010 Advisor's Signature _____

Co-advisor's Signature_____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัยต่าง ๆ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วิศิษฐิพร สุขสมบัติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้โอกาสและทุนการศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา ให้คำแนะนำและแนวคิดที่เป็นประโยชน์ทั้งในด้านวิชาการ ด้านการดำเนินการวิจัย ตลอดจนคำแนะนำในการเขียนวิทยานิพนธ์ การตรวจแก้วิทยานิพนธ์และสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินการวิจัยจนเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิพัฒน์ เหลืองลาวัณย์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำและตรวจแก้วิทยานิพนธ์ และกราบขอบพระคุณอาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ตลอดจนอาจารย์ทุก ๆ ท่านที่ได้กรุณาอบรมสั่งสอน ถ่ายทอดความรู้และประสบการณ์ต่าง ๆ จนเกิดความรู้และปัญญา

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา ซึ่งให้การสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงานวิจัย ขอขอบคุณฟาร์มมหาวิทยาลัย อาคารศูนย์เครื่องมือและเทคโนโลยี 3 รวมทั้งพี่ ๆ บุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ เครื่องมือ อุปกรณ์และอำนวยความสะดวกต่าง ๆ รวมถึงคำปรึกษาให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับการวิเคราะห์ข้อมูล

ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ พี่ ๆ และ น้อง ๆ สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในงานวิจัยครั้งนี้

ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การเลี้ยงดูอบรม ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าตลอดมา จนทำให้ประสบความสำเร็จในการศึกษา

ปกรณ์ กลางนอก

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... จ
สารบัญ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ฏ
สารบัญภาพ ..... ฑ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ..... ฒ

บทที่

1. บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2
1.3 สมมติฐานของการวิจัย 2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
1.6 เอกสารอ้างอิง 3
2. ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 Limiting essential amino acids 4
2.2 Ruminally protected amino acid 8
2.3 แร่ธาตุปลีกย่อย 12
2.3.1 บทบาททางสรีรวิทยาของแร่ธาตุปลีกย่อย 12
2.3.1.1 ทองแดง (Copper, Cu) 13
2.3.1.2 สังกะสี (Zinc, Zn) 14
2.3.1.3 แมงกานีส (Manganese, Mn) 16
2.3.1.4 ซิลิเนียม (Selenium, Se) 17
2.3.2 การเสริมแร่ธาตุปลีกย่อยในอาหารโคนมที่มีผลต่อผลผลิตน้ำนม 18

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4 แร่ธาตุอินทรีย์ 20
2.4.1 แร่ธาตุอินทรีย์ เต้านมอักเสบ และเซลล์เม็ดเลือดขาว (Organic Minerals, Mastitis, and Somatic Cell Counts) 20
2.4.2 แร่ธาตุอินทรีย์กับการสืบพันธุ์ (Organic Minerals and Reproduction) 23
2.5 ความต้องการพลังงาน 24
2.5.1 หน่วยของพลังงาน 24
2.5.1.1 โภชนะย่อยได้ทั้งหมด (Total Digestible Nutrients, TDN) 24
2.5.1.2 Calorie System 24
2.5.2 การจำแนกประเภทของพลังงาน 25
2.5.2.1 พลังงานรวม หรือ Gross energy (GE) 25
2.5.2.2 พลังงานย่อยได้ (Digestible energy, DE) 25
2.5.2.3 พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (Metabolisable energy, ME) 25
2.5.2.4 พลังงานสุทธิ (Net energy) 26
2.5.3 ขั้นตอนของพลังงาน 29
2.5.4 การประเมินคุณค่าทางพลังงานตาม NRC (2001) 30
2.5.4.1 พลังงานจาก NFC 31
2.5.4.2 พลังงานจากโปรตีน 32
2.5.4.3 พลังงานจากไขมัน 33
2.5.4.4 พลังงานจาก NDF 33
2.5.4.5 การประมาณค่า DE 36
2.5.4.6 การประมาณค่าพลังงานสุทธิ (Net energy, NE_L) 38
2.5.5 ความต้องการโปรตีนในโคนม 39
2.5.5.1 การคำนวณโปรตีนในอาหาร 39
2.5.5.2 การคำนวณความต้องการโปรตีนในตัวโคนม 40
2.6 การให้น้ำนมของโค 43
2.6.1 การสังเคราะห์นม (Milk synthesis) 43
2.6.1.1 การสังเคราะห์โปรตีนนม (Milk Protein Synthesis) 43

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6.1.2 การสังเคราะห์แล็คโตส (Lactose Synthesis).....45
2.6.1.3 การสังเคราะห์ไขมันนม (Milk Fat Synthesis).....46
2.7 การเกิดเต้านมอักเสบ.....48
2.7.1 อาการของโรคเต้านมอักเสบ.....49
2.7.2 การรีดนมกับปัญหาเต้านมอักเสบ.....49
2.8 ปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตและองค์ประกอบของน้ำนมดิบ.....51
2.8.1 ปัจจัยทางสรีรวิทยา.....51
2.8.1.1 ลักษณะทางพันธุกรรม.....51
2.8.1.2 อายุ.....52
2.8.1.3 วงรอบของการเป็นสัตว์ และการตั้งท้อง.....52
2.8.2 ปัจจัยเกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม.....52
2.8.2.1 อุณหภูมิและความชื้น.....52
2.8.2.2 ฤดูกาล.....53
2.8.2.3 ระยะพักการให้นม (Dry period).....53
2.8.2.4 การรีดนม.....53
2.8.2.5 อาหารและการให้อาหาร.....53
2.9 รายการอ้างอิง.....54
3. การศึกษาผลของการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ในอาหารโคนม ต่อผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบทางเคมี และกรดไขมันในน้ำนมของโคนม.....65
3.1 คำนำ.....65
3.2 วัตถุประสงค์.....66
3.3 อุปกรณ์และวิธีการ.....67
3.3.1 การจัดสัตว์ทดลองและการให้อาหาร.....67
3.3.2 วิธีการทดลองและเก็บข้อมูล.....68
3.3.2.1 การกินได้.....68
3.3.2.2 น้ำหนักตัว.....68

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.2.3 ผลผลิตและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม 68
3.3.2.4 การเก็บของเหลวจากกระเพาะหมัก 69
3.3.3 การศึกษาองค์ประกอบและปริมาณของกรดไขมัน
ในอาหารและในไขมันนม.....70
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....72
3.5 สถานที่ทำการทดลอง 72
3.6 ระยะเวลาในการทดลอง 72
3.7 ผลการทดลอง 72
3.7.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร.....72
3.7.2 ปริมาณการกินได้ของโคนม 77
3.7.3 การประมาณค่าโปรตีนและพลังงานของโคนมที่ได้รับอาหาร TMR.....78
3.7.4 น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง.....82
3.7.5 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน
ของของเหลวในกระเพาะหมัก 82
3.7.6 ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acid; VFAs)
ของของเหลวในกระเพาะหมัก 83
3.7.7 ปริมาณน้ำนมและปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม 85
3.7.8 องค์ประกอบของกรดไขมันในอาหาร TMR และในน้ำนม
(% of total fatty acid) 87
3.8 วิจารณ์ผลการทดลอง.....90
3.8.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร 90
3.8.2 ปริมาณการกินได้ของโคนม 90
3.8.3 การประมาณค่าโปรตีนและพลังงานของโคนมที่ได้รับอาหาร TMR.....90
3.8.4 น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง.....92
3.8.5 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน
ของของเหลวในกระเพาะหมัก.....92

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.8.6 ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acid; VFA) ของเหลวในกระเพาะหมัก 93
3.8.7 ปริมาณน้ำนมและปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม....94
3.8.8 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำนม....96
3.9 สรุปผลการทดลอง....96
3.10 รายการอ้างอิง....97
4. การศึกษาผลของการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ร่วมกับแร่ธาตุอินทรีย์ (MINTREX®) ในอาหารโคนมต่อประสิทธิภาพในการผลิตโคนม....102
4.1 คำนำ....102
4.2 วัตถุประสงค์....103
4.3 อุปกรณ์และวิธีการ....104
4.3.1 การจัดการสัตว์ทดลองและการให้อาหาร....104
4.3.2 วิธีการทดลองและเก็บข้อมูล....104
4.3.2.1 การกินได้....105
4.3.2.2 น้ำหนักตัว....105
4.3.2.3 ผลผลิตและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม....105
4.3.2.4. วัดค่า Somatic cell count ในน้ำนม....106
4.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ....106
4.5 สถานที่ทำการทดลอง....106
4.6 ระยะเวลาในการทดลอง....106
4.7 ผลการทดลอง....106
4.7.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร....106
4.7.2 ปริมาณการกินได้ของโคนม....108
4.7.3 การประมาณค่าพลังงานของโคนมที่ได้รับจากอาหารสูตรทดลอง....109
4.7.4 น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง....110
4.7.5 ปริมาณน้ำนมและปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม....111
4.8 วิจารณ์ผลการทดลอง....113

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.8.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร....113
4.8.2 ปริมาณการกินได้ของโคนม....113
4.8.3 การประมาณค่าพลังงานของโคนมที่ได้รับจากอาหารสูตรทดลอง....114
4.8.4 น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง....114
4.8.5 ปริมาณน้ำนมและปริมาณองค์ประกอบของน้ำนม....114
4.9 สรุปผลการทดลอง....116
4.10 รายการอ้างอิง....117
5. สรุปและข้อเสนอแนะ....122
ภาคผนวก....125
ภาคผนวก ก การประเมินพลังงานและโปรตีน....125
ภาคผนวก ข ตารางวิเคราะห์วาเรียนซ์....135
ประวัติผู้เขียน....144

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ผลการเสริม ruminally protected Met ต่อผลผลิตในโคนม....11
2.2 ผลของการเสริม mineral proteinate (Bioplex) ต่อจำนวนเซลล์เม็ดเลือดขาวในน้ำนม....22
2.3 กระบวนการปรับปัจจัย (Processing adjustment factors, PAF) สำหรับ NFC (NRC, 2001)....32
2.4 ประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีนหยาบเพื่อใช้ในการประมาณค่า TDN_{1X} สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสัตว์ (NRC, 2001)....35
2.5 ประสิทธิภาพการย่อยได้เพื่อการดำรงชีพ (Assumed 8% increase in digestibility compared with 3X maintenance) สำหรับอาหารสัตว์จากพวกไขมัน (NRC, 2001)....35
3.1 แสดงลักษณะที่ใช้ในการจัดกลุ่มโคก่อนการทดลอง....67
3.2 องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร TMR....73
3.3 คุณค่าทางพลังงานในสูตร TMR....74
3.4 การย่อยสลายวัตถุแห้งของอาหาร TMR (อาหารข้น, ข้าวโพดหมัก และหญ้าสด)....75
3.5 การย่อยสลายโปรตีนของอาหาร TMR (อาหารข้น, ข้าวโพด และหญ้าสด)....76
3.6 เปอร์เซ็นต์การย่อยสลายวัตถุแห้งและการย่อยสลายโปรตีนของอาหาร TMR (อาหารข้น, ข้าวโพดหมัก และหญ้าสด)....77
3.7 ผลของการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ต่อปริมาณการกินได้ของโคนม....73
3.8 ปริมาณโปรตีนที่ได้รับจากอาหารและความต้องการของโคนม....80
3.9 พลังงานที่โคนมต้องการเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ และที่โคนมได้รับจากอาหาร....81
3.10 ผลของการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว....82
3.11 ผลของการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับความเป็นกรด-ด่าง (pH) และแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) ภายในกระเพาะหมักที่เวลาต่าง ๆ หลังการให้อาหาร....83
3.12 ผลของการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ต่อความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acid; VFAs) ของของเหลวในกระเพาะหมักที่เวลาต่าง ๆ หลังการให้อาหาร....85

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

3.13 ผลของการเสริมเสริม Met hydroxyl analog (MHA®) ต่อปริมาณผลผลิตน้ำนม และองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมในโคนม....86

3.14 ผลของการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ต่อองค์ประกอบของน้ำนมในโคนม....87

3.15 ปริมาณของกรดไขมันในอาหาร TMR (% of total fatty acid)....88

3.16 ผลของการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำนม (% of total fatty acid) 89

4.1 แสดงลักษณะที่ใช้ในการจัดกลุ่มโคก่อนการทดลอง....104

4.2 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารข้นสำเร็จรูป และหญ้าสด....107

4.3 คุณค่าทางพลังงานในสูตรอาหารข้นสำเร็จรูป และหญ้าสด 108

4.4 ผลของการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ร่วมกับ MINTREX® ต่อ ปริมาณการกินได้ของโคนม 109

4.5 พลังงานที่โคนมต้องการเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ และที่โคนมได้รับจากอาหาร....105

4.6 ผลของการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ร่วมกับ MINTREX® ต่อ การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว 110

4.7 ผลของการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ร่วมกับ MINTREX® ต่อ ปริมาณผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมในโคนม 112

4.8 ผลของการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ร่วมกับ MINTREX® ต่อ องค์ประกอบ ของน้ำนมในโคนมและจำนวนเซลลเม็ดเลือดขาว 112

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1 ขั้นตอนการจำแนกพลังงานประเภทต่าง ๆ 29
2.2 แสดงสัดส่วนโดยประมาณของพลังงานที่สูญเสียและที่ใช้เพื่อกิจกรรมต่าง ๆ ในโคนม 30
2.3 กลไกการทำงานของเครื่องรีดนม 50

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ADF	=	Acid detergent fiber
ADICP	=	Acid detergent insoluble crude protein
ADIN	=	Acid detergent insoluble N
ADL	=	Acid detergent lignin
C4:0	=	Butyric acid
C6:0	=	Caproic acid
C8:0	=	Caprylic acid
C10:0	=	Capric acid
C11:0	=	Cis-10-Pentadecenoic acid
C12:0	=	Lauric acid
C13:0	=	Tridecanoic acid
C14:0	=	Myristic acid
C14:1	=	Myristoleic acid
C15:0	=	Pentadecanoic acid
C16:0	=	Palmitic acid
C16:1	=	Palmitoleic acid
C17:1	=	Heptadecenoic Acid
C18:0	=	Stearic acid
C18:1n9t	=	Elaidic acid
C18:1n9c	=	Oleic acid
C18:2n6c	=	Linoleic acid
C18:3n3	=	α -Linoleic acid
C20:0	=	Arachidic acid
C20:1	=	Gondoic acid
C21:0	=	Heneicosanoic acid
DL-Met	=	DL- methionine
FCM	=	Fat corrected milk

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

HMB	=	2-hydroxy-4-(methylthio)-butanoic acid
HMBi	=	isopropyl-2-hydroxy-4-(methylthio)-butanoic acid
DL-Met	=	DL- methionine
FCM	=	Fat corrected milk
HMB	=	2-hydroxy-4-(methylthio)-butanoic acid
HMBi	=	isopropyl-2-hydroxy-4-(methylthio)-butanoic acid
M85	=	Mepron 85
NDF	=	Neutral detergent fiber
NDICP	=	Neutral detergent insoluble crude protein
NDIN	=	Neutral detergent insoluble N
NE	=	Net energy
NFC	=	Non-fiber carbohydrate
NPN	=	Non protein nitrogen
NRC	=	National research council
RDP	=	Rumen degradable protein
RDPreq	=	Rumen degradable protein requirement
RDPsup	=	Rumen degradable protein supply
RP-Met	=	ruminally protected Met
RUP	=	Rumen undegradable protein
RUPreq	=	Rumen undegradable protein requirement
RUPsup	=	Rumen undegradable protein supply
SmM	=	Smartamine
tdCP	=	Truly digested crude protein

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การเลี้ยงโคนมในประเทศไทยนั้นเป็นอาชีพหนึ่งที่เกษตรกรนิยมเลี้ยงเป็นจำนวนมาก ปัจจุบันมีการเลี้ยงกันอย่างแพร่หลายในทุกภูมิภาคของประเทศไทย โดยหลังจากที่รัฐบาลได้มีการส่งเสริมการทำการปศุสัตว์มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2535 เป็นต้นมา การเลี้ยงโคนมในประเทศก็มีการเติบโตและมีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง แต่พบว่าปัญหาที่เกี่ยวกับการเลี้ยงโคนมในประเทศไทยนั้น มีอัตราการให้ผลผลิตน้ำนมต่ำ และองค์ประกอบของน้ำนมรายฟาร์มโดยรวมนั้นยังถือว่าต่ำกว่ามาตรฐาน โดยพบว่ามีจำนวนฟาร์มที่มีค่าไขมันต่ำกว่ามาตรฐานอยู่ระหว่างร้อยละ 24-39 และค่าโปรตีนต่ำกว่ามาตรฐานอยู่ระหว่างร้อยละ 13-39 (สุรยุทธ ทรงสุหมัด, อรรถยา เกียรติสุนทร และวงศ์ขวัญ จิตนุพงศ์, 2548) ซึ่งคุณภาพและองค์ประกอบของน้ำนมนั้นสามารถปรับปรุงได้หลายวิธีด้วยกัน เช่น การจัดการด้านพันธุกรรม สิ่งแวดล้อม อาหาร แต่การจัดการด้านอาหารถือว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากต้นทุนของการผลิตน้ำนมดิบประมาณ 70% เป็นต้นทุนของค่าอาหาร อย่างไรก็ตาม การเสริมกรดอะมิโนและ แร่ธาตุปลีกย่อยในอาหารโคนมสามารถแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่กล่าวมาได้ มีงานวิจัยหลายงานพบว่าการเสริม ruminally protected Met สามารถเพิ่มผลผลิตน้ำนมให้สูงขึ้น โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่มีการเสริม (Samuelson, Denise, Roffler, Ax, Armstrong, and Romagnolo, 2001; St-Pierre and Sylvester, 2005; Lara et al., 2006; Broderick, Stevenson, Patton, Lobos, and Olmos Colmene, 2008) Met ที่เสริมในรูปของ RP-Met ยังสามารถเพิ่มผลผลิตของโปรตีนในน้ำนม (Samuelson et al., 2001; Leonardi, Stevenson, and Armentano, 2003: Noftsger, St-Pierre, and Sylvester, 2005; St-Pierre et al., 2005; Socha et al., 2005; Lara et al., 2006; Rulquin, Graulet, Delaby, and Robert, 2006)เนื่องจาก Met เป็นกรดอะมิโนที่มีความสำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนในน้ำนม และในการเสริม rumen-protected methionine ร่วมกับ organic minerals เช่น Zn, Cu, Mn และ Se ยังสามารถเพิ่ม องค์ประกอบ ผลผลิตของโปรตีนในน้ำนม ผลผลิตน้ำนม และประสิทธิภาพการใช้อาหาร (Garthwaite, Schwab, and Sloan, 1998) นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มอัตราการผสมติดในโคนม และลดจำนวนเซลล์เม็ดเลือดขาวในน้ำนมได้อีกด้วย ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงได้ทำการเสริม rumen-protected methionine ที่ระดับ 11 และ 22 g/d เพื่อต้องการทราบถึงปริมาณของ rumen-protected methionine ที่ทำให้โคนมในประเทศไทยมีประสิทธิภาพในการผลิตสูงที่สุด เหตุผลที่ทำการศึกษาผลของการเสริม

rumen-protected methionine ที่ระดับ 11 และ 22 g/d เนื่องจากโคนมในประเทศไทยเป็นโคนมที่ให้ผลผลิตน้ำนมต่ำ ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องทำการเสริมเท่ากับในงานทดลองของต่างประเทศ และอีกหนึ่งงานทดลองได้ทำการศึกษาถึงผลของการเสริม rumen-protected methionine ที่ระดับ 22 g/d ร่วมกับแร่ธาตุอินทรีย์ที่ระดับ 14 g/d ซึ่งเป็นระดับที่บริษัทได้แนะนำไว้ ดังนั้นในการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการพิสูจน์ถึงผลของการเสริม rumen-protected methionine ร่วมกับแร่ธาตุอินทรีย์ตามที่บริษัทได้แนะนำไว้นั้น มีผลต่อผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม และสามารถป้องกันการเกิดโรคเต้านมอักเสบในโคนมได้จริงหรือไม่

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของการเสริม rumen-protected methionine ต่อผลผลิตโคนม

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของการเสริม rumen-protected methionine ร่วมกับแร่ธาตุอินทรีย์ต่อผลผลิตโคนมและป้องกันการเกิดอาการโรคเต้านมอักเสบ

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

Rumen-protected methionine สามารถเพิ่มโปรตีนในน้ำนมของโคนมได้ นอกเหนือจากนี้แร่ธาตุปลีกย่อยหลายชนิด เช่น Zn, Cu, Mn และ Se ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของโคนมได้โดยป้องกันการเกิดอาการเต้านมอักเสบ

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาผลของการเสริม rumen-protected methionine ระดับ 11 g/d และ 22 g/d และทำการเสริม rumen-protected methionine ร่วมกับแร่ธาตุอินทรีย์ โดยเสริม rumen-protected methionine ที่ระดับ 22 g/d และแร่ธาตุอินทรีย์ที่ระดับ 14 g/d เสริมในอาหารข้น (Concentrate) สำหรับเลี้ยงโคนมลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชียน(CrossbredHolstein Friesian) ในช่วงต้นของการให้นมเพื่อศึกษาผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบของน้ำนมและเซลล์เม็ดเลือดขาวในน้ำนม

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบถึงปริมาณผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบของน้ำนมในโคนม และปริมาณของการเสริม rumen-protected methionine ที่ให้ประสิทธิภาพสูงที่สุด เมื่อทำการเสริมร่วมกับอาหาร TMR สำหรับเลี้ยงโคนม

1.5.3 ทราบถึงปริมาณผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบของน้ำนมและจำนวนเซลล์เม็ดเลือดขาวภายในน้ำนม (SCC) ที่ได้รับอาหารข้นที่มีการเสริม rumen-protected methionine ร่วมกับแร่ธาตุอินทรีย์

1.6 เอกสารอ้างอิง

สุรยุทธ ทรงสุหมัด, อรรถยา เกียรติสุนทร และวงศ์ขวัญ จิตนุพงศ์. (2548). องค์ประกอบน้ำนมดิบกับมาตรฐานของประเทศไทย. **วารสารสัตวบาล.** 15(71):29-37.

Broderick, M., Stevenson, J., Patton, R. A., Lobos, N. E., and Olmos Colmenero, J. J. (2008). Effect of supplementing rumen-protected methionine on production and nitrogen excretion in lactating dairy cows. **J. Dairy Sci**. 91:1092-1102.

Garthwaite, B. D., Schwab, C. G., and Sloan, B. K. (1998). **Amino acid nutrition of the transition and early lactation cow**. Proc. Cornell Nutr. Conf. pp. 38-50, Ithaca, NY.

Lara, A., Mendoza, G.D. Landois, L., Barcena, R., Sa´nchez-Torres, M.T., Rojo, R., Ayala, J., Vega., S. (2006). Milk production in Holstein cows supplemented with different levels of ruminally protected methionine. **Livest. Sci**. 105:105-108.

Leonardi, C., Stevenson, M., and Armentano, L. E. (2003) Effect of two levels of crude protein and methionine supplementation on performance of dairy cow. **J. Dairy Sci.** 86:4033-4042.

Noftsger, S., St-Pierre, N. R., and Sylvester, J. T. (2005). Determination of rumen degradability and ruminal effects of three sources of methionine in lactating cows. **J. Dairy Sci**. 88:223-237.

Rulquin, H., Graulet, B., Delaby, L., and Robert, J. C. (2006) Effect of different forms of methionine on lactational performance of dairy cows. **J. Dairy Sci.** 89:4387-4394.

Samuelson, D. J., Denise, S. K., Roffler, R., Ax, R. L., Armstrong, D. V., and Romagnolo, D. F. (2001). Response of Holstein and Brown Swiss cows fed alfalfa hay-based diets to supplemental methionine at two stages of lactation. **J. Dairy Sci**. 84:917-928.

St-Pierre, N. R. and Sylvester, J. T. (2005). Effects of 2-hydroxy-4-(methylthio) butanoic acid (HMB) and its isopropyl ester on milk production and composition by Holstein cows. **J. Dairy Sci**. 88:2487-2497.

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สารอาหารที่จำเป็นต่อการสังเคราะห์น้ำนมและองค์ประกอบน้ำนมในสัตว์เคี้ยวเอื้อง ประกอบด้วย กลูโคส, acetate, β-hydroxybutrate, long- chain fatty acid และ กรดอะมิโน (amino acid) (Schwab, 1994) กรดอะมิโนที่ถูกดูดซึมไปยังเซลล์สร้างน้ำนม (mammary gland) จะต้องเป็นกรดอะมิโนที่อยู่ใน metabolizable protein ได้แก่ โปรตีนแท้หรือโปรตีนที่สัตว์นำไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งแหล่งของ metabolizable protein จะประกอบไปด้วย 1) โปรตีนที่ได้จากการสังเคราะห์ของจุลินทรีย์ 2) โปรตีนที่ไม่ถูกย่อยในกระเพาะหมัก (RUP) และ 3) โปรตีนที่เกิดจากการหลุดลอกของเซลล์ (endogenous protein) (NRC, 2001) จุลินทรีย์โปรตีนนั้นเป็นผลผลิตที่ได้จากจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก ได้แก่ แบคทีเรีย ฟังใจ และโปรโตซัว แบคทีเรียในกระเพาะหมักจะนำเอา N ไปใช้ในการเจริญเติบโต ซึ่งความต้องการ N ของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักนั้นจะเป็นตัวกำหนดปริมาณของโปรตีนในอาหารและโปรตีนที่ถูกย่อยในกระเพาะหมัก (RDP) จุลินทรีย์จะนำโปรตีนเหล่านี้ไปใช้ในการปรับปรุงกระบวนการหมักย่อยเพื่อให้ได้จุลินทรีย์โปรตีนในปริมาณที่สูงขึ้น (NRC, 2001) ถ้าหากมีความสมดุลของกรดอะมิโนในกระเพาะหมักและการได้รับโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมักในปริมาณเหมาะสม (RUP) จะทำให้สัตว์ได้รับโปรตีนที่เพียงพอต่อความต้องการ (Schwab, 1995) ดังนั้นนักวิจัยจึงได้ให้ความสนใจเกี่ยวกับการนำกรดอะมิโนผ่านไปดูดซึมที่บริเวณลำไส้เล็กส่วนต้นของสัตว์เคี้ยวเอื้องเป็นอย่างมาก เพื่อต้องการให้สัตว์ได้รับในปริมาณที่เพียงพอต่อการดำรงชีพและสร้างผลผลิต ซึ่งประกอบไปด้วย 1) การเพิ่มจำนวนโปรตีนจากจุลินทรีย์ 2) การเพิ่มปริมาณโปรตีนในอาหาร 3) การใช้อาหารโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยในกระเพาะหมัก 4) การใช้ rumen-protected AA

2.1 Limiting Essential Amino Acids

วิธีการศึกษาเพื่อจะทราบว่า กรดอะมิโน lysine (Lys) และ methionine (Met) เป็น first-limiting essential amino acids (EAA) ใน metabolizable protein (MP)ในโคนมหรือไม่ ทำได้โดยการฉีด individual AA หรือส่วนผสมของ EAA เข้าสู่ abomasum หรือ duodenum และทำการวัดผลต่อการเก็บกักไนโตรเจน (N retention) และผลผลิตโปรตีนในน้ำนม หรือการให้สารเสริมที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมักจำพวก ruminally protected Met (RPMet) และ ruminally protected Lys (RPLys) แล้วทำการวัดการเพิ่มขึ้นน้ำหนักตัวของโคนมที่กำลังเจริญเติบโต และปริมาณของผลผลิต

โปรตีนในน้ำนมของโคที่กำลังรีดนม (Abe, Iriki, Funaba, and Onda, 1998)

การใช้วิธีการดังกล่าวข้างต้นชี้ให้เห็นว่าลำดับของการจำกัด Lys และ Met ถูกกำหนดโดยความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดอะมิโนทั้งสองใน RUP (rumen undegradability protein) ยกตัวอย่างเช่น Lys ถูกจำแนกว่าเป็น first limiting ในลูกโคหลังหย่านม (Abe, Iriki, and Funaba, 1997) โคกำลังเจริญเติบโต (Hill, Boling, and Bradley, 1980) และโคที่กำลังรีดนม(King et al., 1991) เมื่อ RUP ส่วนใหญ่ หรือทั้งหมดมาจากข้าวโพด หรืออาหารที่มาจากข้าวโพด ในทางตรงกันข้าม Met ถูกจำแนกว่าเป็น first-limiting ในลูกโคหลังหย่านม (Donahue, Quigley, III, and Hylton, 1985) โคที่กำลังเจริญเติบโต (Hopkins, Kunkle, Hammond, Bates, and Reiling, 1999; Robert, Sloan, Jouan, and Math,1999) และโคที่กำลังรีดนม (Rulquin and Delaby, 1997) เมื่อมีข้าวโพดเป็นอาหารอยู่ในปริมาณน้อย หรือ เมื่อโคได้รับอาหารหยาบในปริมาณมาก หรือ เมื่อ RUP ส่วนใหญ่มาจากผลิตภัณฑ์ถั่วเหลือง โปรตีนจากสัตว์ หรือส่วนผสมของทั้งสอง เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของ กรดอะมิโนที่มีอยู่ในแบคทีเรียในกระเพาะหมัก อาหารที่มาจากข้าวโพดจะมี Lys ต่ำ แต่จะมี Met เท่ากัน ในขณะที่ผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองและอาหารโปรตีนจากสัตว์ส่วนใหญ่จะมี Lys เท่ากัน แต่มี Met ต่ำ ดังนั้น Lys และ Met จึงถูกจัดเป็น co-limiting เมื่อโคกำลังรีดนมได้รับอาหารที่ไม่มี (Schwab, Satter, and Clay, 1976) หรือมีการเสริมโปรตีนในระดับต่ำ (Rulquin, 1987)

ดังนั้น Lys และ Met มักจะเป็น first two limiting EAA สำหรับการเจริญเติบโตและผลผลิตโปรตีนในน้ำนม ประการแรก Met ถูกจัดเป็น first limiting (Titgemeyer and Merchen, 1990) และ Lys ถูกจัดเป็น second limiting (Richardson and Hatfield, 1978) ใน MCP สำหรับ N retention ของโคที่กำลังเจริญเติบโต ประการที่สอง วัตถุดิบอาหารสัตว์ส่วนใหญ่จะมีปริมาณ Lys และ Met โดยเฉพาะ Lys ใน total EAA ต่ำกว่าใน MCP และประการสุดท้าย การสะสมของ Lys และ Met ใน total EAA ในเนื้อเยื่อของเนื้อแดง และในน้ำนมนั้นเท่ากัน โคที่กำลังเจริญเติบโต เมื่อได้รับการเสริม Lys และ Met ใน MP จะมีน้ำหนักตัวเพิ่มมากขึ้นและประสิทธิภาพการใช้อาหารเพิ่มขึ้น (Hopkins et al., 1999; Robert et al., 1999) และการขับถ่ายไนโตรเจนทางปัสสาวะลดลง (Abe et al., 1998) การเสริม Lys และ Met ใน MP สามารถเพิ่มองค์ประกอบและผลผลิตของโปรตีนในน้ำนม ผลผลิตน้ำนม และการกินได้อาหาร ได้มีการรวบรวมผลของการเสริม Lys และ Met ไหลผ่าน ต่อผลผลิตของโครีดนม (Garthwaite, Schwab, and Sloan, 1998) รายงานเหล่านี้ และรายงานอื่น ๆ ที่เป็นการศึกษาในระยะต่อมา (Piepenbrink, Schwab, Sloan, and Whitehouse, 1999) ชี้ให้เห็นว่า (1) การเสริม Lys และ Met จะมีผลต่อองค์ประกอบโปรตีนในน้ำนมมากกว่าผลผลิตน้ำนม โดยเฉพาะในโคนมในช่วงหลัง peak (2) การเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนมเป็นอิสระต่อผลผลิตน้ำนม (3) เคซีนเป็นส่วนประกอบที่มีผลต่อองค์ประกอบของโปรตีนในน้ำนม (4) สามารถทำนายการเพิ่มขึ้นของผลผลิตโปรตีนในน้ำนมต่อการเสริม Lys หรือ Met ใน MP ได้ เมื่อปริมาณการเสริม AA อื่น ๆ

ใน MP นั้นใกล้เคียง หรือเท่ากับความต้องการ (Sloan, Garthwaite, and Schwab, 1998) (5) การเสริม Lys และ Met จะมีผลต่อผลผลิตโคนมในช่วงต้นระยะให้นมมากกว่าในช่วงกลางและปลายระยะให้นม และ (6) การเสริม Lys และ Met ใน MP จะมีผลต่อผลผลิตโคนมมากกว่า เมื่อ CP ใน diet DM อยู่ในระดับปกติ (14-18%) เปรียบเทียบกับระดับที่ต่ำกว่า หรือสูงกว่า การเสริม Lys และ Met ใน MP ของโครีดนมในช่วงหลัง peak ของการให้นม จะมีผลต่อเปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนมมากกว่าผลผลิตน้ำนม (Chapoutot, Schmidely, Sauvant, Robert, and Sloan, 1992) โดยใช้การทดลองแบบ multiple switch-back experiment เพื่อหาผลตอบสนองรายตัวของโครีดนมในระยะหลัง peak ของการให้นม ต่อ ruminally protected Lys and Met โคได้รับส่วนผสมของ RPAA 23 g/d digestible Lys และ 7 g/d digestible Met การทดลองพบว่าโครีดนม 37 ตัว ให้นมที่มีองค์ประกอบโปรตีนในน้ำนมมากกว่า ในขณะที่โครีดนม 31 ตัว ให้ผลผลิตโปรตีนนมมากกว่า และโครีดนม 16 ตัว ให้ผลผลิตน้ำนมมากกว่า นอกจากผลต่อผลผลิตโปรตีนในน้ำนม มีรายงานการเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์ไขมันน้ำนม เมื่อเสริม Met หรือ Met + Lys ใน MP เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมที่เพิ่มขึ้นมักพบในการศึกษาโดยการฉีดกรดอะมิโนหลังกระเพาะหมัก (Socha, Schwab, Putnam, Whitehouse, and Kierstead, 1994b) หรือ เมื่อเสริม Met (Brunschwig, Augeard, Sloan, and Tanan, 1995) หรือ Met และ Lys (Xu et al., 1998) ในรูปป้องกันการย่อยสลายในกระเพาะหมัก การเพิ่มขึ้นของไขมันในน้ำนมมักเกิดขึ้นพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของโปรตีนในน้ำนม แต่บางครั้งพบว่าไขมันในน้ำนมนมเพิ่มขึ้นแต่โปรตีนในน้ำนมไม่เพิ่มขึ้น (Varvikko, Vanhatalo, Jalava, and Huhtanen, 1999) การเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมเนื่องจากการเสริม Met และ Lys สามารถคาดเดาได้ ยกตัวอย่างเช่น การฉีด Met (0, 3.5, 7.0, 10.5, and 16.0 g/d) เข้าสู่ duodenum ของโคนมระยะหลัง peak ที่ได้รับอาหารที่มีข้าวโพดเป็นหลักและเสริมด้วยผลิตภัณฑ์ถั่วเหลือง และเลือดป่น สามารถเพิ่มเปอร์เซ็นต์ของไขมัน (3.73, 3.86, 3.78, 3.91, และ 4.15) และโปรตีนแท้ (3.00, 3.07, 3.09, 3.13, และ 3.15) ในน้ำนม (Socha et al., 1994b) อย่างไรก็ตาม เมื่อโคเหล่านี้ได้รับอาหารเช่นเดียวกันและได้รับการฉีด Met ในปริมาณที่เท่ากัน ในช่วง peak (Schwab et al., 1994c) หรือช่วงกลางระยะให้นม (Schwab et al., 1994c) เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมไม่เปลี่ยนแปลงแต่เปอร์เซ็นต์โปรตีนเพิ่มขึ้น

ยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัดว่า ทำไมการเสริม Met และ Lys ใน MP เพิ่มขึ้น บางครั้งองค์ประกอบของไขมันในน้ำนมเพิ่มขึ้น เหตุผลหนึ่งอาจเกี่ยวข้องกับความเป็นไปได้ที่ Met จะมีผลต่อการสังเคราะห์ short-และ medium-chain fatty acids ภายในต่อมสร้างน้ำนม ซึ่งกลไกนี้แนะนำโดย Pisulewski, Rulquin, Peyraud, and Verite (1996) ที่ชี้ให้เห็นว่าการฉีด Met เข้าสู่ duodenum ของโคในช่วงต้นระยะให้นม สามารถเพิ่มสัดส่วนของ short-chain และ medium-chain fatty acids และลดสัดส่วนของ long-chain fatty acids ในไขมันนม อย่างไรก็ตาม รายงานอื่น ๆ ไม่พบผลของการฉีด Met หลังกระเพาะหมัก ต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำนม (Kowalski, Pisulewski,

and Spanghero, 1999; Varvikko et al., 1999) เหตุผลอีกประการหนึ่งอาจเกี่ยวข้องกับบทบาทของ AA ในลำไส้ และการสังเคราะห์ chylomicrons และ very low density lipoproteins (VLDL) ในตับ ซึ่งต้องการสารอาหารนอกเหนือจากการมี long-chain fatty acids ในการกระตุ้นการสร้าง chylomicrons และ very low density lipoproteins (VLDL) (Bauchart, Gruffat, and Durand, 1996) การสังเคราะห์ apolipoproteins ต้องการ AA และการสังเคราะห์ phosphatidylcholine (lecithin) ที่เป็น phospholipid ที่มีมากที่สุด มีรายงานว่าส่วนหนึ่งของความต้องการ Met ของโคนม เพื่อเป็น methyl donor ในการสังเคราะห์โคลีน (Sharma and Erdman, 1988) และเช่นเดียวกับการศึกษาบางการศึกษา (Erdman, 1994) แต่บางการศึกษาไม่ยืนยัน (Erdman and Sharma, 1991) โคลีนเป็นโภชนะที่จำเป็นสำหรับการสังเคราะห์ไขมันนม ดังนั้น Met และ Lys ในบางครั้งอาจจำเป็นต่อการสังเคราะห์ chylomicrons หรือ VLDL อย่างไรก็ตาม มีรายงานค่อนข้างจำกัดเกี่ยวกับการเพิ่มการสร้าง หรือเพิ่มการหลั่ง lipoproteins เหล่านี้เมื่อเสริม Met และ Lys (Auboiron, Durand, Robert, Chapman, and Bauchart, 1995) นอกจากนี้มีรายงานว่าการเสริม Met ใน MP สามารถลดความเข้มข้นของ plasma nonesterified fatty acids ในลูกโค (Auboiron et al., 1995) และโครีดนม (Rulquin and Delaby, 1997) อย่างไรก็ตาม การลดลงของความเข้มข้น plasma nonesterified fatty acids นั้น พิจารณาโดยทั่วไปแล้วเป็นผลมาจากการลดลงของการเคลื่อนย้ายไขมันจากเนื้อเยื่อไขมันมากกว่าการเพิ่มการใช้ประโยชน์ของ plasma nonesterified fatty acids

การศึกษาถึงความต้องการกรดอะมิโนชนิดอื่น ๆ นอกเหนือจาก Lys และ Met ในโคนมค่อนข้างมีจำกัด Fraser, Ørskov, Whitelaw, and Franklin (1991) ใช้ intragastric nutrition technique สรุปว่า His เป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อจาก Met และ Lys สำหรับโคนม เมื่อใช้เคซีนเป็นแหล่งโปรตีนในการฉีดหลังกระเพาะหมัก อย่างไรก็ตาม การทดลองของ Schwab et al. (1976) และ Rulquin (1987) โดยการฉีด AA เข้าสู่กระเพาะจริง เมื่อโครีดนมได้รับอาหารที่มีส่วนประกอบปกติ Rulquin (1987) สรุปว่า Thr ไม่ใช่ limiting amino acid ต่อจาก Lys และ Met ในขณะที่ Schwab et al. (1976) สรุปจากการทดลองฉีด AA จำนวน 5 การทดลอง Piepenbrink et al. (1999) พบว่า Phe และ Ile มักจะเป็น limiting AA ต่อจาก Lys และ Met (Liu, Schingoethe, and Stegeman, 2000) เมื่อโคได้รับอาหารที่มีข้าวโพดเป็นหลัก และเสริมด้วยอาหารโปรตีนปกติ เช่น กากถั่วเหลือง CDDGS กากคาโนลา หรือส่วนผสมของกากคาโนลา กากข้าวโพด เลือดป่น และปลาป่น

ถึงแม้ว่าจะมีงานวิจัยจำกัด ยังมีงานวิจัยอยู่บางงานที่ชี้ให้เห็นว่า EAA อื่น ๆ อาจเป็น limiting AA นอกจาก Lys หรือ Met ซึ่งอาจเป็น Arg และ His การฉีด Arg (13.7 g/d) เพิ่ม N retention ของ 159-kg Holstein steers ที่ได้รับต้นข้าวสาลีหมัก (12.3% CP) เป็นอาหารหลัก ในทางตรงกันข้าม การฉีด Arg เข้าสู่กระเพาะจริง (178 g/d) และเข้าเส้นเลือด (112 g/d) ไม่มีผลต่อผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนมในโครีดนมพันธุ์ Holstein (544 kg) ในช่วงหลัง peak ของระยะ

ให้นม ที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีน 15.3% CP ประกอบด้วย alfalfa-grass silage, corn silage, corn, and soybean meal (Vicini, Clark, Hurley, and Bahr, 1988) Vanhatalo, Huhtanen, Toivonen, and Varvikko (1999) สรุปว่า His เป็น first-limiting EAA เมื่อโครีดนมพันธุ์ Finnish Aryshire ในช่วงหลัง peak ของระยะให้นม ได้รับอาหารที่มีหญ้าหมักเป็นหลัก โดยไม่มีการเสริมข้าวโพด หรืออาหารโปรตีนชนิดอื่น อาหารประกอบด้วย 56% grass silage เสริมด้วยกรด, 18% barley, 18% oats, 6.7% beet pulp, และ 1.3% minerals และ vitamins การฉีด 6.5 g/d His เข้าสู่กระเพาะจริง สามารถเพิ่มผลผลิตน้ำนม (23.6 vs. 22.9 kg/d) และผลผลิตโปรตีนในน้ำนม (721 vs. 695 g/d) แต่ไม่เพิ่มองค์ประกอบของโปรตีนในน้ำนม การฉีด 6.0 g/d Met หรือ 19.0 g/d Lys หรือส่วนผสมของทั้งสองร่วมกับ 6.5 g/d His ไม่เพิ่มผลผลิตโปรตีนในน้ำนมขึ้นไปอีก ปัจจัยที่อาจทำให้ His เป็น first limiting AA ในการศึกษาของ Vanhatalo et al. (1999) ได้แก่: (1) ใน DM ของอาหารมีองค์ประกอบของ RUP ต่ำ (2) ใน microbial protein มีองค์ประกอบของ His ต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับโปรตีนในอาหาร และ (3) ใน barley และ oats มีองค์ประกอบของ His ต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพด Mackle, Dwyer, and Bauman (1999) พบว่าเมื่อฉีด branched-chain AA (55.5, 39.0, และ 55.5 g/d ของ Leu, Ile, และ Val, ตามลำดับ) เข้าสู่กระเพาะจริงของโคนมพันธุ์ Holstein ในช่วงต้นระยะให้นมที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีน 16.2% (ประกอบด้วย alfalfa hay, corn, และ soybean products) ไม่มีผลต่อผลผลิตน้ำนม หรือองค์ประกอบของน้ำนม Hopkins, Rakes, Daniel, Zimmerman, and Croom (1994) ทำการฉีด branched-chain AA ร่วมกับ Arg (46.1, 31.4, 38.3, และ 25.0 g/d Leu, Ile, Val, และ Arg ตามลำดับ) ในช่วงเวลา 2 ชั่วโมงในแต่ละวัน ให้กับโคนมพันธุ์ Holstein ในช่วงต้นระยะให้นม ที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีน 13.6% หรือมี ADF 22.4% ตามลำดับ การฉีด AA ไม่เพิ่มองค์ประกอบ หรือผลผลิตโปรตีนในน้ำนม แต่ทำให้องค์ประกอบของไขมันและผลผลิตไขมันในน้ำนมลดลง เมื่อโคได้รับอาหารที่มีเยื่อใยต่ำ การวิเคราะห์กรดไขมันในไขมันนมชี้ให้เห็นว่าการฉีด AA อาจเพิ่มการสังเคราะห์กรดไขมันชนิด C4 ถึง C16 โดยเฉพาะกรดไขมันชนิด C16 เป็นที่ทราบกันดีว่า Arg และ branched-chain AA จะถูกจับโดยต่อมสร้างน้ำนมในปริมาณที่เกินกว่าที่มีอยู่ในโปรตีนในน้ำนม (Piepenbrink et al., 1999) และสามารถเปลี่ยนไปเป็น NEAA หรือถูกใช้ประโยชน์เป็นแหล่งพลังงานในต่อมสร้างน้ำนม (Mepham, 1982)

2.2 Ruminally Protected Amino Acid

จากที่กล่าวมาแล้วในข้างต้นว่า Lys และ Met เป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นที่สุดในการสังเคราะห์โปรตีนในน้ำนมของโคนม การประกอบสูตรอาหารโคนมโดยการใช้วัตถุดิบอาหารโปรตีนเป็นสิ่งที่ท้าทาย โดยเฉพาะในกรณีที่โคนมต้องการอาหารที่มี RUP สูง เพื่อให้ได้ความเข้มข้นของทั้ง Lys และ Met ใน MP เพียงพอ การเสริม crystalline Lys และ Met ไม่มีประสิทธิภาพ

เพราะว่าจะเกิด deamination อย่างรวดเร็วในกระเพาะหมัก (Chalupa, 1976; Onodera, 1993) ดังนั้นจึงมีความพยายามที่จะพัฒนาเทคโนโลยีในการเสริม Met และLys ในรูปซึ่งมีการหลบเลี่ยงการย่อยสลายในกระเพาะหมัก และให้มีการย่อยได้ในลำไส้เล็ก

มีการรวบรวมรายงานวิจัยที่เกี่ยวกับวิธีการที่จะประเมินประสิทธิภาพการป้องกัน free AA จากการย่อยสลายในกระเพาะหมัก (Schwab, 1995) เทคโนโลยีที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนั้นจำแนกได้ 3 กลุ่ม คือ (1) surface coating with a fatty acid/pH-sensitive polymer mixture (2) surface coating or matrices involving fat or saturated fatty acids and minerals และ (3) liquid sources of Met hydroxy analog (DL-2-hydroxy-4-methylthiobuta-noic acid; HMB)

เทคโนโลยีแรก ใช้ postruminal delivery system ซึ่งเป็นอิสระต่อ digestive enzyme function และขึ้นอยู่กับความแตกต่างของ pH ระหว่างกระเพาะหมักและกระเพาะจริง ทำให้ ruminally inert products มีสัมประสิทธิ์การป้องกันการย่อยสลายในกระเพาะหมักสูง และมีสัมประสิทธิ์การปลดปล่อย coated AA ในลำไส้สูง เทคโนโลยีนี้มีประสิทธิภาพมากในการเพิ่ม Met ใน MP ซึ่งเห็นได้จากความเข้มข้นของ Met ในเลือดเพิ่มมากขึ้น (Blum, Bruckmaler, and Jans, 1999)

ได้มีการประเมินความผันแปรของเทคโนโลยีที่สอง คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของ Lys ทำให้เทคโนโลยีที่สองนี้จำกัดต่อ Met เทคโนโลยีนี้ขึ้นอยู่กับการทำงานร่วมกันของกระบวนการ และวัสดุ ซึ่งเคลือบ และความสามารถในการป้องกันการย่อยสลายในกระเพาะหมัก โดยสัมพันธ์กับคุณสมบัติความเฉื่อยของ saturated fat ในกระเพาะหมัก ในขณะที่มีผลสนับสนุน intestinal release นอกจากนี้ apparent bioavailability ของ Met (ruminal escape × intestinal release) จากผลิตภัณฑ์ RPMet โดยใช้เทคนิคนี้น้อยกว่าผลิตภัณฑ์ RPMet ที่ใช้เทคโนโลยีแรก (Bach and Stern, 2000; Berthiaume, Lapierre, Stevenson, Cote, and McBride, 2000)

เทคโนโลยีที่สาม (i.e., liquid HMB) ปัจจุบันใช้เป็นตัวเลือกแทน coated หรือ encapsulated forms of Met เกลือแคลเซียมของ HMB ปกติจะรู้จักกันในชื่อ Met hydroxy analog ได้มีการศึกษาอย่างกว้างขวางในการใช้เสริมเพื่อเพิ่มผลผลิตน้ำนมและไขมันนม เป็นที่ทราบกันดีว่าในสัตว์กระเพาะเดี่ยว หลังจากการดูดซึม HMB จะถูกเปลี่ยนเป็น α-keto analog ของ Met ก่อน หลังจากนั้นจะถูก transaminated เป็น L-Met (Baker, 1994) การรวมประสิทธิภาพของอัตราการดูดซึมและการเปลี่ยนเป็น Met ในสัตว์กระเพาะเดี่ยวยังเป็นที่สงสัยอยู่ Baker (1994) สรุปการประเมินประสิทธิภาพของ dietary HMB และสรุปว่า ค่า ‘‘Met bioavailability’’ (molar basis) ที่เหมาะสมสำหรับ หนู ไก่ และสุกร คือ 70, 80, และ 100% ตามลำดับ การเปรียบเทียบข้อมูล ‘‘Met bioavailability’’ (ruminal escape × intestinal absorption × conversion to Met) ในสัตว์เคี้ยวเอื้องยังไม่มี อย่างไรก็ตาม การศึกษาชี้ให้เห็นว่า HMB มีความต้านทานต่อการย่อยสลายในกระเพาะหมัก

มากกว่า free Met (Belasco, 1972, 1980) ซึ่งจะถูกดูดซึมผ่าน ruminal และ omasal epithelium ได้ (McCollum, Vazqucs-Anon, Dibner, and Webb, 2000) และสัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถหลั่งเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยน HMB ไปเป็น Met (Belasco, 1972, 1980; Papas, Hall, Hatfield, and Owens, 1974) การศึกษาของ Koenig, Rode, Knight, and McCullough (1999) เป็นเพียงรายงานเดียวที่พยายามหาปริมาณ ruminal escape และ intestinal absorption ของ liquid HMB ในโคนม ในการทดลองนี้โครีดนมได้รับอาหารที่มี 30 g/d HMB กำหนดให้ fractional rate คงที่สำหรับ ruminal และ duodenal disappearance of HMB และ passage of liquid ผลสรุปพบว่า 50% ของ HMB หลบเลี่ยงการย่อยสลายในกระเพาะหมัก อย่างไรก็ตามการแทนที่ของ dietary HMB เพื่อ absorbed Met สำหรับ protein synthesis ยังไม่ทราบแน่ชัด เพราะว่า ความเข้มข้นของ Met ในเลือดเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย (Johnson, Whitehouse, Garthwaite, Piepenbrink, and Schwab, 1999) และองค์ประกอบของโปรตีนในน้ำนมเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเช่นกัน (Johnson et al., 1999; Rode, Knight, Andrews, and Koenig, 1998) การเสริม ruminally protected methionine ต่อผลผลิตน้ำนม Noftsger, St-Pierre, and Sylvester (2005) ได้ศึกษาผลของการเสริม HMB, HMBi และ DL-Met ที่ระดับ 25, 32.5 และ 22 กรัม/วัน พบว่า HMBi มีผลทำให้โปรตีนในน้ำนมเพิ่มขึ้นโดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อ ($P<0.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่มีการเสริม HMB และกลุ่มควบคุม แต่ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติกับกลุ่มที่มีการเสริม DL-Met ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Rulquin, Graulet, Delaby, and Robert (2006) และ St-Pierre and Sylvester (2005) ที่ทำการเสริม HMBi ในอาหารโคนมทำให้โปรตีนในน้ำนมเพิ่มขึ้น แ ละในงานทดลองของ St-Pierre and Sylvester (2005) พบว่า HMBi มีผลทำให้ปริมาณน้ำนมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่ทำการเสริม HMB Samuelson, Denise, Roffler, Ax, Armstrong, and Romagnolo (2001) ได้ศึกษาผลของการเสริม M85 และ DL-Met พบว่า การเสริม M85 ร่วมกับ DL-Met มีผลทำให้โปรตีน และแล็คโตสในน้ำนมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมและในงานทดลองของ Lara et al. (2006) ทำการศึกษาผลของ RP-Met ที่ระดับ 8, 16 และ 24 กรัม/วัน พบว่ามีผลทำให้โปรตีนในน้ำนมเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อทำการเสริม RP-Met ที่ระดับ 16 กรัม/วัน จะมีผลทำให้ปริมาณน้ำนมเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่มีการเสริมในระดับต่าง ๆ ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Broderick, Stevenson, Patton, Lobos, and Olmos (2008) พบว่าการเสริม RP-Met มีผลทำให้ผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้นแต่ไม่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม และงานทดลองของ Socha et al. (2005) พบว่าเมื่อทำการเสริม RP-Met สามารถเพิ่มไขมันในน้ำนม โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่ง Met นั้นจะมีผลต่อการสังเคราะห์ short และ medium-chain fatty acids

ภายในต่อมสร้างน้ำนม แต่อย่างไรก็ตาม Davidson, Hopkins, Odle, Brownie, Fellner, and Whitlow (2008) พบว่าการเสริม RP-Met ในอาหารโคนมไม่มีผลต่อผลผลิตน้ำนมและองค์ทางเคมีประกอบของน้ำนม

ตารางที่ 2.1 ผลการเสริม ruminally protected Met ต่อผลผลิตในโคนม

References	Type of amino acid	Level (g/d)	Milk yield (Kg/d)	Milk composition		
				Fat	Protein	Lactose
Broderick et al. (2008)	CP (%), RP-Met	18.6 ,0	39.7^{y}	3.55	3.02	4.81
		17.3 ,5	41.6^{x}	3.58	2.98	4.82
		16.1 ,10	41.6^{x}	3.40	2.97	4.78
		14.8 ,15	39.7^{y}	3.31	3.04	4.81
Davidson et al. (2008)	Control	0	27.9	2.97	2.60	-
	RP-Met	20	28.0	2.71	2.77	-
Lara et al. (2006)	Control	0	31.4^{c}	3.13	3.35^{b}	-
	RP-Met	8	33.6^{b}	3.10	3.58^{a}	-
	RP-Met	16	35.8^{a}	3.11	3.49^{a}	-
	RP-Met	24	33.7^{b}	3.16	3.50^{a}	-
Rulquin et al. (2006)	Control	0	31.4	4.16	3.09^{y}	-
	HMBi	21.3	31.5	4.20	3.19^{x}	-
	HMB	26.4	31.8	4.26	3.10^{y}	-
	SmM	13.3	32.0	4.16	3.16^{x}	-
Noftsger et al. (2005)	Control	0	38.5	3.35	2.91^{b}	4.90
	HMB	25	38.0	3.35	2.95^{b}	4.91
	HMBi	32.5	38.3	3.42	3.02^{a}	4.86
	DL-Met	22	35.8	3.60	2.96$^{a, b}$	4.78

$^{a, b, c}$ ที่กำกับอยู่ในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ($P<0.01$)

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

M85 = Mepron 85; DL-Met = DL- methionine; HMB = 2-hydroxy-4-(methylthio)-butanoic acid; HMBi = isopropyl-2-hydroxy-4-(methylthio)-butanoic acid; SmM = Smartamine

ตารางที่ 2.1 ผลการเสริม ruminally protected Met ต่อผลผลิตในโคนม (ต่อ)

References	Type of amino acid	Level (g/d)	Milk yield (Kg/d)	Milk composition		
				Fat	Protein	Lactose
Socha et al. (2005)	CP (%), RP-Met	18.5 ,0	43.4	3.62^{y}	2.80^{z}	-
	CP (%), RP-Met	18.5 ,10.5	40.9	3.88^{x}	3.10^{x}	-
	CP (%), RP-Met + RP-Lys	18.5, 10.2+16.0	45.8	3.65^{y}	2.94^{xy}	-
St-Pierre et al. (2005)	Control	0	39.8^{y}	3.61	2.81^{b}	4.79
	HMB	26	40.7^{y}	3.76	2.88^{b}	4.91
	HMBi	39	42.3^{x}	3.82	2.97^{a}	4.86
Samuelson et al. (2001)	Control	0	35.3^{a}	3.75	3.34^{b}	4.66^{b}
	M85	15	34.3^{b}	3.75	3.36^{b}	4.76^{ab}
	DL-Met	15	34.9^{b}	3.60	3.33^{b}	4.75^{ab}
	M85 and DL-Met	15 and 15	35.9^{a}	3.70	3.44^{a}	4.84^{a}

$^{a, b, c}$ ที่กำกับอยู่ในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ(P<0.01)

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

M85 = Mepron 85; DL-Met = DL- methionine; HMB = 2-hydroxy-4-(methylthio)-butanoic acid; HMBi = isopropyl-2-hydroxy-4-(methylthio)-butanoic acid; SmM = Smartamine

2.3 แร่ธาตุปลีกย่อย

2.3.1 บทบาททางสรีรวิทยาของแร่ธาตุปลีกย่อย

โดยทั่วไปแล้วสัตว์จะได้รับแร่ธาตุจากอาหาร และน้ำที่ดื่มโดยตรงหรือเศษดินที่ติดอยู่ตามเมล็ดหรือต้นพืช ปริมาณแร่ธาตุเหล่านี้จะมีอยู่อย่างเพียงพอกับความต้องการของสัตว์หรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ชนิดและปริมาณของอาหารที่สัตว์ได้รับ ความเป็นประโยชน์ของแร่ธาตุนั้น ๆ สภาวะความต้องการในการให้ผลผลิตหรือสภาวะทางสรีระวิทยาของสัตว์ สภาพและคุณสมบัติของดินในแต่ละพื้นที่ ดังนั้นเมื่อสัตว์ได้รับแร่ธาตุชนิดใดชนิดหนึ่งไม่เพียงพอกับความต้องการหรือได้รับสัดส่วนที่ไม่เหมาะสมจะทำให้สัตว์แสดงอาการขาดหรือเกิดการเป็นพิษได้ ซึ่งจะทำให้ส่งผลเสียต่อสุขภาพและการให้ผลผลิตของสัตว์ (เมธา วรรณพัฒน์ และฉลอง วชิรภากร, 2533)

2.3.1.1 ทองแดง (Copper, Cu)

ปริมาณการกระจายตัวของทองแดงในร่างกายระหว่างเนื้อจะแตกต่างกันตามอายุและสถานะของสัตว์โดยที่ตับถือว่าเป็นอวัยวะที่เป็นแหล่งสะสมของทองแดงในร่างกาย พบว่ามีทองแดงประมาณ 40 ถึง 70% ของทองแดงทั้งหมดในร่างกายสัตว์ ในภาวะปกติทองแดงในพลาสมาจะมีค่าอยู่ระหว่าง 12.6 ถึง 18.9 umol/L (0.8 ถึง 1.2 mg/L) (ฉลอง วชิราภากร, 2543)

หน้าที่ทางชีวเคมีของทองแดง ทองแดงจะมีความสำคัญต่อการสร้างเม็ดเลือดแดง มีผลต่อการนำเหล็กไปเป็นโครงสร้างของ heme และช่วยให้เม็ดเลือดแดงเจริญเต็มที่ นอกจากนี้ทองแดงยังเกี่ยวข้องกับกระบวนการ osteogenesis กระบวนการปกป้องต่าง ๆ ในร่างกาย เกี่ยวข้องกับ pigmentation และ keratinization ของขน และการสร้างโปรตีนที่มีทองแดงเป็นองค์ประกอบ คือ เอนไซม์ต่าง ๆ ได้แก่ cytochrom oxidase, tyrosinase, ceruloplasmin, galactose oxidase, uricase, xanthine oxidase และอื่น ๆ ที่ทำหน้าที่ในระบบเอนไซม์ โดยเอนไซม์เหล่านี้เกี่ยวข้องกับกระบวนการรีดอกซ์ ในช่วงต้นของกระบวนการหายใจของเนื้อเยื่อ และในหลาย ๆ กรณี ทองแดงทำหน้าที่ในการส่งผ่านอิเล็คตรอน และในบางกรณีทำหน้าที่ในการอำนวยความสะดวกในการสร้าง enzyme-substrate complexes และทำให้เกิดความคงตัวของโครงสร้างของ tertiary enzyme อย่างไรก็ตาม โปรตีนที่ทองแดงเป็นองค์ประกอบที่ไม่มีหน้าที่ในการกระตุ้นการทำงานภายในเซลล์ แต่บทบาทในทางชีวเคมีที่แท้จริงยังไม่ทราบแน่ชัด นอกจากนี้ทองแดงที่อยู่ในรูปของ Cupic ion (Cu^{3+}) ยังเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่จำเพาะเจาะจง เช่น sulphide oxidase, tyrosine iodooxidase เป็นต้น และยังช่วยในการรักษากิจกรรมของ labile hypophyseal hormones ในเลือดอีกด้วย

การดูดซึม เมแทบอลิซึม และการขับออกของทองแดง การดูดซึมทองแดงส่วนมากเกิดขึ้นในลำไส้เล็ก และโดยเฉพาะในลำไส้ใหญ่ ส่วนทองแดงที่ถูกขับออกมาจะอยู่ในมูลเป็นส่วนมาก และส่วนน้อยถูกขับออกมากับปัสสาวะ ซึ่งทองแดงถูกขับออกมากับน้ำดีมากในทางเดินอาหาร มีรายงานว่า การขับออกของทองแดงในน้ำดี ถือได้ว่าเป็นกระบวนการหนึ่งในการรักษาสภาวะสมดุลของทองแดง และในสัตว์เคี้ยวเอื้องพบว่ามีการหลั่งทองแดงออกมากับน้ำดีน้อยกว่าในสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง ในการรักษาสภาวะความสมดุลของทองแดงในร่างกายถูกควบคุมในการขับออกของทองแดงมากกว่าเพิ่มการดูดซึมที่ลำไส้ซึ่งแตกต่างจากธาตุเหล็ก

กลไกลของการดูดซึมทองแดงยังไม่ทราบแน่ชัด แต่เชื่อว่าทองแดงดูดซึมในรูปของ stable solution complexes ส่วนมากจับกับกรดอะมิโน แต่ไม่ถูกดูดซึมในรูปของไอออน เมื่อถูกดูดซึมทองแดงจะจับกับอัลบูมินและกรดอะมิโนแบบหลวม ๆ เพื่อจะเกิดการส่งผ่านไปยังตับที่เป็นที่เก็บสะสมของทองแดง การดูดซึมของทองแดงที่ได้รับจากอาหารหรือจากแหล่งเกลืออนินทรีย์สารไม่แตกต่างกัน การดูดซึมทองแดงในสัตว์ที่โตเต็มที่อยู่ระหว่าง 5-10% แต่ในลูกสัตว์ทองแดง

ถูก ดูดซึมระหว่าง 15-30% ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการดูดซึมทองแดงอีกประการหนึ่ง ได้แก่ ผลกระทบต่อแร่ธาตุด้วยกัน คือ โมลิบดินัมและซัลเฟอร์ ระดับของโมลิบดินัมและซัลเฟอร์ที่มีอยู่ในอาหารจะมีผลกระทบต่อการดูดซึมของทองแดง โดยโมลิบดินัมและซัลเฟอร์ลดความเป็นประโยชน์ของทองแดงในทางเดินอาหารของสัตว์ โดยการจับกับทองแดงเป็นสารประกอบที่ไม่ละลายในทางเดินอาหาร คือ Cu-thiomolybdates ทำให้การดูดซึมของทองแดงลดลง (Grace, 1983) นอกจากนี้ปัจจัยเกี่ยวกับสัตว์ก็มีอิทธิพลต่อการดูดซึมของบทองแดง เช่นการดูดซึมของทองแดงในสัตว์เคี้ยวเอื้องในช่วงที่กระเพาะหมักยังไม่พัฒนา จะสูงกว่าสัตว์ที่มีกระเพาะหมักที่พัฒนาเต็มที่มาก และพยาธิในระบบทางเดินอาหารพบว่ามีผลต่อการดูดซึมทองแดงเช่นเดียวกัน

การแสดงอาการขาดแร่ธาตุทองแดง ลักษณะของการแสดงอาการขาดของทองแดงมีความแปรปรวนไปตามอายุ และชนิดของสัตว์ แต่ในสัตว์เกือบทุกชนิดการขาดทองแดงจะมีลักษณะอาการโลหิตจาง อัตราการเจริญและการพัฒนาลดลง ลักษณะอาการ เช่น ท้องร่วง การเปลี่ยนแปลงของสีขนทำให้เกิดสีจางลง ยับยั้งการสร้างกระดูก และเกิดการแตกร้าวของกระดูก รวมไปถึงการเกิด demyelinization ของ spinal column ของ spinal cord โคที่ขาดทองแดงจะมีอาการ unthrifty การเจริญเติบโตลดลงและมีปัญหาทางระบบสืบพันธุ์ ลูกโคมีการเพิ่มน้ำหนักน้อยและกระดูกแตกหักง่าย การทำงานของกระดูกสันหลังส่วนท้ายผิดปกติ สีขนมีสีซีดจาง นอกจากนี้การขาดทองแดงในโคยังทำให้มีมูลเหลวคล้ายกับท้องเสีย (scour) หรือ ‘peat diarrhoea’

การได้รับทองแดงที่มากเกินไปเป็นเวลานานจะทำให้เกิดการตายของเซลล์ตับ, methaemoglobinaemia, hypercucupraemia, bilirubinaemia และ haemolysis ของเม็ดเลือดแดง ลักษณะทางคลินิกที่แสดงออก เช่น ดีซ่าน ไม่อยากอาหาร กระหายน้ำ อัตราการหายใจเพิ่มขึ้นและ intensified heartbeat สัตว์ชอบนอนบนพื้นดิน และอาจนำไปสู่การตายเนื่องจากตับถูกทำลายที่นำไปสู่การแสดง dyspnea และ spasms

2.3.1.2 สังกะสี (Zinc, Zn)

สังกะสี พบอยู่ทั่วไปและมีปริมาณค่อนข้างสูงในร่างกาย ในเนื้อเยื่ออ่อนนุ่มมีสังกะสีประมาณ 0.23 ถึง 0.8 mmol/kg และมีมากในผิวหนัง ขน ผม และเขา นอกจากนี้ยังพบสังกะสีในอวัยวะเพศตัวผู้รวมทั้งในน้ำกาม ความเข้มข้นของสังกะสีในเลือดของโคอยู่ระหว่าง 12 ถึง 18.5 μmol/L ส่วนในน้ำนมมีสังกะสีประมาณ 0.05 ถึง 1 μmol/L แต่ปริมาณสังกะสีในน้ำนมเปลี่ยนแปลงได้ง่ายตามปริมาณสังกะสีที่ได้รับ ระยะของช่วงการให้นม นมน้ำเหลือง ส่วนในนมน้ำเหลืองมีปริมาณสังกะสีเป็นจำนวนมาก

หน้าที่ทางชีวเคมีของสังกะสี สังกะสีมีบทบาทสำคัญของการกทำงานต่าง ๆ ในร่างกาย ที่มีผลต่อการเจริญเติบโต การพัฒนาหน้าที่ของระบบสืบพันธุ์ การสร้างกระดูกและเลือด รวมทั้งกระบวนการเมทาบอลิซึมของกรดนิวคลิอิก โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต สังกะสีจะเข้า

ไปเกี่ยวข้องในกระบวนการต่าง ๆ นั้น โดยทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์และตัวกระตุ้นของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น สังกะสีจะเป็นองค์ประกอบหลักของเอนไซม์หลาย ๆ ตัวรวมทั้งทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์หลาย ๆ ตัวเช่นเดียวกัน เนื่องจากสังกะสีเป็นแร่ธาตุประจุบวกที่ไม่จำเพาะจึงสามารถทำหน้าที่ในการกระตุ้นเอนไซม์ uricase, dipeptidases of intestinal juice และเอนไซม์ตัวอื่น ๆ นอกจากนี้สังกะสียังเกี่ยวข้องกับฮอร์โมนอินซูลิน ถึงแม้ว่าสังกะสีไม่ได้เป็นองค์ประกอบของฮอร์โมนอินซูลิน แต่จะทำหน้าที่ในการ hydroglycaemic effect ของฮอร์โมนนี้ ทำให้เกิดการคงตัวและปกป้องการย่อยของฮอร์โมน insulinase และในหลาย ๆ เนื้อเยื่อพบว่าสังกะสีมีการจับกับ nucleotides เป็นสารประกอบเชิงซ้อน แต่ไม่คงตัวเท่ากับจับกับกรดอะมิโน ซึ่งสังกะสีก็จะเกี่ยวข้องกับการรักษาสภาพของ RNA ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีนและถ่ายรหัสพันธุกรรม

การดูดซึม เมแทบอลิซึม และการขับออกของสังกะสี สังกะสีเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์หลายตัวและมีบทบาทที่สำคัญในกระบวนการทางชีวเคมีในร่างกายโดยเฉพาะเมทาบอลิซึมของกรดนิวคลีอิก คาร์โบไฮเดรต รวมทั้งการสังเคราะห์โปรตีน ดังนั้น เมื่อสัตว์ขาดสังกะสี จึงมีผลกระทบต่อการทำงานของเซลล์จำนวนมาก ในร่างกายสัตว์สามารถระบุได้ว่าเนื้อเยื่อหรืออวัยวะส่วนใดที่เป็นแหล่งสะสมของสังกะสี ที่สามารถแลกเปลี่ยนหรือนำมาใช้ในกรณีที่ขาดสังกะสีในระยะยาวได้ ดังนั้น การป้องกันการขาดสังกะสี สัตว์จึงจำเป็นต้องได้รับสังกะสีจากอาหารอย่างต่อเนื่อง การควบคุมสังกะสีในร่างกายโดยการควบคุมการดูดซึมของสังกะสีที่อะโบมาซัมและลำไส้เล็ก โดยพบว่าเมื่อสัตว์ได้รับสังกะสีในอาหารต่ำ การดูดซึมสังกะสีเพิ่มขึ้น (ฉลอง วชิราภากร, 2543)

สังกะสีจะมีการดูดซึมส่วนใหญ่ที่บริเวณลำไส้เล็กส่วนต้น ในสัตว์ที่โตเต็มที่ปริมาณการดูดซึมสังกะสีในสัตว์กระเพาะเดี่ยวประมาณ 7-15% ขณะสัตว์เคี้ยวเอื้องมีการดูดซึมอยู่ระหว่าง 20-40% ส่วนในลูกสัตว์นั้นจะมีการดูดซึมที่สูงกว่า ในอาหารที่มีแคลเซียมสูงประกอบกับมีกรดไฟติค (phytic acid) สูงจะยับยั้งการดูดซึมของสังกะสี สังกะสีนั้นจะถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์ของผนังเนื้อเยื่ออย่างรวดเร็ว แต่มีอัตราปลดปล่อยเข้าสู่กระแสเลือดในอัตราที่ค่อนข้างต่ำ นอกเหนือจากปัจจัยการยับยั้งการดูดซึมของสังกะสีข้างต้นแล้ว ฟอสฟอรัส แคดเมียม ทองแดง chelating agents (เช่น EDTA) และวิตามินดี ก็มีผลต่อการลดการดูดซึมสังกะสีในลำไส้เล็กอีกด้วย สังกะสีที่อยู่ในพลาสมา ตับ ตับอ่อนและโครงร่าง จะมีการแลกเปลี่ยนค่อนข้างเร็ว ดังนั้นถ้าในอาหารที่สัตว์ได้รับมีสังกะสีต่ำ จะทำให้สังกะสีในอวัยวะต่าง ๆ เหล่านั้นลดลงอย่างรวดเร็ว แต่ในขณะที่สังกะสีในกล้ามเนื้อและสมองกับไม่มีการเปลี่ยนแปลง สังกะสีที่อยู่ในพลาสมาจะจับกันหลวม ๆ กับโปรตีนเป็นแหล่งของสังกะสีที่มีอยู่ในน้ำนม โดยจะจับอยู่กับเคซีนที่เป็นแบบทั้งคงตัวและสามารถเคลื่อนย้ายได้ ในน้ำนมสังกะสีอยู่ในรูปอิสระประมาณ 10% ที่เหลือจับอยู่กับไขมันและอัลบูมิน ซึ่ง

ในน้ำนมเหลืองจะมีสังกะสีอยู่มากกว่าปกติถึง 5 เท่า สำหรับการขับออกของสังกะสีส่วนมากหลั่งออกมากับน้ำย่อยจากตับอ่อนและจากลำไส้ และถูกขับออกมาพร้อมกับมูล ส่วนสังกะสีที่ถูกขับออกมาทางปัสสาวะนั้นน้อยมาก แต่ในสัตว์เคี้ยวเอื้องสังกะสีจะถูกขับออกมากับน้ำลายและซึมผ่านผนังกระเพาะหมักโดยตรง

การแสดงอาการขาดแร่ธาตุสังกะสี ลักษณะที่พบในโคจะมีการหลั่งน้ำลายออกมามาก ขนแข็งกระด้าง ไม่มีความยืดหยุ่น และเกิดขนร่วงบริเวณรอบ ๆ ปากและตาตามมา ข้อต่อเคลื่อน มีการแตกหักของ coronary border ของกีบ ผิวหนังบริเวณจมูก คอ อัณฑะมีลักษณะหยาบแห้งหลุดลอกได้ง่าย ลักษณะการเปลี่ยนแปลงแบบนี้ของผิวหนังเรียกว่า parakeratosis อาการเหล่านี้มีผลทำให้การเจริญเติบโตลดลง เนื่องจากการกินอาหารได้ลดลงและประสิทธิภาพต่ำ นอกจากนี้ยังพบว่าบาดแผลหายยากและมีความไวต่อการติดเชื้อโรค การสืบพันธุ์ต่ำอาจเนื่องมาจาก poor testicular growth รวมทั้งการพัฒนาและการสร้างสเปริมส์ลดลงซึ่งความต้องการสังกะสีเพื่อการสืบพันธุ์พบว่ามีปริมาณที่มากกว่าเพื่อการเจริญเติบโต

2.3.1.3 แมงกานีส (Manganese, Mn)

แมงกานีสมีบทบาทที่สำคัญในการทำหน้าที่เป็น co-factor ของเอนไซม์หลาย ๆ ตัว และยังเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ที่สำคัญในกระบวนการทางชีวเคมีหลายกระบวนการ โดยเฉพาะ redox processes คือ การสังเคราะห์ mucopolysaccharides ที่เป็นส่วนของอินทรีย์สารในการสร้างกระดูกและฟัน การสังเคราะห์โคเลสเตอรอลที่ใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ฮอร์โมนหลาย ๆ ตัวเกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์กลูโคส โดยเฉพาะการสังเคราะห์กลูโคสจากสรตั้งต้นที่เป็นกรดอะมิโน และการใช้ประโยชน์ของกลูโคส นอกจากนี้แมงกานีสยังมีบทบาทที่สำคัญใน tissue respiratory และ bone formation และมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโต การสืบพันธุ์ การสร้างเลือด และหน้าที่ของต่อมไร้ท่อ แมงกานีสจะเกี่ยวข้องกับการสร้างกระดูกโดยการกระตุ้นเอนไซม์ alkaline phosphatase และการสังเคราะห์ acidic mucopolysacchrides ใน bone matrix และ cartilage ซึ่งกระบวนการนี้เกิดในลักษณะเดียวกันกับการทำให้เปลือกไข่แข็งตัว และแมงกานีสยังมีผลที่เฉพาะกับไขมัน โดยเพิ่มการใช้ประโยชน์ของไขมันในร่างกาย และป้องกันการสร้างไขมันที่ตับ

การดูดซึม เมแทบอลิซึม และการขับออกของแมงกานีส แมงกานีสนั้นจะมีการขับออกมากับมูลในปริมาณที่สูง (94% ของแมงกานีสที่ได้รับ) และขับออกมากับปัสสาวะน้อยมาก (1.6% ของแมงกานีสที่ได้รับ) แมงกานีสมีการดูดซึมที่ลำไส้เล็กและลำไส้ใหญ่ และการควบคุมสภาวะสมดุลของแมงกานีส โดยจะเพิ่มการหลั่งแมงกานีสกลับเข้ามาในทางเดินอาหาร ผ่านทางน้ำดี และมีบ้างจากน้ำย่อย จากตับอ่อนและจากทางเดินอาหาร ส่วนการขับออกของแมงกานีสมากับ

ปัสสาวะน้อยมาก โดยเฉลี่ยการสูญเสียแมงกานีสจากภายในประมาณ 6 mg/วัน (ฉลอง วชิราภากร, 2543)

แมงกานีสจะมีการดูดซึมที่บริเวณดูโอดีนัม ทั้งในสัตว์เคี้ยวเอื้องและสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง แต่ดูดซึมได้ในปริมาณที่ต่ำมากอยู่ระหว่าง 2-5% ของที่ได้รับ ส่วนในสัตว์เคี้ยวเอื้องดูดซึมได้สูงถึง 10-18% แมงกานีสถือว่ามีความสำคัญยิ่งต่อจุลินทรีย์ที่อยู่ในกระเพาะหมักของสัตว์เคี้ยวเอื้อง ซึ่งจะช่วยในกระบวนการหมักในกระเพาะหมักซึ่งจะช่วยส่งเสริมการทำงานของ bacteria deaminase และกระบวนการหมักของคาร์โบไฮเดรต

การแสดงอาการขาดแร่ธาตุแมงกานีส ในสัตว์ที่มีอายุน้อยที่ได้รับอาหารที่มีแมงกานีสต่ำ จะทำให้การสร้างกระดูกผิดปกติ ส่วนในสัตว์ที่โตเต็มที่จะมีปัญหาทางด้านการสืบพันธุ์ เช่น ทำให้การเป็นสัดช้าหรือขยายช่วงของการแสดงออกของการแสดงอาการเป็นสัด มีอัตราการผสมติดต่ำ ในโค ถึงแม้ว่ามีการรายงานเกี่ยวกับลักษณะของอาการที่ได้รับแมงกานีสที่มากจนเกินไปน้อยมาก และที่พบในกรณีที่ได้รับแมงกานีสที่มากจนเกินไปก็คือ การเจริญเติบโตลดลง (ฉลอง วชิราภากร, 2543)

2.3.1.4 ซีลิเนียม (Selenium, Se)

ในสัตว์เลี้ยงมีซีลิเนียมประมาณ 20-25 µg/kg แต่ค่านี้อาจจะเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับซีลิเนียมที่มีอยู่ในอาหาร นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับอายุสัตว์ด้วย ซีลิเนียมพบอยู่ทั่วไปในเนื้อเยื่อ เซลล์ และของเหลวในร่างกาย แต่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน ความเข้มข้นของซีลิเนียมในเลือดมีค่าอยู่ระหว่าง 50-180 µg/L ซึ่งความเข้มข้นของซีลิเนียมในเม็ดเลือดแดงจะมีมากกว่าในพลาสมาสองเท่า หรือกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่า 70% ของซีลิเนียมในเลือดอยู่ในเม็ดเลือดแดง

หน้าที่ทางชีวเคมีของซีลิเนียม ซีลิเนียมเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต และความสมบูรณ์พันธุ์ในสัตว์ มีผลต่อการป้องกันโรคหลายชนิดที่มีความเกี่ยวข้องกับวิตามินอี โรคเหล่านี้ได้แก่ เนื้อตายในตับของหนูและสุกร exudative diathesis และ pancreatic fibrosis ในสัตว์ปีก hepatosis diaetetica และ mulberry heart disease ในสุกร และ muscular dystrophy ในลูกแกะ ลูกโคและสปีชีส์อื่น ๆ ซีลิเนียมที่มีบทบาทในการป้องกันโรคส่วนมากอยู่ในรูป glutathione peroxidase (GSH-Px) ซึ่งมีซีลิเนียมประกอบอยู่ 4 atom Se/mone โดย GSH-Px จะไปมีผลต่อการลด H_2O_2 และ hydroperoxides ที่เกิดจากการสลายกรดไขมัน ดังปฏิกิริยา

$$ROOH + 2GSH \longrightarrow R\text{-}OH + HOH + GSSG$$

ดังนั้น บทบาทของซีลิเนียมมีผลต่อการป้องกันเซลล์ถูกทำลาย ซึ่งหน้าที่ของซีลิเนียมที่มีความสัมพันธ์กับวิตามินอี คือ ทำหน้าที่เป็นสาร antioxidant แต่วิตามินอีมีหน้าที่ในผนังเซลล์

โดยเป็น specific lipid-solution antioxidant ส่วนซีลิเนียมเป็นองค์ประกอบของ cytosolic GSH-Px ในการกำจัด peroxides ด้วยเหตุนี้ GSH-Px จึงเป็นตัวแรกที่มีบทบาทป้องกันการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ของไขมัน นอกจากนี้ซีลิเนียมยังมีบทบาทอื่น ๆ ที่นอกเหนือจากซีลิเนียมที่อยู่ในรูป GSH-Px เช่น selenium containing cytochrome ที่มีลักษณะที่คล้ายคลึงกับ cytochrome C ซีลิเนียมยังพบว่ามีบทบาทต่อเมทาบอลิซึมของ sylphydyl compounds ใน oxidative processes ของ tricarboxylic acid และกระบวนการเมทาบอลิซึมของไขมันและกลูโคส นอกจากนี้ซีลิเนียมยังมีความสามารถที่จะจับกับโลหะหนัก เช่น cadmium และ mercury ซึ่งเป็นการป้องกันการเป็นพิษของโลหะหนักได้

การดูดซึม เมแทบอลิซึม และการขับออกของซีลิเนียม ซีลิเนียมที่ได้รับจากอาหารจะมีการดูดซึมอย่างรวดเร็ว ทั้งในสัตว์เคี้ยวเอื้องและสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง ส่วนใหญ่แล้วจะดูดซึมที่บริเวณส่วนปลายของลำไส้เล็ก ส่วนในการขับออกของซีลิเนียมจากภายในเข้ามาในทางเดินอาหารจากส่วนดูโอดินัม โดยมากับน้ำดี (ในรูป taurine) และน้ำย่อยจากตับอ่อน ปริมาณการดูดซึมของซีลิเนียมในสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้องจะสูงกว่าสัตว์เคี้ยวเอื้อง (85% กับ 35% ตามลำดับ) แลยิ่งมีการดูดซึมมากขึ้น ในสัตว์ที่ได้รับอาหารที่มีซีลิเนียมน้อย การดูดซึมของซีลิเนียมที่เสริมในอาหารรูป ซีลิเนียม-กรดอะมิโน สูงกว่าในรูป ซิลิไนท์ (selenite) กลไกการดูดซึมของซีลิเนียมเป็นในลักษณะต่อต้านความเข้มข้นที่ต้องอาศัยพลังงาน หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นการดูดซึมแบบ active mechanism นอกจากนี้มีรายงานว่าการดูดซึมของซีลิเนียม-กรดอะมิโน มีกลไกลการดูดซึมคล้ายกับ ซัลเฟอร์-กรดอะมิโน และเกิดในบริเวณเดียวกัน

การแสดงอาการขาดแร่ธาตุซีลิเนียม ในสัตว์มีอาการของโรคที่มีความเกี่ยวข้องกับซีลิเนียมและวิตามินอี ในกรณีที่เกิดการขาดได้แก่ โรคที่สามารถรักษาได้โดยวิตามินอี แต่ไม่สามารถรักษาได้โดยซีลิเนียม เช่น muscular dystrophy ในกระต่าย encephalomalacia ในลูกไก่ โรคที่สมารถรักษาได้ทั้งวิตามินอี และซีลิเนียม เช่น liver necrosis ในหนู exudative diathesis ในลูกไก่ และโรคที่ไม่สามารถรักษาได้โดยวิตามินอี แต่สามารถรักษาได้โดยซีลิเนียม เช่น muscle disease ในแกะและโค ส่วนการได้รับซีลิเนียมมากจนเกินไปอาจทำให้เกิดความเป็นพิษในสัตว์ทั้งที่เป็นแบบเฉียบพลันและแบบเรื้อรัง เช่น การเกิด alkaline disease ในม้า แกะ และโค blind spin ในแกะและโค และการเกิด white muscle disease ในลูกสัตว์ที่เกิดใหม่

2.3.2 การเสริมแร่ธาตุปลีกย่อยในอาหารโคนมที่มีผลต่อผลผลิตน้ำนม

ตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพทางด้านสุขศาสตร์ของน้ำนมคือจำนวนแบคทีเรียและเซลล์เม็ดเลือดขาวซึ่งมีความเชื่อมโยงกับผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนม มีข้อมูลเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่ยืนยันผลของการเสริมแร่ธาตุปลีกย่อยบางชนิดและรูปแบบต่าง ๆ ในอาหารโคนมต่อองค์ประกอบและคุณภาพของน้ำนม ผลของการใช้คีเลทและกรดอะมิโนที่มีส่วนผสมของ Cu, Zn

และ Mn ในอาหารโคนมต่อจำนวนเซลล์เม็ดเลือดขาวในน้ำนมนั้น มีความผันแปรในหลาย ๆ งานวิจัย ซึ่งในการศึกษาของ Strusinska, Mierzejewska, and Skok (2004), Zieminski, Korniewicz, Kinal, Tomaszewski, and Lenarska (2002) และ Kinal, Korniewicz, Jamroz, Zieminski, and Slupczynska. (2005) พบว่าเมื่อให้โคนมได้รับแร่ธาตุอินทรีย์จำนวนเซลล์เม็ดเลือดขาวในน้ำนมลดลง

งานวิจัยโดย Zieminski et al. (2002) และ Kinal et al. (2005) ในโคนมที่ให้นมเฉลี่ย 6,500 kg ผลการทดลองพบว่าโคนมให้ผลผลิตสูงสุดเมื่อ 30% ของความต้องการ Zn, Cu, และ Mn อยู่ในรูป amino acid complexes แนวโน้มการเพิ่มขึ้นขององค์ประกอบทางเคมีของโปรตีนน้ำนมของโคที่ได้รับ trace element bioplexes เหมือนกับผลการทดลองของ Strusinska et al. (2004) ซึ่งรายงานว่าองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเสริม amino acid complexes และ chelates ของ Zn, Cu, และ Mn ผลของการเสริม amino acid และ chelates ในอาหารโคต่อ somatic cells count ในน้ำนมพบว่าสามารถลด somatic cells count ได้อย่างมีนัยสำคัญ (Strusinska et al. (2004), Zieminski et al. (2002) และ Kinal et al. (2005)) อย่างไรก็ตาม ผลของงานวิจัยอื่นไม่ได้ยืนยันผลดีของแร่ธาตุปลีกย่อยอินทรีย์ที่เสริมในอาหารโคนม ทั้งนี้เพราะเป็นการเสริม bioplexes ของ zinc, copper, และ manganese ในอาหารโคนมที่ให้นม 9,500 kg of milk เพียง 20% ของความต้องการแร่ธาตุเหล่านี้ ผลตอบสนองที่ได้เพียงเพิ่มผลผลิตน้ำนม และผลผลิตโปรตีนในช่วงเดือนที่ 2 และ 3 ของการให้นม นอกจากนี้พบว่าเซลล์เม็ดเลือดขาวในน้ำนมต่ำที่สุดในเดือนที่ 3 ของระยะให้นม

ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการสืบพันธุ์ของโคนมที่ให้ลูกตัวแรกคือการคลอดยาก สภาพร่างกาย และการจัดการการให้อาหาร (DeRouen et al., 1994; Spitzer, Morrison, Wettemann, and Faulkner, 1995) การให้โคได้รับโปรตีน พลังงานและแร่ธาตุไม่เพียงพอต่อความต้องการจะทำให้มีการสูญเสียน้ำหนักตัวและมีผลต่อการสืบพันธุ์ การขาดแร่ธาตุปลีกย่อยอาจเกิดขึ้นได้ถ้าโคได้รับแร่ธาตุปลีกย่อยไม่เพียงพอ หรือมีปัจจัยอื่น ๆ ในอาหารรบกวนการดูดซึม และ/หรือ เมแทบอลิซึม การศึกษาถึง bioavailability ของ organic และ inorganic minerals มีรายงานผลการทดลองที่ยังขัดแย้งกันอยู่ Ward, Spears, and Kegley (1993) และ Wittenberg, Boila, and Shariff (1990) พบว่าไม่มีความแตกต่างของbioavailability ของorganic และ inorganic minerals อย่างไรก็ตาม Kincaid, Blauwiekel, and Cronrath (1986) รายงานว่าลูกโคที่ได้รับ Cu proteinate จะมีระดับ Cu ในตับและใน serum สูงกว่าลูกโคที่ได้รับ Cu sulfate ในขณะที่ Kropp (1990) พบว่าการเสริม chelated minerals ให้กับโคสาวท้องแรกในช่วง 30 วัน ก่อนถึงฤดูผสมพันธุ์ จะได้รับการผสมพันธุ์ก่อนโคสาวท้องแรกที่เสริม inorganic minerals งานวิจัยของ DiCostanzo, Meiske, Plegge, Haggard, and

Chaloner (1986) ทำการเสริม Mn, Cu, และ Zn ในสัดส่วนและระดับต่าง ๆ กัน พบว่าไม่มีผลต่อการสืบพันธุ์

2.4 แร่ธาตุอินทรีย์

งานวิจัยเกี่ยวกับแร่ธาตุปลีกย่อยและคำแนะนำของอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ในช่วง 5 ปีที่ผ่านมามุ่งเน้นถึงการให้โคนมได้รับแร่ธาตุปลีกย่อยในระดับที่สูงกว่าเดิมเพราะสังเกตพบผลตอบสนองที่ดีในการศึกษาในโคขุน นอกจากนี้ผลตอบสนองจะมากกว่าเมื่อเป็นแร่ธาตุอินทรีย์เมื่อเปรียบเทียบกับแร่ธาตุอนินทรีย์ ความสนใจมุ่งไปยังโภชนะศาสตร์แร่ธาตุปลีกย่อยในการจัดการโคนมและโคเนื้อ เพราะเหตุผลเบื้องต้นมีความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะแร่ธาตุปลีกย่อยกับภูมิคุ้มกันโรค ความต้านทานต่อโรค และความสมบูรณ์พันธุ์ โดยเฉพาะพบว่า ซีลีเนียม วิตามินอี ทองแดง และสังกะสี มีบทบาทสำคัญต่อหน้าที่ทางสรีรวิทยาดังกล่าว (Kellogg, 1990; Scaletti, Trammell, Smith, and Harmon, 1999; Smith, Conrad, Amiet, and Todhunter, 1985; Smith, Harrison, Hancock, Todhunter, and Conrad, 1984; Xin, Hemken, Waterman, and Harmon, 1991) การแสดงอาการขาดอาจเป็นปัญหาต่อการเจริญเติบโตและผลผลิต แต่ถ้าเป็นการขาดที่ไม่แสดงอาการ หรือแสดงอาการเพียงเล็กน้อยจะมีผลต่อการทำหน้าที่ของภูมิคุ้มกันโรค การต้านทานต่อโรค และประสิทธิภาพการสืบพันธุ์

เหตุผลที่ใช้แร่ธาตุปลีกย่อยในรูปอินทรีย์เพราะมีรายงานการเพิ่มขึ้นของ bioavailability ของแร่ธาตุจากแหล่งอินทรีย์เปรียบเทียบกับแหล่งอนินทรีย์ ถึงแม้ว่ารายงานวิจัยที่ตีพิมพ์จะให้ผลผันแปรเมื่อเปรียบเทียบแร่ธาตุอินทรีย์กับแร่ธาตุอนินทรีย์ อย่างไรก็ตาม ยังมีรายงานบางรายงานที่รายงานผลในเชิงบวกเมื่อเสริมแร่ธาตุในรูปอินทรีย์ Clark, Xin, Du, and Hemken (1993) แสดงให้เห็นว่าโคเนื้อที่เสริม Cu ในปริมาณที่เท่ากัน ในรูปของ Cu proteinate, Cu sulfate,หรือ Cu oxide เป็นระยะเวลา 84 วัน จะมีองค์ประกอบของ Cu ในตับเท่ากับ 79.3, 56.8, และ 34.3 mg/kg DM เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ก่อนหน้านี้โคเหล่านี้ได้รับ Cu oxide แต่ก็ยังมีการแสดงอาการขาดทองแดง Cao et al. (2000) ประเมินผลิตภัณฑ์ organic zinc ทางการค้า 8 ชนิด ในเรื่องที่เกี่ยวกับ bioavailability ในลูกไก่และในลูกแกะ พบว่าในลูกแกะ bioavailability เมื่อเปรียบเทียบกับ 100% ของ Zn sulfate เท่ากับ 130, 110, และ 113 สำหรับ Zn proteinate, Zn amino acid chelate, และ Zn methionine ตามลำดับ

2.4.1 แร่ธาตุอินทรีย์ เต้านมอักเสบ และเซลล์เม็ดเลือดขาว (Organic Minerals, Mastitis, and Somatic Cell Counts)

การศึกษาที่ University of Kentucky (Harmon, Trammell, Smith, and Scaletti, 1998) ได้ประเมินผลของ Cu proteinate ต่อสภาวะของทองแดง การติดเชื้อของเต้านมของโคสาวท้องแรก

และผลตอบสนองต่อวัคซีนป้องกัน *E. coli* J-5 ใช้โคสาวพันธุ์โฮลสไตน์ท้องแรกจำนวน 31 ตัว ได้รับอาหารที่มี 6-7 ppm Cu (-CU) หรือ 10 ppm copper proteinate (CUP; Bioplex, Alltech, Inc.) หรือ 10 ppm copper sulfate (CUS) โดยเริ่มที่ 120 d ก่อนคลอดจนถึง 60 d ของระยะให้นม โคทุกตัวได้รับวัคซีน *E. coli* J-5 bacterin ที่ -60 d, -30 d, และเมื่อคลอด ทำการเก็บตัวอย่างตับและเลือดระหว่างการทดลองเพื่อวิเคราะห์แร่ธาตุในตับและในเลือด และ plasma ceruloplasmin (Cp) วิเคราะห์ titers ของ *E. coli* J-5 ผลการทดลองพบ titers ในกลุ่ม CUP สูงกว่าในกลุ่ม CUS ($P<0.07$) เมื่อคลอด การประเมินองค์ประกอบ Cu ในตับและในพลาสมา และ plasma Cp activities พบว่ามีแนวโน้มสนับสนุนแนวคิดที่ว่าการเสริม organic Cu สามารถเพิ่ม bioavailability ได้มากกว่า inorganic Cu ในโคสาวท้องแรก ค่าเฉลี่ย Cu ในตับของกลุ่ม CUP และ CUS สูงกว่ากลุ่ม -Cu ประมาณ 2 เท่า มีรายงานว่า Cp เป็นโปรตีนที่ขนย้าย Cu หลัก ที่ผลิตในตับ ข้อมูล Cu และ Cp ในเลือด แนะนำว่า CUP มีผลกระทบต่อระดับ plasma Cu โดยไม่ต้องมีการกระตุ้นของ Cp ข้อคำแนะนำคือ CUP อาจถูกจับ และหรือขนถ่ายโดยกลไกที่แตกต่างจาก inorganic Cu เต้านมของโคนมกลุ่ม CUP ไม่มีการติดเชื้อหรือติดเชื้อ coagulase-negative staphylococci (considered a minor pathogen) น้อยกว่า ($P<.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับโคนมในกลุ่ม -Cu และ CUS

ข้อมูลเกี่ยวกับกลไกของ Zn ในการต้านทานต่อโรคเต้านมอักเสบนั้นมีจำกัด การขาด Zn ในสัตว์เคี้ยวเอื้องทำให้ผิวหนังและ epithelia (i.e. keratinocytes) อ่อนแอ เช่นเดียวกับการลดขนาดของการเพิ่ม basal metabolic rate เมื่อได้รับการติดเชื้อ (Suttle and Jones, 1989) ทั้งนี้เป็นเพราะว่าต่อมสร้างน้ำนมเป็นต่อมผิวหนังที่จำเป็น (essentially skin gland) และความสำคัญของ keratin ที่เคลือบอยู่ใน streak canal ในการป้องกันการติดเชื้อ การเสริม Zn จะช่วยในการต่อต้านต่อการเกิด mastitis การศึกษาส่วนใหญ่จะเน้นถึงการลดลงของเซลล์เม็ดเลือดขาวในน้ำนมเมื่อเสริม Zn ในรูปอินทรีย์ Kellogg (1990) สรุปผลการทดลอง 8 การทดลองที่ประเมินผลการเสริม Zn-methionine เปรียบเทียบกับ Zn oxide และ methionine ในปริมาณที่เท่ากัน ผลการทดลองโดยรวมสรุปว่า การเสริม Zn-methionine (180 หรือ 360 mg Zn, 360 หรือ 720 mg methionine) ทำให้ SCC ลดลง 22% เมื่อเสริมในระดับต่ำ การเสริมใน Zn-methionine ระดับสูง สามารถลด SCC ได้ถึง 50% อย่างไรก็ตาม มีอยู่ 1 งานวิจัย ไม่พบว่า SCC ลดลง เมื่อเสริม Zn-methionine

Galton (1990) พบว่า Zn-methionine ไม่มีผลต่ออัตราการเกิดการติดเชื้อจากการกระตุ้นด้วย *Streptococcus agalactiae* ถึงแม้ว่า SCC จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญในโคที่เสริม ในทางตรงกันข้าม Spain (1993) รายงาน Zn proteinate (providing 50% of a total 800 mg Zn per cow per day as proteinate) มีผลดีต่ออัตราการเกิดการติดเชื้อ และพบว่าการเสริม Zn proteinate ไม่มีผลต่อ SCC และต่อผลผลิตน้ำนม เมื่อเปรียบเทียบกับ Zn oxide อย่างไรก็ตาม จำนวนโคที่ติดเชื้อเป็น 2 เท่า ในโคที่เสริม Zn oxide เมื่อเปรียบเทียบกับโคที่เสริม Zn proteinate ดังนั้น Spain (1993) จึง

แนะนำว่า organic Zn มีประโยชน์ในการเพิ่มความต้านทานต่อเชื้อโรคที่ทำให้เกิดโรคเต้านมอักเสบ เพราะบทบาทของ Zn ต่อการรักษาความแข็งแรงของผิวหนังและ keratin ที่เคลือบ streak canal

มีหลายการศึกษาที่แสดงให้เห็นว่า SCC ลดลงในโคนมที่เสริมด้วยส่วนผสมของ mineral proteinates ซึ่ง Harris (1995) รายงานผลของการศึกษาเป็นระยะเวลา 90 วัน ที่โคนมกลุ่มหนึ่งจำนวน 70 ตัว ได้รับ TMR และเสริมด้วย 400 mg Zn ต่อตัวต่อวัน ในรูป Zn proteinate ส่วนกลุ่มควบคุมได้รับ TMR ปกติ ค่าเฉลี่ย SCC ในโคกลุ่มที่เสริม Zn proteinate ลดลง 24% ในขณะที่ SCC ในกลุ่มควบคุมเพิ่มขึ้น 36% Boland, O'Donnell, and O'Callaghan (1996) รายงานผลการทดลองจาก 3 การทดลองที่แตกต่างกัน โดยเสริมส่วนผสมของ mineral proteinates ในอาหารโคนม ซึ่ง mineral proteinates (Zn, Cu, และ selenium yeast) จะให้แร่ธาตุต่อตัวต่อวันดังนี้ Cu, 100 mg; Zn, 300 mg; Se, 2 mg ปริมาณแร่ธาตุในเลือดของโคนมเป็นปกติทั้ง 2 กลุ่ม หมายถึงโคนมทั้ง 2 กลุ่มมีสภาวะของแร่ธาตุเพียงพอ และไม่ได้รับผลกระทบจากการเสริมแร่ธาตุ อย่างไรก็ตาม โคนมที่ได้รับ mineral proteinates ทั้ง 3 การทดลอง ระดับของ SCC ในน้ำนมลดลง 52%, 45%, และ 35% ตลอดระยะเวลาการทดลอง ในงานทดลองสุดท้าย SCC ลดลงถึง 52% ในช่วง 4 สัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง จากผลการทดลองดังกล่าวสรุปได้ว่าการเสริม organic mineral จะมีผลดีต่อการลดลงของ SCC ในฝูง ซึ่งหมายถึงสุขภาพของเต้านมดีขึ้น

ตารางที่ 2.2 ผลของการเสริม mineral proteinate (Bioplex) ต่อจำนวนเซลล์เม็ดเลือดขาวในน้ำนม

Form of proteinate supplemented	**Mineral supplied Daily as proteinate**	**% reduction in SCC**	**Reference**
Zn	400 mg	57% (~ 40%; adjusted)	Harris, 1995 (n = 70 per group)
Cu Zn Se	100 mg 300 mg 2 mg	52%	Boland et al., 1996 (n = 7 per group)
Cu Zn Se	100 mg 300 mg 2 mg	35%; wk 0 to 12 52%; wk 9 to 12	Boland et al., 1996 (n = 23 per group)
Cu Zn Se	100 mg 300 mg 2 mg	45%	Boland et al., 1996 (n = 28 per group)

2.4.2 แร่ธาตุอินทรีย์กับการสืบพันธุ์ (Organic Minerals and Reproduction)

เป็นที่ทราบกันมานานแล้วว่า Selenium และ vitamin E มีผลกระทบต่อการสืบพันธุ์ การศึกษาของ Harrison, Hancock, and Conrad (1984) ทำการฉีด 0.1 mg Se per kg BW เมื่อ d 21 ก่อนคลอด และเสริม 1000 IU vitamin E per cow per day เป็นระยะเวลา 21 วัน หลังคลอด ผลการทดลองไม่พบว่ามีโคนมที่ได้รับการเสริม Se และ vitamin E เกิดรกค้าง เมื่อเปรียบเทียบกับโคนมที่ไม่ได้รับการเสริมเกิดรกค้าง 17.5% ตรวจพบ Cystic ovaries ในโคที่ได้รับ Se 19% และในโคที่ไม่ได้รับ Se 47% แต่Boland, O'Donnell, and O'Callaghan (1996) พบว่าโคที่ได้รับ organic trace minerals (Cu, Zn, และ Mn proteinates และ Se yeast) มีระยะเวลาจากคลอดถึงวันที่พบ first dominant follicle (7.8 vs 9.3) ลดลง และมีระยะเวลาจากคลอดถึงช่วงเวลาของการตกไข่น้อยกว่า 5 วัน และระยะเวลาจากคลอดถึงวันที่ได้รับการผสม (first service) น้อยกว่า 6 วัน อัตราการผสมติดจากการผสมครั้งแรก (first service conception rate)ดีขึ้นจาก 57.7% เป็น 65.2% Fallon, Matovani, Roche, and Boland (1993) แสดงให้เห็นว่า superovulated, cross-bred heifers ที่ได้รับการเสริม organic Cu, Zn, และ Mn มีอัตราการปฏิสนธิเพิ่มขึ้น8.5% มีจำนวนตัวอ่อนที่ได้รับการปฏิสนธิเพิ่มขึ้น 36% ในขณะที่ Britt (1996) พบว่าการเสริม organic trace minerals ในอาหารของ superovulated cows มีผลทำให้จำนวน transferable embryos per flush เพิ่มขึ้น และทำให้มี Grade I embryos ที่เก็บได้เพิ่มขึ้นอย่างมาก จากผลการทดลองดังกล่าวพอสรุปได้ได้ว่าการเสริม organic trace minerals ในอาหารโคนมเป็นประโยชน์ต่อ reproductive performance

การพิจารณาว่าควรใช้ organic trace minerals เมื่อใดนั้น ควรพิจารณา 1) ช่วงหยุดให้นมและรอคลอด 2) โคคลอดใหม่ 3) โคที่อยู่ในสภาวะเครียด (ขณะคลอด ระหว่างการขนส่ง และเกิดการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ มาก) และ 4) ในช่วงผสมพันธุ์ (30 ถึง 60 วัน) คำแนะนำการเสริมคือระหว่าง 25 ถึง 30% ของความต้องการแร่ธาตุควรอยู่ในรูปอินทรีย์

Inorganic (selenite and selenate) และ selenium yeast (Se-yeast) เป็นแหล่ง Se ที่อนุญาตให้เสริมในโคนม Se-yeast จะมีองค์ประกอบของ Se ที่อยู่ในรูป seleno-methionine (Se-met) กลไกการดูดซึมในลำไส้เล็กระหว่าง inorganic Se และ Se-met นั้นแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง ดังนั้นปัจจัยที่ทำให้การดูดซึม inorganic Se ลดลง จะไม่มีผลกระทบต่อการดูดซึม Se-met นอกจากนี้เมทาบอลิซึมของ inorganic Se และ Se-met w ภายในเซลล์ก็แตกต่างกัน Inorganic Se เกือบทั้งหมดจะถูกใช้ในการสังเคราะห์ seleno-specific enzymes ในขณะที่ Se-met จะถูกใช้เพื่อการสังเคราะห์เอนไซม์อื่น ๆ และสามารถรวมกับโปรตีนใด ๆ ที่มี Met เป็นองค์ประกอบ โคนมที่ได้รับ Se-yeast จะมีความเข้มข้น Se ในเลือด (average = 20%) ในน้ำนม (90%) และมีกิจกรรมของ glutathione peroxidase (16%) สูงกว่าโคที่ได้รับ inorganic Se การให้โคได้รับ Se-yeast ในช่วงท้าย

ของการตั้งท้อง สามารถเพิ่มความเข้มข้นของ Se ในเนื้อเยื่อของลูกโคเกิดใหม่ จากข้อมูลที่มีอยู่ในปัจจุบัน Se-yeast จะมี bioactivity of Se สูงกว่า inorganic Se ประมาณ 20%

2.5 ความต้องการพลังงาน

พลังงานเป็นโภชนะที่มีการสะสมอยู่ในสารอาหารจำพวก คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีนจากอาหาร ซึ่งพืชจะเป็นตัวเก็บสะสมพลังงานเอาไว้โดยการสังเคราะห์แสง เมื่อสัตว์กินพืชเข้าไปก็จะได้สารประกอบที่มีส่วนประกอบของคาร์บอนและไฮโดรเจน ที่อยู่ในรูปสามารถนำไปเผาผลาญให้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และให้พลังงานแก่ตัวสัตว์ ซึ่งในสัตว์ทุกชนิดรวมทั้งสัตว์เคี้ยวเอื้องมีความต้องการพลังงานในการทำกิจกรรมต่าง ๆ เช่น เพื่อการดำรงชีพและการให้ผลผลิต ดังนั้นในการประกอบสูตรอาหารสัตว์จึงจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงพลังงานเป็นอันดับแรก เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของร่างกายสัตว์ ในทางผลิตสัตว์นั้นถือได้ว่าพลังงานเป็นต้นทุนส่วนใหญ่ที่สำคัญที่สุดในอาหาร

2.5.1 หน่วยของพลังงาน

ระบบการประเมินคุณค่าทางพลังงานของอาหารและระบบประเมินความต้องการอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีอยู่ด้วยกันหลายระบบอาทิ NRC (National Research Council) ของสหรัฐอเมริกา (TDN และ NET Energy System), ARC (Agricultural Research Council) ของสหราชอาณาจักร (Metabolisable Energy System) สำหรับประเทศไทยส่วนใหญ่อ้างจาก NRC และ ARC ในสหรัฐอเมริกานิยมใช้หน่วยวัดพลังงานอยู่ 2 วิธีด้วยกัน

2.5.1.1 โภชนะย่อยได้ทั้งหมด (Total Digestible Nutrients, TDN) หมายถึงผลรวมของ Digestible Protein, Fiber, Nitrogen-free-extract และ 2.25 (Fat)

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

2.5.1.2 Calorie System เป็นระบบที่ใช้วัดค่าพลังงานในอาหารโดยที่ 1 cal หมายถึงปริมาณความร้อนที่ต้องการทำให้น้ำ 1 กรัม มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 °C (โดยปรกติเพิ่มจาก 14.5 °C เป็น 15.5 °C) การวัดพลังงานความร้อนกระทำได้โดยการใช้เครื่องมือที่เรียกกว่า Bomb calorimeter เพื่อเผาผลาญอาหารที่ต้องการวัดค่าพลังงานในสภาพที่มี Oxygen

ประเทศในเครือจักรภพอังกฤษ (British Commonwealth) เช่น อังกฤษ นิวซีแลนด์ และออสเตรเลีย จะใช้ระบบวัดพลังงานที่เรียกว่า British Metabolisable Energy (ME) ระบบพลังงานระบบนี้มีหน่วยวัดเป็น Joules, Kilojoules และ Megajoules

การเทียบค่าพลังงานระหว่างระบบทั้งสองกระทำได้โดยประมาณดังนี้

1 cal = 4.184 joules

1 kgTDN = 3.82 Mcal ME = 19 MJ DE = 16 MJ ME ~ 4 Mcal

2.5.2 การจำแนกประเภทของพลังงาน

อาหารที่สัตว์กินเข้าไปจะผ่านกระบวนการต่าง ๆ ก่อนที่สัตว์จะนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น การย่อยได้ การดูดซึม และการเมทาบอลิซึม ในการนี้จะมีพลังงานที่สัตว์กินเข้าไปบางส่วนสูญเสียไปในรูปของมูล ปัสสาวะ ก๊าซจากการหมักย่อย และความร้อน พลังงานที่เหลือเรียกว่าพลังงานสุทธิ ซึ่งสัตว์จะนำไปใช้ในการดำรงชีพซึ่งสามารถจำแนกชนิดของพลังงานในอาหารสัตว์ตามหลักการกระจายของพลังงานในกระบวนการต่าง ๆ ของร่างกาย ดังแสดงในภาพที่ 2.1

2.5.2.1 พลังงานรวม หรือ Gross energy (GE) เป็นความเข้มข้นของพลังงานทั้งหมดในอาหาร หรือในเนื้อเยื่อสัตว์ ส่วนประกอบของอาหารที่ให้พลังงานได้แก่ ไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต ซึ่งมีพลังงานอยู่โดยประมาณเท่ากับ 39, 24 และ 17.5 MJ/kgDM ตามลำดับ โดยทั่วไปอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องจะมีค่า GE อยู่ในช่วง 18-19 MJ/kgDM (วิศิษฐิพร สุขสมบัติ, 2542) และเมื่อสัตว์กินอาหารเข้าไป ส่วนของ GE บางส่วนจะถูกนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการสร้างเนื้อเยื่อและสร้างผลผลิต เนื่องจากระหว่างที่เกิดกระบวนการย่อยและการเมทาบอลิซึมภายในร่างกายจะมีการสูญเสียพลังงานบางส่วนไป

2.5.2.2 พลังงานย่อยได้ (Digestible energy, DE) เป็นพลังงานส่วนใหญ่ของอาหารที่ถูกย่อยได้ หาค่าได้จากพลังงานทั้งหมด (GE) ที่สัตว์กินเข้าไปลบด้วยพลังงานที่ออกมาในมูล (Fecal energy, FE) แต่ค่า DE ที่วัดได้ไม่ใช่พลังงานอย่างแท้จริงของอาหารเพราะ FE ประกอบด้วยอาหารที่ย่อยไม่ได้จากจุลินทรีย์ และเนื้อเยื่อจากร่างกายสัตว์ ดังนั้น DE จึงสามารถคำนวณได้จาก

DE = GE – Fecal energy

2.5.2.3 พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (Metabolisable energy, ME) เป็นส่วนของ DE ที่ไม่ปรากฏในปัสสาวะและแก๊สมีเทน (ซึ่งผลิตขึ้นระหว่างการหมักย่อยในกระเพาะหมัก) กล่าวคือ DE เมื่อถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายจะเกิดการสลายตัว และในขณะเดียวกันจะมีพลังงานบางส่วนถูกขับออกภายนอกร่างกายโดยไม่ได้ใช้ประโยชน์ได้แก่พลังงานที่ขับออกทางปัสสาวะ (Urinary energy, UE) และพลังงานที่ขับออกในรูปแก๊ส (Gaseous หรือ Methane energy)

DE Intake – (Urinary energy + Methane energy) = Me Intake

ฉะนั้น ME intake สามารถคำนวณได้โดยการวัดค่า GE ในอาหารและวัดค่าพลังงานในอุจจาระปัสสาวะ และ Methane สำหรับ UE (Urinary energy) และ ME โดยปรกติจะมีค่าเป็นสัดส่วนค่อนข้างคงที่กับ DE (~18%) ฉะนั้นจึงสามารถประมาณค่า ME ได้ดังนี้

$$ME = 0.82DE$$

ความเข้มข้นของพลังงาน ME ที่ปรากฏอยู่ใน GE มีชื่อเรียกว่า Metabolisability (q) หรือ หมายถึง สัดส่วนของ ME ใน GE ของอาหารสัตว์

$$Q = ME/GE$$

2.5.2.4 พลังงานสุทธิ (Net energy) ในสัตว์ทุกชนิดรวมทั้งสัตว์เคี้ยวเอื้อง มีความต้องการพลังงานระดับหนึ่งเพื่อการดำรงชีพ (Requirement for maintenance) เพื่อการเจริญเติบโต (Requirement for grow) เพื่อสร้างผลผลิต (Requirement for production) และเพื่อการสืบพันธุ์ (Requirement for reproduction) โดยพลังงานที่กล่าวถึงนั้นจะเป็นพลังงานที่นำไปใช้ประโยชน์ (Metabolisable energy, ME) และพลังงานสุทธิ (Net energy, NE) ที่สัตว์ต้องการเพื่อทำกิจกรรมดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น

NRC (2001) ได้ทำการรวบรวมสมการที่ใช้ในการคำนวณความต้องการพลังงานในรูปของ NE ทั้งหมดต่อวัน (Mcal/day) ไว้ดังนี้

เมื่อ $NE_{LR} = NE_{LM} + NE_{LG} + NE_{LL}$

โดย NE_{LR} (Mcal/kg) = Net energy lactation requirement

NE_{LM} (Mcal/kg) = Net energy lactation requirement for maintenance

NE_{LG} (Mcal/kg) = Net energy lactation requirement for growth

NE_{LL} (Mcal/kg) = Net energy lactation requirement for lactation

1. ความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพ (Net energy lactation requirement for maintenance)

ความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพขึ้นอยู่กับกิจกรรมของตัวสัตว์ซึ่งมีความสัมพันธ์กับขนาดรูปร่างและพันธุ์การหา NE_{LM} ของโคนมที่ให้นมสามารถหาได้จากสมการ $0.073LW^{0.75}$ (NRC, 1988) อย่างไรก็ตามในสมการดังกล่าวได้มีการเผื่อในกิจกรรมบางส่วนอีก 10% ซึ่งจะได้สมการที่ใช้ในการหา NE_{LM} คือ $0.080LW^{0.75}$ (NRC, 1988) มีการศึกษาเกี่ยวกับการเลี้ยงโคนมโดยการปล่อยเลี้ยงในทุ่งหญ้าโดยการเพิ่มระยะทางในการเดินของโคนมและพบว่าในทุ่งหญ้าที่มีหญ้าไม่สมบูรณ์อาจจะมีการเผื่อในการคำนวณความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพจาก 10% เป็น 20% ก็ได้ นอกจากกิจกรรมของตัวโคนมเองแล้วสิ่งแวดล้อมรอบตัวของโคนมนั้นก็มีผลต่อความต้องการพลังงานด้วยเช่นกัน

ในขณะที่โคสาวนั้นจะมีสมการที่ใช้ในการคำนวณหาความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพ คือ

$$NE_{LM} = 0.086LW^{0.75} \quad \text{(NRC, 1988)}$$

2. ความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโต (NET energy lactation requirement for growth)

ความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตในการเจริญเติบโตของสัตว์นั้นดัชนีที่บ่งบอกได้ชัดเจนที่สุดก็คือน้ำหนักตัวของตัวสัตว์เอง Moe and Tyrrell (1974) พบว่าพลังงานที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม นั้นมีค่าพลังงานเท่ากับ 6 Mcal ซึ่ง Moe, Tyrrell, and Flatt (1971) ได้ประมาณการใช้พลังงานเพื่อการเจริญเติบโตไว้ว่าการสร้างน้ำนม 1 กิโลกรัม นั้นจะมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานจากน้ำหนักตัว 82% ดังนั้นในการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวที่ลดลง 1 กิโลกรัมของโคนมในช่วงระยะของการให้นมจะต้องการพลังงานเท่ากับ (6.00)(0.82) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.9 Mcal ในขณะที่การเพิ่มน้ำหนักตัวของโคนมในช่วงระยะของการให้นม 1 กิโลกรัม นั้นจะมีประสิทธิภาพของการใช้ ME ในการสร้างน้ำนม 1 กิโลกรัมซึ่งมีค่าเท่ากับ 64% และประสิทธิภาพในการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมของโคนมในระยะให้นมนั้น มีค่าเท่ากับ 75% ดังนั้นในการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมของโคนมในระยะของการให้นมจะต้องพลังงานเท่ากับ (6.00)(0.64/0.75) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.12 Mcal ซึ่งการคำนวณความต้องการของการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวของโคนมนั้นเพื่อที่จะช่วยในการป้องกันการขาดพลังงานของโคนมในระยะของการให้นมในระยะต่าง ๆ (NRC, 1988) ในขณะที่โคสาวจะมีความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโต

$$NE_{LG} = 0.045LW^{0.75} (LWG/1,000)^{1.119} + 1.0LWG/1,000$$

อย่างไรก็ตาม NRC (2001) ได้ปรับปรุงการประเมินความต้องการพลังงาน โดยยึดหลักการที่ว่าดัชนีบ่งชี้ถึงความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตควรจะเป็น Body condition score มากกว่าการใช้น้ำหนักตัวตาม NRC (1988) ฉะนั้นจึงควรใช้สมการดังต่อไปนี้ในการประเมินความต้องการพลังงานเพื่อการเพิ่มหรือลดน้ำหนักตัว

$$NE_{LGain} = \text{Reserve energy} \times (0.64/0.75)$$

$$NE_{LLose} = \text{Reserve energy} \times (0.82)$$

ทั้งนี้เพราะ

- ประสิทธิภาพของการใช้ NE ในการสร้างน้ำนม 1 กิโลกรัมมีค่าเท่ากับ 64%
- ประสิทธิภาพในการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมของโคนมในระยะให้น้ำนมนั้นมีค่าเท่ากับ 75%
- การสร้างน้ำนม 1 กิโลกรัมจะมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานจากน้ำหนักตัว 82%

เมื่อ

Reserve energy = (proportion empty body fat x 9.4) + (proportion empty body protein x 5.55)

Proportion empty body fat = 0.037683 x BSC (9)

Proportion empty body protein = 0.200886 – 0.0066762 x BCS(9)

BCS(9) = ((dairy BCS – 1) x 2) + 1

3. ความต้องการพลังงานเพื่อการสร้างน้ำนม (Net energy lactation requirement for lactation)

ในการคำนวณพลังงานเพื่อการสร้างน้ำนมจะใช้องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม เช่น เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนม เปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนม และเปอร์เซ็นต์แล็คโตสในน้ำนม สำหรับการประเมิน NRC (1988) จะใช้สมการคำนวณจากเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนม ดังนี้ คือ 0.3512 + 0.0962%Fat

นอกจากนี้ยังสามารถใช้สมการอื่น ๆ ที่ดัดแปลงจาก Tyrell and Reid (1965) ซึ่งแนะนำไว้ใน NRC (2001) ดังนี้

ถ้าเราวิเคราะห์เฉพาะเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมใช้สมการดังต่อไปนี้

NE_{LL} (Mcal/kg of milk) = 0.360 + (0.0969 x %Fat)

คำนวณจากเปอร์เซ็นต์ไขมันและโปรนตีน

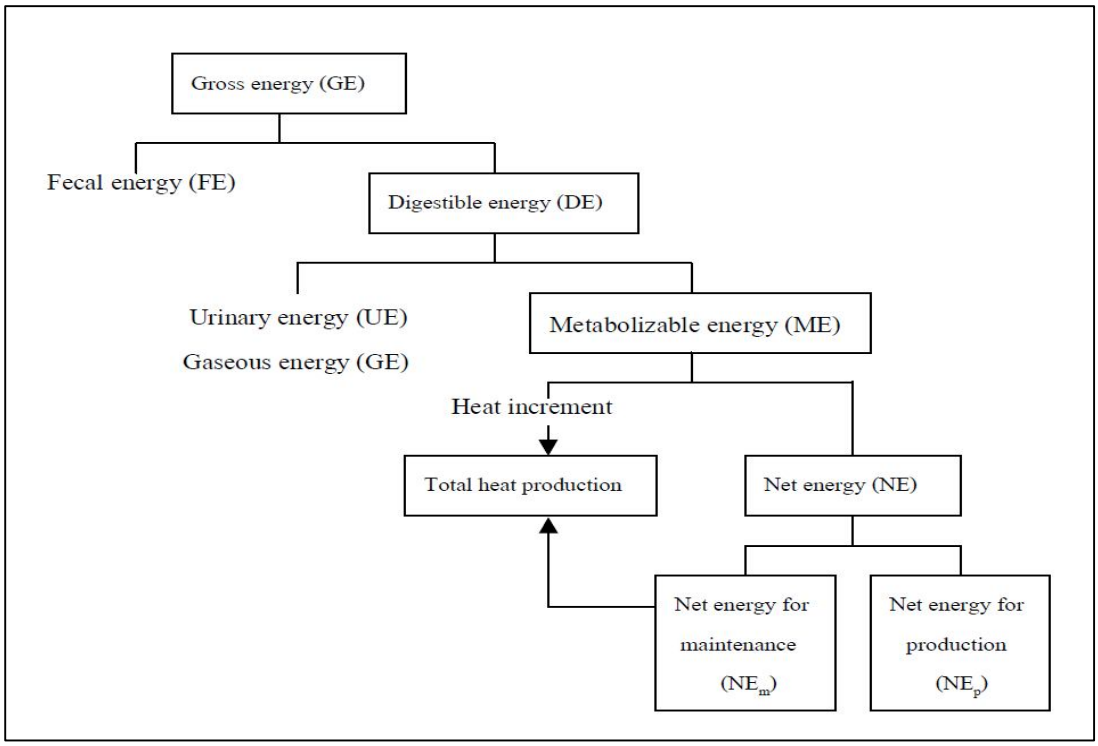
NE_{LL} (Mcal/kg of milk) = (0.2929 x %Fat) + (0.0547 x %Protein) + 0.192

คำนวณจากเปอร์เซ็นต์ไขมัน, โปรตีน และแล็คโตส

NE_{LL} (Mcal/kg of milk) = (0.0929 x %Fat) + (0.0547 x %Protein) + (0.0395 x %Lac)

2.5.3 ขั้นตอนของพลังงาน

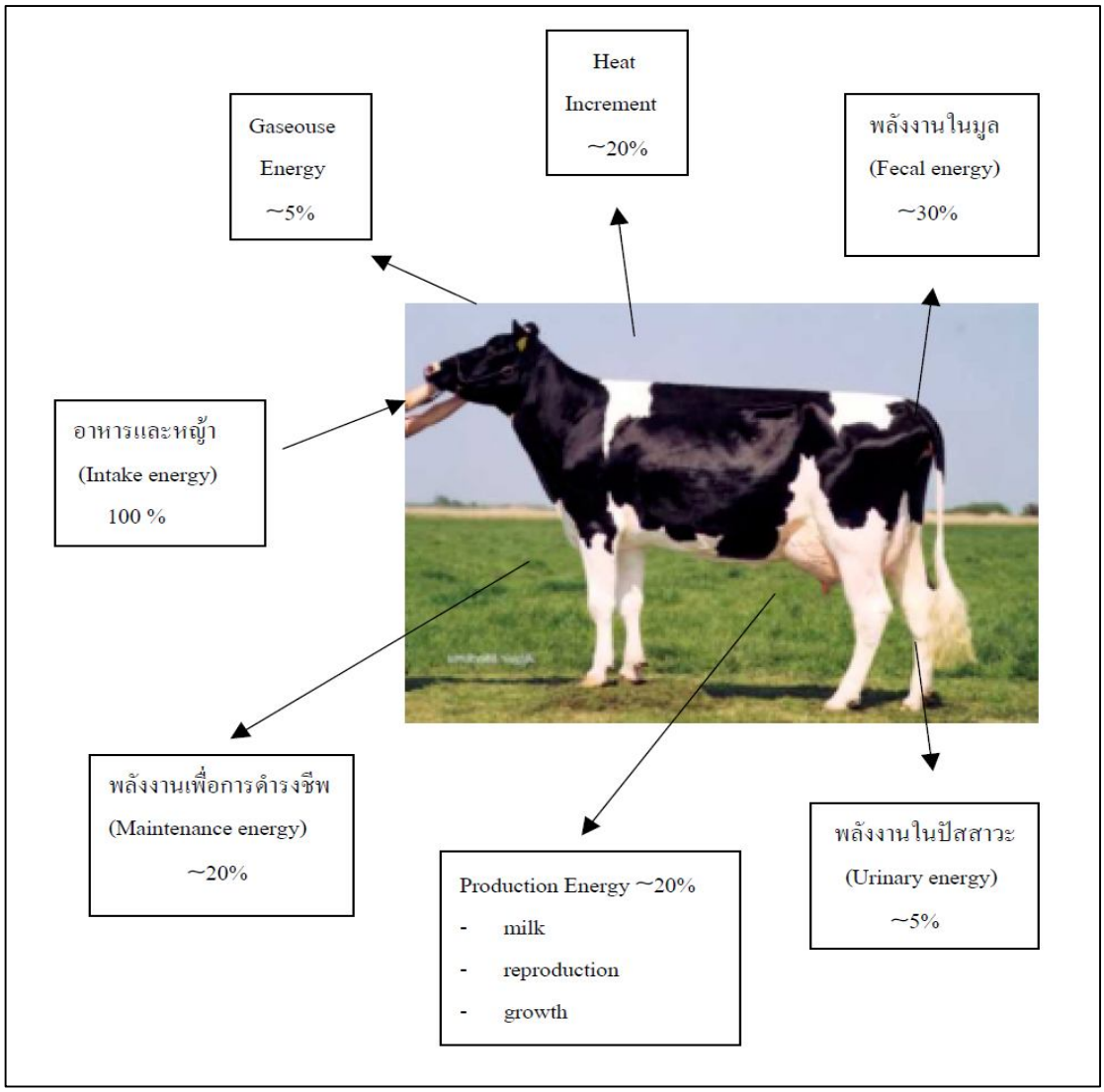
ขั้นตอนของพลังงานมีกระบวนการต่างๆ เช่น การย่อย การดูดซึม และการเมทาบอลิซึมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในร่างกายซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับพลังงานทั้งสิ้น ดังนั้นความเข้าใจเรื่องพลังงานจึงเป็นพื้นฐานสำคัญในการศึกษาเรื่องนี้ เมื่อสัตว์กินอาหารเข้าไปก่อนที่สัตว์จะนำไปใช้ประโยชน์ได้จะมีพลังงานที่สัตว์กินเข้าไปบางส่วนสูญเสียไปในรูปของมูล ปัสสาวะ ก๊าซจากการหมักย่อยและความร้อน พลังงานที่เหลือเรียกว่า พลังงานสุทธิ ที่สัตว์ใช้ในการดำรงชีพและการให้ผลผลิต



ภาพที่ 2.1 ขั้นตอนการจำแนกพลังงานประเภทต่าง ๆ

ที่มา : บุญล้อม ชีวะอีสระกุล (2541)

ในอาหารโคทั่วไปมีการสูญเสียพลังงานในมูลประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ พลังงานสูญเสียในปัสสาวะประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ และพลังงานในรูปความร้อนประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ เหลือเป็นพลังงานสุทธิประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ ของพลังงานที่กินเข้าไปทั้งหมด ดังในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 แสดงสัดส่วนโดยประมาณของพลังงานที่สูญเสียและที่ใช้เพื่อกิจกรรมต่าง ๆ ในโคนม
ที่มา : บุญล้อม ชีวะอีสระกุล, 2541

2.5.4 การประเมินคุณค่าทางพลังงานตาม NRC (2001)

ถึงแม้ระบบการประเมินคุณค่าทางโภชนะโดยใช้ค่า NE จะเป็นระบบที่ดี แต่ทำการวัดโดยตรงได้ยากต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมากตลอดจนใช้เครื่องที่ยุ่งยากและซับซ้อน

ประเทศต่าง ๆ จึงได้ทำการคิดค้นสมการมาใช้ในการคำนวณโดยใช้การประเมินค่าทางพลังงานจากองค์ประกอบทางเคมี เช่น ในประเทศเยอรมันคำนวณค่า NE_L จาก GE และ ME ประเทศสหรัฐอเมริกาคำนวณจากค่า TDN อย่างไรก็ตามการจะได้มาซึ่งค่าต่าง ๆ นั้น ในการทำนายคุณค่าทางพลังงานก็มีหลากหลายบางสมการใช้ได้เฉพาะอาหารบางชนิด เช่น อาหารข้น บางสมการใช้ได้เฉพาะกับอาหารหยาบ จนกระทั่ง Weiss, Conrad, and Pierre (1992) ทำการปรับปรุงสมการที่สามารถนำมาใช้ทำนายค่าทางพลังงานกับอาหารหลายชนิดรวมทั้ง By-products และ Heat-damaged forages โดยหลักการของสมการนี้ยึดหลักที่ว่าโภชนะชนิดใดที่ให้พลังงานได้ต้องนำมาคำนวณด้วย ซึ่งโภชนะดังกล่าวประกอบด้วย โปรตีนหยาบ ไขมัน NFC และ NDF การคำนวณต้องอาศัย True digestibility (td) ของโภชนะนั้น ๆ จากนั้นจะได้ค่า TDN ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาค่า NE_{LL} ได้ โดยอาศัยสมการต่าง ๆ ดังจะได้กล่าวต่อไป

การประเมินคุณค่าทางพลังงานในอาหารสัตว์ตามระบบ NRC (2001) คือ ส่วนประกอบของโภชนะใด ๆ ในอาหารที่ให้พลังงานต้องนำมาคำนวณทั้งหมดโดยคำนวณออกมาในรูปของโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (Total digestible nutrient, TDN) ดังสมการ

TDN_{1X} (%) = tdNFC + tdCP + (tdFA x 2.25) + tdNDF – 7

เมื่อ td = Truly digestible

2.5.4.1 พลังงานจาก NFC

โดยปรกติ NFC เป็น Uniform feed fraction ที่มีค่า td ประมาณ 0.98 ถ้าสัตว์ได้รับอาหาร ที่ระดับ Maintenance NFC คำนวณได้โดยการหักลบค่าเถ้า โปรตีนหยาบ NDF_N และ ไขมัน จาก 100 ที่ต้องใช้ ค่า NDF_N แทนค่า NDF ก็เพื่อไม่ให้โปรตีนหยาบ ถูกหักออกซ้ำกันถึง 2 ครั้ง มิฉะนั้นจะทำให้ค่า NFC ต่ำไป การคำนวณพลังงานจาก NFC คำนวณได้ดังสมการ

tdNFC = 0.98 (100-[(NDF – NDICP) + CP + EE + Ash]) x PAF หรือ

tdNFC = 0.98 (100-[(NDFN + CP + EE + Ash]) x PAF

NDF_N = NDF – NDICP

NDICP = NDIN x 6.25

เมื่อ NFC = Non fiber carbohydrate

NDF = Neutral detergent fiber

NDIN = Neutral detergent insoluble nitrogen

PAF = Processing adjustment factor

ตารางที่ 2.3 กระบวนการปรับปัจจัย (Processing adjustment factors, PAF) สำหรับ NFC (NRC, 2001)

Feedstuff	PAF
Bakery waste	1.04
Barley grain, rolled	1.04
Bread	1.04
Cereal meal	1.04
Chocolate mealCookie meal	1.04
Corn grain, cracked dry	0.95
Corn grain, ground	1.00
Corn grain, ground high moisture	1.04
Corn and cob meal, ground high moisture	1.04
Corn grain, steam flaked	1.04
Corn silage, normal	0.94
Corn silage, mature	0.87
Molasses	1.04
Oats grain	1.04
Sorghum grain, dry rolled	0.92
Sorghum grain, steam flaked	1.04
Wheat grain, rolled	1.04
All other feeds	1.00

For feeds not shown PAF = 1.0

2.5.4.2 พลังงานจากโปรตีน

โปรตีนเป็น Uniform feed fraction เพราะค่า True digestibility (td) ของ Crude protein (CP) เป็นค่าที่ค่อนข้างคงที่ในพืชมีค่าผันแปรระหว่าง 0.9-1.0 เฉลี่ย 0.93 สำหรับอาหารข้นที่ไม่ได้ผ่านความร้อน (Unheated concentrate) ค่า tdCP จะมีค่าประมาณ 1.0 (Fonnesbeck, Wardeh, and Harris, 1984) อาหารที่ถูกความร้อนค่า tdCP จะมีค่าลดลง เนื่องจากการย่อยได้ของ CP และอัตราการถูกทำลายด้วยความร้อน (Heat damage) มีความสัมพันธ์กับ Acid detergent insoluble

nitrogen (ADIN) ดังนั้นจึงคำนวณค่า tdCP ได้จากค่า ADIN แต่เนื่องจากความสัมพันธ์นี้ในอาหารข้นและอาหารหยาบมีไม่เท่ากันจึงต้องอาศัยสมการคำนวณที่แตกต่างกันดังนี้

Truly digestible CP for forages (tdCPf)

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

Truly digestible CP for concentrates (tdCPc)

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

เมื่อ ADICP = Acid detergent insoluble nitrogen (ADIN) x 6.25

2.5.4.3 พลังงานจากไขมัน

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

FA = EE – 1.0 (Allen, 2000)

tdFA = FA แต่ถ้าในกรณีที่ EE < 1, FA จะมีค่าเท่ากับ 0

2.5.4.4 พลังงานจาก NDF

NDF เป็นค่าที่ไม่ Uniform แต่ NDF ส่วนที่อาจย่อยได้ (Potential digestible NDF หรือ pdNDF) เป็นค่าที่ uniform โดยมีการย่อยได้เท่ากับ 1.0 นอกจากนี้ Conrad, Weiss, Odwongo, and Shockey (1984) ได้สร้างสมการประเมินค่า pdNDF โดยอาศัย Lignified surface area ทั้งนี้เพราะ Lignin ย่อยไม่ได้จึงควรนำมาหักลบออกจาก NDF เพื่อให้ได้ค่า Lignin-free NDF นอกจากนี้ Lignin ยังไปขัดขวางการย่อยได้ของ Cellulose และ Hemicellulose จึงควรคำนวณหาค่าสัดส่วนของพื้นที่ผิว NDF ที่ถูกปกคลุมด้วย Lignin เพื่อนำมาหักลบออก ดังนั้นค่า pdNDF คำนวณ
ได้จากสมการ

$$pdNDF = (NDF - Lignin)\,[1 - (Lignin/NDF)0.667]$$

ค่าทุกตัวมีหน่วยเป็น % ของ DM และ Lignin วิเคราะห์โดยวิธี ADF-Sulphuric สมการข้างต้นนี้ใช้ได้กับพืชแทบทุกชนิด แต่ใน By-product หลายชนิด อาจมีส่วนของ CP ปนมาในค่า NDF มากทำให้มีค่า NDF สูงเกินไปดังนั้นจึงควรวิเคราะห์ Neutral detergent insoluble nitrogen (NDIN) ด้วยเพื่อคำนวณหาค่า NDF ที่ปราศจาก N แล้ว (NDF_N) ดังนี้

$$NDF_N = NDF - NDICP$$

ค่าทุกตัวมีหน่วยเป็น % และ NDICP = NDIN x 6.25

พลังงานจาก NDF คำนวณโดยคูณค่า pdNDF ด้วยสัมประสิทธิ์การย่อยได้ ประมาณว่าการย่อยได้ของ pdNDF ในสัตว์ที่ได้รับอาหารในระดับ Maintenance มีค่าเท่ากับ 0.75

ฉะนั้น Truly digestible NDF (tdNDF) จะมีค่าดังสมการ

$$tdNDF = 0.75\,(NDF_N - Lignin)\,[1 - (Lignin/\,NDF_N)0.667]$$

อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่อาหารสัตว์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มากจากสัตว์ เช่น โปรตีนจากสัตว์ ซึ่งจะไม่มีส่วนของ Structural carbohydrates แต่จะมีส่วนของ Neutral detergent insoluble residue แต่ไม่ใช่เป็นส่วนของ Cellulose, Hemicelluloses หรือ Lignin ดังนั้นสมการข้างต้นจะใช้ไม่ได้ในกรณีนี้ต้องใช้สมการดังนี้

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

เมื่อ CP digest = estimated true digestibility of CP

ตารางที่ 2.4 ประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีนหยาบเพื่อใช้ในการประมาณค่า TDN_{1X} สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสัตว์ (NRC, 2001)

Feedstuff	True digestibility
Blood meal, batch dried	0.75
Blood meal, ring dried	0.86
Hydrolyzed feather meal	0.78
Hydrolyzed feather meal with viscera	0.81
Fish meal (Menhaden)	0.94
Fish meal (Anchovy)	0.95
Meat and bone meal	0.80
Meat meal	0.92
Whey	1.00

เช่นเดียวกันกับกรณีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสัตว์ ถ้าเป็นอาหารสัตว์จำพวกไขมันจะคำนวณค่า TDN_{1X} จากการวัดค่า Fatty acid digestibility ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.5 ประสิทธิภาพการย่อยได้เพื่อการดำรงชีพ (Assumed 8% increase in digestibility compared with 3X maintenance) สำหรับอาหารสัตว์จากพวกไขมัน (NRC, 2001)

Fat	Fat type	True digestibility
Calcium salts of fatty acids	Fatty acids	0.86
Hydrolyzed tallow fatty acids	Fatty acids	0.79
Partially hydrogenated tallow	Fat plus glycerol	0.43
Tallow	Fat plus glycerol	0.68
Vegetable oil	Fat plus glycerol	0.86

สำหรับแหล่งไขมันที่มีองค์ประกอบของGlycerol:

$$TDN_{1X}(\%) = (EE \times 0.1) + [FA\ digest \times (EE \times 0.9) \times 2.25]$$

สำหรับแหล่งไขมันที่ไม่มีองค์ประกอบของ Glycerol:

$$TDN_{1X}(\%) = (EE \times FA\ digest) \times 2.25$$

2.5.4.5 การประมาณค่า DE

1. การประมาณค่า DE ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Maintenance

Crampton, Lloy, and Mackay (1957) และ Swift (1957) คำนวณค่า GE value of TDN เท่ากับ 4.409 Mcal/kg อย่างไรก็ตามโภชนะแต่ละชนิดในอาหารมีค่า Heat of combustion ที่แตกต่างกัน เช่น 4.2 Mcal/kg for carbohydrate, 5.6 Mcal/kg for CP, 9.4 Mcal/kg for fatty acid และ4.3 Mcal/kg for glycerol (Manynard, Loosli, Hintz, and Warner, 1979)

จากการที่ GE value of TDN ในอาหารแต่ละชนิดมีค่าไม่เท่ากัน อาหารที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ใน TDN จะมีค่า GE value of TDN มากกว่า 4.409 Mcal/kg ในทางกลับกันอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ใน TDN จะมีค่า GE value of TDN น้อยกว่า 4.409 Mcal/kg ดังนั้นการคำนวณค่า DE จาก 0.4409 x TDN (%) ตามที่แนะนำไว้ใน NRC (1988) นั้น ปัจจุบันได้ยกเลิกแล้ว โดย NRC (2001) ได้พัฒนาการคำนวณค่า DE โดยคำนวณจาก Estimated digestible nutrient concentration คูณด้วย Heat of combustion ของโภชนะนั้น ๆ และเนื่องจาก DE คำนวณจาก Apparent digestibility แต่สมการคำนวณ TDN จากโภชนะต่าง ๆ ใช้ค่า True digestibility ดังนั้นต้องใช้ค่า Metabolic fecal energy มาทำการปรับเมื่อต้องการคำนวณค่า DE จาก TDN โดยทั่วไปค่า Heat of combustion ของ Metabolic fecal TDN จะประมาณเท่ากับ 4.4 Mcal/kg ดังนั้น Metabolic fecal DE = 7 x 0.044 = 0.3 Mcal/kg

ดังนั้นสามารถคำนวณ DE_{1X} ได้จากสมการดังต่อไปนี้

สำหรับอาหารสัตว์ทั่ว ๆ ไป

$$DE_{1X}\,(Mcal/kg) = [(tdNFC/100) \times 4.2] + [(tdNDF/100) \times 4.2] + [(tdCP/100) \times 5.6] + [(FA/100) \times 9.4] - 0.3$$

สำหรับอาหารโปรตีนจากสัตว์

$$DE_{1X}\,(Mcal/kg) = [(tdNFC/100) \times 4.2] + [(tdCP/100) \times 5.6] + [(FA/100) \times 9.4] - 0.3$$

สำหรับอาหารไขมันที่มีองค์ประกอบของ glycerol

$$DE_{1X}\,(Mcal/kg) = [9.4 \times (FAdigest \times 0.9 \times (EE/100))] + [4.3 \times 0.1 \times (EE/100)]$$

สำหรับอาหารไขมันที่ไม่มีองค์ประกอบของ glycerol

$$DE_{1X}\,(Mcal/kg) = [9.4 \times (FAdigest \times 0.9 \times (EE/100))]$$

tdNFC, tdNDF, tdCP และ FA มีหน่วยเป็น %

2. การประมาณค่า DE ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Actual Intake

การย่อยได้อาหารของโคนมจะลดลง เมื่อระดับการกินได้เพิ่มขึ้น (Tyrrell and Moe, 1975) ซึ่งจะมีผลทำให้ค่าพลังงานของอาหารนั้น ๆ ลดลงเมื่อการกินได้เพิ่มขึ้นโดยเฉพาะในโครีดนม ที่ให้น้ำนมมาก ๆ อย่างเช่นในปัจจุบัน ซึ่งอาจกินอาหารได้มากถึง 4 เท่าของการกินได้ที่ระดับ Maintenance การลดลงของ Digestibility เมื่อ intake เพิ่มขึ้นจะมีความสัมพันธ์กับ Digestibility of diet at maintenance (Wagner and Loosli, 1967) เมื่อการกินได้ของอาหารเพิ่มขึ้น อาหารที่มีค่า Digestibility at maintenance สูงจะมีอัตราการลดลงของ Digestibility มากกว่าอาหารที่มีค่า Digestibility at maintenance ตาม NRC (1988) ใช้ค่าคงที่ 4% ในการปรับ Energy value at 1X to 3X maintenance ถ้าใช้วิธีการเดิมนี้ในการคำนวณ อาหารที่มี 75% TDN_{1X} จะมีค่า Discount 3% unitmultiple of 1X ในขณะที่ อาหารที่มี 60% TDN_{1X} จะมีค่า Discount เท่ากับ 2.4% ถ้าอาหารมีค่า TDN_{1X} เท่ากับ หรือน้อยกว่า 60% ค่า Discount จะมีค่าค่อนข้างน้อย NRC (2001) แนะนำให้ใช้สมการนี้ในการคำนวณ % Discount

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

ทั้งนี้เนื่องจากในการคำนวณค่า ME และ NE_L ใช้ค่า DE ไม่ได้ใช้ค่า TDN ฉะนั้นการคำนวณค่า DE_p จึงต้องใช้ Discount factor เป็นตัวคูณ

$$\text{Discount} = [(TDN_{1X} - [(0.18 \times T\ TDN_{1X}) - 10.3]) \times \text{Intake})]/\ TDN_{1X}$$

หน่วยของ TDN_{1X} เป็น % of DM และ Intake หมายถึงจำนวนเท่าของการกินได้ที่เพิ่มขึ้นมากกว่าการกินได้ที่ระดับ Maintenance เช่น การกินได้เท่ากับ 3X maintenance, Intake above maintenance เท่ากับ 2

ตัวอย่างเช่น โครีดนมกินอาหารที่มี 74%TDN_{1X} ได้เป็น 3X maintenance ฉะนั้น Digestibility ควรจะเท่ากับ 0.918 เท่า ของ Digestibility ที่ 1X maintenance

3. การประมาณค่า ME ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Actual Intake

การประมาณค่า ME at production level of intake (ME_p) นั้นคำนวณจากค่า DE_p การคำนวณค่า ME จาก DE ใน NRC (1988) ใช้สมการ ME (Mcal/kg) = (1.01 x DE) – 0.45 อย่างไรก็ตามสมการดังกล่าวประเมินจากอาหารที่มีไขมันประมาณ 3% และเนื่องจากประสิทธิภาพการเปลี่ยน DE จากไขมันเป็น ME นั้น มีค่าเกือบ 100 (Andrews, Tyrrell, Reynolds, and Erdman, 1991;

Romo, Casper, Erdman, and Teter, 1996) ดังนั้นสมการข้างต้นจะประมาณค่า ME ของอาหารที่มีไขมันสูงต่ำเกินไป NRC (2001) แนะนำให้ใช้สมการนี้แทน

$$ME_p = [1.01 \times (DE_p) - 0.45] + [0.0046 \times (EE - 3)]$$

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

ME_P ของอาหารที่ไขมันมากกว่า 3% จะเพิ่มขึ้น 0.0046 ทุก ๆ %unit increase in EE above 3% ในกรณีที่อาหารมีไขมันเท่ากับหรือน้อยกว่า 3% ให้ใช้สมการเดิมที่แนะนำใน NRC (1988)

สำหรับ Fat supplements, ME_p (Mcal/kg) = DE_p (Mcal/kg)

2.5.4.6 การประมาณค่าพลังงานสุทธิ (Net energy, NE_L)

1. การประมาณค่า NE_L ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Actual Intake

NRC (1988) ใช้สมการ NE_L (Mcal/kg) = 0.0245 x (%TDN) – 0.12 ในการประมาณค่า NE_L สมการนี้ได้ถูกวิจารณ์อย่างมากเพราะถ้าอาหารมี TDN 40% (DE = 1.76 Mcal/kg) มีค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยน DE เป็น NE_{L1X} เท่ากับ 0.49 แต่ถ้ามี TDN 90% (DE = 3.97 Mcal/kg) ประสิทธิภาพจะเป็น 0.53 ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวการประมาณค่า NE_{Lp} จาก ME_P NRC (2001) เลือกใช้สมการที่เสนอโดย Moe and Tyrell (1974) แทนสมการเดิมที่ได้แนะนำไว้ใน NRC (1988)

$$NE_{Lp} = [0.703 \times ME_p \text{ (Mcal/kg)}] - 0.19 \text{ (Moe and Tyrrell, 1974)}$$

สมการนี้ใช้ในกรณีที่อาหารมีไขมันเท่ากับหรือน้อยกว่า 3% ถ้าอาหารมีไขมันมากกว่า 3% จะต้องทำการปรับค่า metabolic efficiency of fat โดยทั่วไปแล้วประสิทธิภาพการเปลี่ยน ME จากไขมันเป็น NE_L จะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.80 (Andrews et al., 1991; Romo et al., 1996) เช่นเดียวกับการปรับค่า ME_P ของไขมันที่กล่าวมาแล้ว เพื่อชดเชยการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพในการเปลี่ยน ME จากไขมันเป็น NE_L จะได้ค่าเท่ากับ $[(0.097 \times ME_p) + 0.19]/97$ ในการเพิ่ม NE_L ต่อ % unit increase in feed EE content above 3% ฉะนั้นสมการที่ใช้ คือ

$$NE_{Lp} = ([0.703 \times ME_P\ (Mcal/kg)] - 0.19) + ([(0.097 \times ME_P + 0.19)/97] \times [EE - 3])$$

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

สำหรับ fat supplements

$$NE_{Lp}\ (Mcal/kg) = 0.8 \times ME_P\ (Mcal/kg)]$$

2. การประมาณค่า Net Energy of Feeds for Maintenance and Gain

สมการในการประมาณค่า NE_M และ NE_G จะใช้สมการที่เสนอโดย Garrett (1980) สำหรับโคเนื้อที่แนะนำไว้ใน NRC (1996) NE_M และ NE_G ในอาหารนี้เป็นการประมาณที่ระดับการกินได้อาหาร 3X maintenance และคำนวณค่า ME เพื่อใช้ในสมการจากการคูณ DE_{1X} (ตามที่ได้อธิบายไว้ก่อนหน้านี้) ด้วย 0.82 แทนค่า ME ตามสมการข้างล่างก็จะได้ค่า NE_M และ NE_G

$$NE_M = 1.37\ ME - 0.138\ ME2 + 0.0105\ ME3 - 1.12$$

$$NE_G = 1.42\ ME - 0.174\ ME2 + 0.0122\ ME3 - 1.65$$

เมื่อ ME, NE_M และ NE_G มีหน่วยเป็น Mcal/kg

อย่างไรก็ตามสมการข้างต้นไม่เหมาะสำหรับใช้คำนวณค่า NE_M และ NE_G ของ Fat supplements ควรใช้ $ME_P = DE_P$ และใช้ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยน ME เป็น NE_L เท่ากับ 0.80 เพื่อเปลี่ยน ME เป็น NE_M แต่ในการเปลี่ยน ME เป็น NE_G ใช้ค่าประสิทธิภาพในการเปลี่ยนเท่ากับ 0.55

2.5.5 ความต้องการโปรตีนในโคนม

สัตว์เคี้ยวเอื้องมีความต้องการโปรตีนเพื่อเสริมสร้างส่วนต่างๆ ของร่างกายและเพื่อการเจริญเติบโตการให้ผลผลิตในรูปของเนื้อและนม ความต้องการโปรตีนเพื่อการต่าง ๆ มีลักษณะคล้ายกับความต้องการพลังงาน คือ ความต้องการโปรตีนเพื่อการดำรงชีพ ความต้องการโปรตีนเพื่อการเจริญเติบโตและความต้องการโปรตีนเพื่อการผลิตน้ำนม

2.5.5.1 การคำนวณโปรตีนในอาหาร

การคำนวณโปรตีนในอาหารจะสามารถทำได้โดยการหาประสิทธิภาพการย่อยได้ของอาหารโปรตีนจากวิธีการ Nylon bag technique

2.5.5.2 การคำนวณความต้องการโปรตีนในตัวโคนม

NRC (2001) ได้ปรับเปลี่ยนการประเมินความต้องการโปรตีนของโคนมโดยนำเสนอใหม่ในรูปของ Metabolizable protein (MP_R)
ดังสมการ

$$MP_R = MP_M + MP_G + MP_L$$

โดย MP_R (g/d) = Metabolizable protein requirement
MP_M (g/d) = Metabolizable protein requirement for maintenance
MP_G (g/d) = Metabolizable protein requirement for growth
MP_L (g/d) = Metabolizable protein requirement for lactation

1. Metabolizable Protein requirements for maintenance (MP_M)

$$MP_M (g) = MP_{UM} + MP_{SH} + MP_{MFP}$$

MP_U คือ ความต้องการ MP สำหรับ Endogenous urinary protein (UPN)

$$MP_U = UPN/0.67$$
$$UPN (g/day) = 2.75 \times (Live\ weight)^{0.5}$$
$$MP_U = 4.1 \times (Live\ weight)^{0.5}$$

MP_{SH} คือ ความต้องการMP สำหรับ Scurf and hair (SPN; skin, skin secretion, hair)

$$MP_{SH} = SPN/0.67$$
$$SPN = 0.2 \times (Live\ weight)^{0.60}$$
$$MP_{SH} = 0.3 \times (Live\ weight)^{0.60}$$

MP_{MFP} คือ ความต้องการ MP สำหรับ metabolic fecal protein

MP_{MFP} = MFP - (bacteria + bacterial debris in cecum, large intestine + keratinized cell + others)

MFP (g/day) = 30 x Dry Matter Intake (kg.)

MP_{MFP} = [(DMI x 30) - 0.50((Bact MP/0.8) - Bact MP)] + Endogenous MP/0.67

2. Metabolizable Protein requirements for growth (MP_G)

$$MP_G = NPG/EffMP_NP_G$$

เมื่อ

NP_G = SWG x (268-(29.4 x (RE/SWG)))

RE = 0.0635 x $EQEBW^{0.75}$ x $EQEBG^{1.097}$

EQEBW = 0.891 x EQSBW

EQEBG = 0.956 x SWG

EQSBW = SBW x (478/MSBW)

MSBW = 500 kg

SBW = 0.96BW

ถ้าน้ำหนักโค EQSBW (Equivalent shrunk BW) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 478 kg ใช้

$EffMP_NP_G$ = (83.4-(0.114 x EQSBW))/100

ถ้าน้ำหนักโค EQSBW (Equivalent shrunk BW) มากกวา478 kg ใช้

$EffMP_NP_G$ = 0.28908

3. Metabolizable Protein requirements for lactation (MP_L)

$$MP_L\ (g/d) = (Y\ Protein/0.67) \times 1000$$

การคำนวณความต้องการโปรตีนในรูปของ Metabolizable protein (MP_R) ไม่สะดวกในการจัดการด้านอาหารจึงได้มีการแสดงในรูปของ Crude protein requirement (CP_R) ฉะนั้นจึงต้องคำนวณจาก MP_R เป็น CP_R

MP_R จะได้จากโปรตีนที่โคนมได้รับซึ่งโปรตีนที่ได้รับนั้นประกอบด้วยโปรตีนที่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (Rumen degradable protein, RDP) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (Rumen undegradable protein, RUP)

นั้นคือ $MP_R = MP_{RUP} + MP_{Bact} + MP_{Endo}$

ส่วนของ RDP โดยประมาณว่าจะถูกนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Microbial crude protein, MCP) 85% ของ RDP และ MCP ที่จะเป็นโปรตีนแท้ (Microbial true protein, MTP) 80% ของ MCP และจะสามารถย่อยและดูดซึมได้ (Digestible microbial true protein, DMTP) 80% ของ MTP

$$MCP = 0.85\ RDP\ (NRC, 2001)$$

$$MTP = 0.8\ MCP$$

$$DMTP\ หรือ\ MP_{RDP} = 0.8\ MTP$$

$$MP_{Bact} = 0.64\ MCP$$

การคำนวณหาความต้องการ MCP ในโคนมสามารถหาได้จากสมการ NRC (2001)

โดยที่ $MCP = 0.85\ RDP\ (NRC, 2001)$

$$RDP_R = MCP/0.85$$

$$RDP_R = 0.15294 \times TDN_{Actual}$$

จากสมการ $MP_R = MP_{RUP} + MP_{Bact} + MP_{Endo}$

หรือ $MP_{Bact} = MP_R - MP_{RUP} - MP_{Endo}$

$$MP_{Bact} = 0.64\ MCP$$

$$MP_{Endo} = 0.4 \times 1.9 \times DMI \times 6.25$$

การคำนวณหาความต้องการ RUP

$$MP_{RUP} = MP_R - (MP_{Bact} + MP_{Endo})$$

$$0.8\ RUP = total\ digest\ RUP$$

$$0.66 \times total\ digest\ RUP = MP_{RUP}$$

$$total\ digest\ RUP = MP_{RUP}/0.66$$

$$RUP_R = MP_{RUP}/0.528$$

ดังนั้นจะสามารถคำนวณ CP requirement จาก RDP และ RUP จากสมการ

$$CP_R = RDP_R + RUP_R$$

เมื่อ NP_G = Net protein requirement for growth

$EffMP_NP_G$ = Efficiency of use of microbial protein for growth

SWG = Shrunk weight gain

RE = Retain energy

EQEBG = Equivalent empty body weight gain

EQSBW = Equivalent shrunk body weight

EQEBW = Equivalent empty body weight

SBW = Shrunk body weight

WG = Weight gain

2.6 การให้นมของโคนม

น้ำนมเป็นผลผลิตที่ได้จากการสังเคราะห์จากองค์ประกอบของสารตั้งต้นในเลือด ซึ่งสารเหล่านี้จะต้องผ่านเข้าสู่เซลล์ผลิตน้ำนมก่อนที่จะถูกเปลี่ยนไปเป็น แล็คโตส ไขมัน และโปรตีนนม สารตั้งต้นเหล่านี้จะออกจากกระแสเลือดและเข้าสู่ของเหลวภายนอกเซลล์ (extracellular fluids) ระหว่างเส้นเลือดฝอยและเซลล์สร้างน้ำนม จากนั้นสารตั้งต้นดังกล่าวจะผ่านเข้าไปยัง basolateral membland ของเซลล์ผลิตน้ำนม เมื่อเข้ามาอยู่ภายในเซลล์แล้วสารตั้งต้นเหล่านี้จะเข้าสู่วิถีการนำเข้าสารตั้งต้นเพื่อนำไปสังเคราะห์น้ำนมที่ตำแหน่งของเซลล์เฉพาะที่เต้านม คือ secretory cell เป็นเซลล์สังเคราะห์น้ำนมที่มีลักษณะคล้ายกระเปาะนม เรียกว่า alveolus ปริมาณน้ำนมที่ได้จะเก็บกักไว้รอการปล่อยออกมาโดยวิธีการดูดของลูกโค หรือผ่านกระบวนการรีดนม

2.6.1 การสังเคราะห์นม (Milk synthesis)

ส่วนประกอบหลักของน้ำนม ได้แก่ น้ำและปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำนมจะมีความสัมพันธ์ ในทางบวก (positive relations) กับปริมาณแล็คโตสที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นและประจุ (ions) ต่าง ๆ ซึ่งได้แก่ ประจุโปแตสเซียม โซเดียม และคลอรีน ที่หลั่งออกมาทางน้ำนม

2.6.1.1 การสังเคราะห์โปรตีนนม (Milk Protein Synthesis)

น้ำนมมีโปรตีนหลายชนิด โปรตีนเหล่านี้ถูกสร้างขึ้นเฉพาะในเต้านมท่านั้น จึงไม่สามารถพบได้ในเนื้อเยื่อชนิดอื่น ๆ โปรตีนนมโดยเฉพาะเคซีน (casein) นั้น มีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของลูกอ่อน นอกจากนี้ยังมีโปรตีนชนิดอื่น ได้แก่ โปรตีนที่เป็นเอนไซม์ โปรตีนที่มีบทบาทในการขนส่งโปรตีนที่มีบทบาทในการต้านทานโรค (อิวมิวโนโกลบูลินและอื่น ๆ) รวมทั้งโกรธแฟคเตอร์ เป็นต้น โปรตีนในน้ำนมที่พบมากที่สุดคือเคซีน ในน้ำนมของสัตว์ส่วนใหญ่

จะมีเคซีนอยู่ประมาณ 3-4 ชนิด โดยเคซีนแต่ละชนิดจะมีโครงสร้างที่เหมือนกันแต่มีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันนอกเหนือไปจากเคซีนแล้วจะเรียกโปรตีนที่เหลือทั้งหมดว่าเวย์โปรตีน (whey protein) เวย์โปรตีนหลักในน้ำนมโคคือ β-lactoglobulin และ α-lactalbumin ซึ่งโปรตีนเหล่านี้ล้วนถูกสังเคราะห์ขึ้นที่เซลล์ผลิตน้ำนมของเต้านมเท่านั้น

สารตั้งต้น (Precursors) ในการสังเคราะห์โปรตีน คือ กรดอะมิโนที่ถูกส่งมายังต่อมสร้างน้ำนมทางกระแสโลหิต ต่อมสร้างน้ำนมจะดูดซึมกรดอะมิโนที่จำเป็น (Essential amino acids) อย่างเพียงพอต่อการสังเคราะห์กรดอะมิโนที่จำเป็นในน้ำนมแต่ในบางครั้งอาจดูดซึมกรดอะมิโนที่จำเป็นเกินกว่าความต้องการ ส่วนที่เกินจะถูกนำไปสังเคราะห์กรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น (Non-essential amino acids) และเป็นแหล่งพลังงานสำหรับการสังเคราะห์น้ำนมกรดอะมิโนที่จำเป็นโดยเฉพาะกรดอะมิโนที่มีกำมะถัน (Sulphur) เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยมากกว่าร้อยละ 60 จะถูกดูดซึมโดยต่อมสร้างน้ำนมในขณะที่ไหลผ่านมาตาม กระแสเลือด ถ้ากรดอะมิโนเหล่านี้มีไม่เพียงพอจะมีผลกระทบต่อการสังเคราะห์โปรตีนในน้ำนมหรือแม้กระทั่งมีผลกระทบต่อผลผลิตน้ำนม สำหรับการดูดซึมกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็นโดยต่อมสร้างน้ำนมนั้นไม่ค่อยแน่นอนในบางขณะจะดูดซึมมากกว่าความต้องการในการสังเคราะห์น้ำนม แต่ในบางโอกาสอาจขาดอย่างมาก (Holmes and Wilson, 1984) กรดอะมิโนจะถูกดูดซึมจากกระแสเลือดเขาสู่ต่อมสร้างน้ำนมโดยผ่านกลไกที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ แอลฟา-กูลตานีลทรานเปปติเดส (α-glutanyl tranpeptidae) และโปรตีนในน้ำนมจะถูกสังเคราะห์โดยไรโบโซม (Ribosomes) ที่อยู่บนเอนโดพลาสมิคเรติคูลัม (Endoplasmic reticulum) (Holmes and Wilson, 1984)

การใช้กรดอะมิโนในเต้านมจะขึ้นอยู่กับ 1) ระดับของกรดอะมิโนในกระแสเลือด 2) กลไกการนำกรดอะมิโนเข้าสู่เซลล์เต้านม 3) เมทาบอลิซึมของกรดอะมิโนภายในเซลล์ ซึ่งทั้ง 3 ปัจจัยนี้ต่างขึ้นอยู่กับปัจจัยที่มาควบคุมอีกต่อหนึ่ง เช่น ระดับของกรดอะมิโนในเลือดจะขึ้นกับอาหาร สรีรวิทยาของสัตว์ กลไกลการนำกรดอะมิโนเข้าสู่เซลล์เต้านมซึ่งอาจมีหลายกลไกและมีความจำเพาะต่อกรดอะมิโนแต่ละชนิด ในการนำกรดอะมิโนเข้าสู่เซลล์เต้านมและเมทาบอลิซึมของกรดอะมิโนภายในเซลล์จะมีความซับซ้อนมากกว่าการสร้างโปรตีนนม ยกตัวอย่างเช่น การนำเข้ากรดอะมิโนชนิดที่ไม่จำเป็นแต่ละชนิดจะใช้เวลาไม่เท่ากัน หากไม่สามารถนำเข้าเซลล์ได้จะมีผลต่อปริมาณโปรตีนนม งกรดอะมิโนที่จำเป็น เช่น lys, met, phy, tyr, trp หากนำเข้า 1 หน่วยจะปรากฏในน้ำนม : 1 หน่วย ในขณะที่กรดอะมิโนชนิดอื่น (กลุ่ม blanched chain amino acid และ arginine) จะถูกนำเข้าเซลล์เต้านมเป็นจำนวนมากกว่าที่จะนำไปสร้างโปรตีนนม เชื่อกันว่ากรดอะมิโนที่นำเข้าเกินเหล่านี้จะถูกนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานภายในเต้านม เป็นแหล่งคาร์บอนและไนโตรเจนสำหรับการสังเคราะห์กรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น หลังจากเข้าสู่เซลล์แล้วกรดอะมิโนจะถูกนำไปใช้ในการทำกิจกรรมต่าง ๆ เหล่านี้ได้แก่ 1) สร้างโปรตีนนมภายใต้กระบวณการ mRNA-directed

polymerization 2) เข้าสู่ปฏิกิริยาทางเมทาบอลิซึมได้เป็น CO_2, Urea, Polyamine และกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น 3) ยังคงอยู่ภายในเซลล์ในรูปของโปรตีนโครงสร้างของเซลล์และเอนไซม์ และ 4) ผ่านเซลล์ไปโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ทั้งสิ้น

การสังเคราะห์น้ำนมอาจจะถูกจำกัดด้วยปริมาณของกรดอะมิโนบางชนิด โดยเฉพาะเมทไธโอนีน (Methionine) อย่างไรก็ตาม ฟีนิลอะลานีน (Phenylalanine) ฮีสติดีน (Histidine) ไลซีน (Lysine) และทรีโอนีน (Threonine) อาจมีส่วนเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์น้ำนมด้วยทั้งนี้มีรายงานว่าการเสริมกรดอะมิโนให้ไหลผ่านกระเพาะหมักและให้ไปย่อยในลำไส้เล็กสามารถเพิ่มผลผลิตน้ำนมได้ กลไกการทำงานของกรดอะมิโนต่อผลผลิตน้ำนมยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด อาจเป็นไปได้ว่าเป็นการเพิ่มปริมาณของกรดอะมิโนให้กับต่อมสร้างน้ำนม หรือกรดอะมิโนที่เพิ่มขึ้นนี้อาจไปกระตุ้นการปลดปล่อยฮอร์โมนที่มีหน้าที่กระตุ้นการกลั่นสร้างน้ำนม (Holmes and Wilson, 1984)

2.6.1.2 การสังเคราะห์แล็คโตส (Lactose Synthesis)

แล็คโตสจัดเป็นคาร์โบไฮเดรตหลักในน้ำนมของสัตว์ส่วนใหญ่ แล็คโตสเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ที่ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวสองชนิดคือ ดี-กลูโคสและ ดี-กาแล็คโตสเชื่อมกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกชนิด β-1,4 กลูโคสนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการสร้างน้ำนม ปริมาณ 2 ใน 3 ของกลูโคสจะถูกใช้โดยเซลล์เยื่อบุผิวของเต้านมในการสร้างแล็คโตส ความเข้มข้นของกลูโคสในเซลล์เต้านมจะเป็นตัวกำหนดความเร็วของปฏิกิริยาในการสร้างแล็คโตส กลูโคสที่เหลือส่วนใหญ่จะถูกเมตาบอไลท์โดยวิถีที่จะนำไปสู่การสร้างกลีเซอรอลและการผลิตเพนโตส ซึ่งเพนโตสจะถูกนำไปใช้ในการสร้างกรดไขมันและสร้างโมเลกุลของไรโบสสำหรับการสร้าง RNA และ DNA

กลูโคสในเลือดของสัตว์เคี้ยวเอื้องประมาณ 45-60 เปอร์เซ็นต์จะสร้างมาจากกรดโพรพิโอนิคในตับโดยกระบวนการสร้างกลูโคสหรือกลูโคนีโอเจเนสิส (gluconeogenesis) ในโคนั้นกลูโคสบางส่วนจะถูกเมตาบอไลท์โดยเซลล์เพื่อให้ได้พลังงานออกมา บางส่วนจะถูกใช้ไปเพื่อในการสร้างกลีเซอรอล (ใช้สำหรับการสร้างไตรกลีเซอไรด์ของน้ำนม) กลูโคสประมาณ 20-30 เปอร์เซ็นต์ จะผ่านไปยังวิถีเพนโตสฟอสเฟตซึ่งจะสร้าง NADPH (ใช้เป็น reducing equivalent ในการสร้างกรดไขมันนม) ผลิตไรโบส (ใช้ในการสร้าง DNA และ RNA) และ 60-70 เปอร์เซ็นต์ จะใช้ในการสร้างแล็คโตส ดังแสดงในสมการข้างล่างนี้ ในการสังเคราะห์แล็คโตสนั้นจะเกิดการดึงน้ำตามแรงดันออสโมซิสเข้าสู่กอลจิแอปพาราตัส และถุงบรรจุสารคัดหลั่ง กระบวนการดังกล่าวนี้จะทำให้เกิดการหลั่งของน้ำนมเป็นจำนวนมาก ในขณะเดียวกันการสังเคราะห์องค์ประกอบชนิดอื่น ๆ ในน้ำนมก็จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน

Glucose + ATP $\xrightarrow{\text{hexoginase}}$ Glucose-6-phosphate + ADP

Glucose-6-phosphate ⟶ phosphoglucomutase Glucose-1-phosphate

Glucose-1-phosphate + ATP ⟶ UDP-glucose pyrophosphorylase ⟶ UDP glucose + pyrophosphate

UDP -glucose ⟶ UDP -galactose-4-epimerase ⟶ UDP -galactose

UDP -galactose + Glucose ⟶ lactose synthetase ⟶ Lactose

สมการขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นขั้นตอนที่จำกัด (Limiting step) การสังเคราะห์แล็คโตส ซึ่งเกิดขึ้นในลูเมน (Lumen) ของกอลจิแอพพาราตัส (Golgi apparatus) ปริมาณของน้ำนมที่โคผลิตจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณการสังเคราะห์แล็คโตสและปริมาณน้ำนมจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณการกินอาหาร แล็คโตสส่วนใหญ่จะถูกสังเคราะห์มาจากกลูโคส ซึ่งสังเคราะห์มาจากกรดโพรพิโอนิคและกรดอะมิโนที่ดูดซึมมาจากระบบทางเดินอาหารอีกทางหนึ่ง (Holmes and Wilson, 1984)

2.6.1.3 การสังเคราะห์ไขมันนม (Milk Fat Synthesis)

ไขมันในน้ำนมกว่า 98% จะอยู่ในรูปของไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides) ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคไขมันระหว่าง 1 - 7 ไมโครเมตร (μm) (Holmes and Wilson, 1984) โคนมจะได้รับสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ไขมันโดยตรงจากอาหารและจากไขมันที่สะสมอยู่ในเนื้อเยื่อไขมันภายในร่างกายกรด ไขมันในน้ำนมจำพวก Short และ Medium chain (C_4-C_{16}) จะถูกสังเคราะห์มาจากอะซิเตท (Acetate) และเบต้า-ไฮดร็อกซีบิวทีเรท (β-hydroxybutyrate) ซึ่งอะซิเตทจะถูกดูดซึมจากกระเพาะหมักและเบต้า-ไฮดร็อกซีบิวทีเรท (β-hydroxybutyrate) จะถูกเปลี่ยนรูปมาจากบิวทีเรท (Butyrate) ในขณะที่ถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะหมัก 40-60% ของสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ไขมันจะอยู่ในรูปของไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides) ซึ่งถูกสังเคราะห์ในลำไส้เล็กจากกรดไขมันที่ได้จากอาหารหรือถูกสังเคราะห์ที่ตับจากกรดไขมันที่ได้จากเนื้อเยื่อไขมัน (Holmes and Wilson, 1984)

ไขมันนมไตรกลีเซอไรด์นั้นถูกสังเคราะห์ขึ้นในเซลล์ผลิตน้ำนม อย่างไรก็ตามกรดไขมันที่นำมาสังเคราะห์ไตรกลีเซอไรด์ได้มาจาก 2 แหล่ง คือ

1. จากการแตกตัวของไขมันในเลือด

ประมาณ 40-60 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันมาจากเลือด ไขมันเหล่านี้ได้มาจากไลโพโปรตีนที่มีความหนาแน่นต่ำมากหรือ very low density lipoprotein (VLDL) ซึ่งสังเคราะห์ที่ลำไส้เล็กหรือตับ VLDL ประกอบไปด้วยไขมัน 90-95 เปอร์เซ็นต์ อยู่ตรงกลางอนุภาค และ

โปรตีน 5-10 เปอร์เซ็นต์ ที่ผิวด้านนอก ไคโลไมครอนประกอบด้วยกรดไขมันที่ย่อยได้ในลำไส้เล็กจัดเป็นไขมันที่ได้จากเลือดอีกแหล่งหนึ่ง

ไตรกลีเซอไรด์ใน VLDL จะถูกไฮโดรไลซ์ในหลอดเลือดฝอยของเต้านมโดยเอนไซม์ที่เรียกว่า lipoprotein lipase (LPL) โดย LPL สมารถไฮโดรไลซ์กรดไขมันซึ่งจับกับกลีเซอรอลได้ทั้ง 1, 2 หรือทั้ง 3 กลุ่มได้เป็นกรดไขมันอิสระกับไดเอซิลกลีเซอไรด์ โมโนกลีเซอ-ไรด์ หรือกลีเซอรอลตามลำดับ กรดไขมันอิสระ ไดเอซิลกลีเซอไรด์ โมโนกลีเซอไรด์และกลีเซอรอล จะถูกนำเข้าสู่เซลล์ผลิตน้ำนม และถูกนำไปสร้างไตรกลีเซอไรด์ขึ้นมาใหม่

กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของ VLDL และไคโลไมครอนจะขึ้นอยู่กับอาหารประเภทไขมันและการนำไขมันจากเซลล์ไขมันออกมาใช้ ในสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของอาหารจะมีผลกระทบโดยตรงต่อกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำนม การเสริมไขมันในอาหารสามารถเพิ่มปริมาณไขมันนมและกรดไขมันนมได้ ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง อาหารมักจะมีปริมาณไขมันต่ำ และไขมันเหล่านี้ถูกเมทาบอไลท์ในกระเพาะหมัก เป็นผลให้กรดไขมันในน้ำนมโคไม่ขึ้นกับไขมันในอาหาร อย่างไรก็ตาม การให้ไขมันไหลผ่าน (bypass fat) ไปยังลำไส้เล็กโดยตรงจะช่วยให้กรดไขมันไหลผ่านเหล่านั้นกลายเป็นองค์ประกอบของ VLDL และไคโลไมครอนได้ ดังนั้นองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำนมโคจึงถูกเปลี่ยนแปลงได้โดยการให้ไขมันไหลผ่าน

2. จากการสังเคราะห์ขึ้นใหม่

การสังเคราะห์กรดไขมันสายสั้นและสายยาวเกิดขึ้นโดยการสังเคราะห์กรดไขมันขึ้นใหม่ (de novo synthesis) การสังเคราะห์กรดไขมันขึ้นใหม่เกิดในส่วนของไซโทซอลของเซลล์ผลิตน้ำนม เรียกว่าระบบไซโทพลาสซึม (Cytoplasmic system) เป็นการสร้างจากอะเซติลโคเอจนได้กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนที่ยาวที่สุด 16 อะตอม คือกรดปาล์มมิติก (palmitate) หรือปาล์มิเตท ดังนั้นจึงอาจเรียกว่า palmitate synthesis system การสังเคราะห์กรดไขมันนี้อาจเกิดจากการสังเคราะห์ตั้งแต่ต้นหรือการสังเคราะห์โมเลกุลของกรดไขมันขึ้นมาใหม่โดยอาศัยสารตั้งต้นจากกระแสเลือด ในสัตว์เคี้ยวเอื้องแหล่งของคาร์บอนที่นำมาใช้ในการสังเคราะห์กรดไขมันคือ อะซิเตท และ β-hydroxybutyrate (BHBA) กลูโคสคือแหล่งของคาร์บอนที่สำคัญในสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง ส่วน reducing equivalent ที่จำเป็นสำหรับการสังเคราะห์กรดไขมันได้มาจาก $NADPH_2$ (nicotinamide adenine dinucleotide phosephate, reducing form) เอนไซม์ที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์กรดไขมันในเต้านม คือ Acetyl-CoA Carboxylase เป็นตัวกำหนดความเร็วของปฏิกิริยาในวิถีการสังเคราะห์กรดไขมัน และ Fatty Acid Synthetase เป็นระบบมัลติเอนไซม์คอมเพล็กส์ที่ทำหน้าที่ต่อสายกรดไขมันให้ยาวขึ้น

สัดส่วนที่สัมพันธ์กันของกรดไขมันนมที่สังเคราะห์ขึ้นใหม่หรือที่ได้จากไขมันในเลือดจะขึ้นอยู่กับความยาวของสายคาร์บอนของกรดไขมัน โดยทั่วไปกรดไขมันสายสั้นจะได้มาจาก

การสังเคราะห์กรดไขมันขึ้นใหม่ในเซลล์ผลิตน้ำนม ในขณะที่กรดไขมันสายยาวจะได้มาจากไขมันในเลือด

ภายในเซลล์เต้านม ขณะที่ไตรกลีเซอไรด์ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ผิวด้านนอกของ SER ไตรกลีเซอไรด์จะเริ่มรวมกันเป็นหยดไขมัน จากนั้นหยดไขมันขนาดเล็กจะเริ่มโผล่และหลุดออกมาจากผนังด้านที่สัมผัสกับไซโตพลาสซึมของ SER สำหรับหยดไขมันขนาดเล็ก เส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 0.5 ไมครอน อาจจะหลั่งออกมาจากเซลล์โดยตรงโดยไม่รวมกันกับกรดไขมันอื่น ๆ ในไซโตพลาสซึม หยดไขมันจะถูกห่อหุ้มด้วยเยื่อหุ้มซึ่งเป็นโปรตีน butyrophilin และเป็นไขมันชนิดมีขั้ว ganaliosides เยื่อหุ้มนี้จะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการรวมตัวของหยดไขมันที่สร้างขึ้นกับไขมันที่อยู่ภายในเซลล์ แต่จะช่วยให้มีการรวมกันระหว่างหยดไขมันด้วยกันเอง สันนิษฐานว่าเยื่อหุ้มโปรตีนและไขมันจะมีบทบาทร่วมกับแคลเซียมที่จะช่วยให้เกิดการรวมตัวกันของกรดไขมัน เมื่อหยดไขมันนมขนาดใหญ่เคลื่อนมาที่ apical membrane surface ของเซลล์ผลิตน้ำนม หยดไขมันนมจะดันผนังเซลล์ให้ยื่นเข้าไปในลูเมน ทำให้หยดไขมันหุ้มด้วยผนังเซลล์ด้าน apical membrane surface จากนั้นจะเกิดการเชื่อมกันของผนังเซลล์ที่ฐานของหยดไขมัน ทำให้หยดไขมันที่มีผนังหุ้มอยู่ด้วยหลุดเข้าไปในลูเมน กลายเป็น membrand-bound milk fat globule ดังนั้น milk fat globule จึงมีส่วนของโปรตีนซึ่งเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์หลายชนิดซึ่งโปรตีนเหล่านี้จะถูกแยกออกจากไขมันในขั้นตอนการแยกครีม (cream) ออกจากน้ำนมโดยการปั่นเหวี่ยงและทำให้ครีมมี whipping properties

2.7 การเกิดเต้านมอักเสบ

การเกิดเต้านมอักเสบนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยทั้งทางด้านกายภาพและชีวภาพ ปัจจัยทางกายภาพได้แก่ ฤดูกาล สภาพโรงเรือน การดูแลด้านสุขลักษณะและความสะอาดของอุปกรณ์และโรงเรือนไม่ดี รวมไปถึงการรีดนมที่ไม่ถูกวิธี และปัจจัยทางด้านชีวภาพ ได้แก่ ลักษณะของหัวนม สุขภาพของโค และพันธุกรรม เป็นต้น ทำให้ส่งผลให้เชื้อจุลินทรีย์ลุกลามเข้าสู่เต้านมก่อให้เกิดอาการอักเสบของเต้านมขึ้น จากการศึกษางานวิจัยส่วนใหญ่ พบว่าเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุสำคัญของโรคเต้านมอักเสบในแม่โครีดนม คือแบคทีเรียที่อยู่ในกลุ่มของ *Staphylococcus* spp และ *Streptococcus* spp ซึ่งแบคทีเรียดังกล่าวนั้นมีที่มาจาก 2 แหล่งคือ

แบคทีเรียที่มีแหล่งที่มาจากตัวโคด้วยกันเอง เป็นแบคทีเรียที่แพร่เชื้อมาจากโคสู่โค เช่น การแพร่เชื้อผ่านทางผ้าที่ใช้ในการทำความสะอาดเต้านมก่อนการรีดนม รวมไปถึงมือของผู้รีดนมเองหรือเครื่อง รีดนม เป็นต้น ได้แก่ แบคทีเรียในกลุ่ม *Staphylococcus aureus* และ *Streptococcus agalactiae* (อนุชิต ชาวเหนือ, 2545; Shem, Malole, Machangu, Kurwijila, and Fujihara, 2001)

แบคทีเรียที่มาจากสิ่งแวดล้อม แบคทีเรียเหล่านี้เป็นแบคทีเรียที่มาจากดิน คอก อาหารสัตว์ และน้ำ เป็นต้น ได้แก่ *Staphylococcus* spp., *Streptococcus* spp., (นิมิต ลีสิริกุล, 2540)

2.7.1 อาการของโรคเต้านมอักเสบ

จากการรายงานของ Philpot and Nickerson (1991) พบว่าการเกิดโรคเต้านมอักเสบสามารถจำแนกออกเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ ชนิดแบบที่แสดงอาการและแบบที่ไม่แสดงอาการของโรคเต้านมอักเสบซึ่งส่งผลต่อสุขภาพของแม่โค เต้านม และคุณภาพของน้ำนมดิบที่แตกต่างกันดังนี้

แม่โคที่เป็นโรคเต้านมอักเสบแบบแสดงอาการ (clinical mastitis) แม่โคจะแสดงอาการมีไข้ เต้านมบวมแดง น้ำนมที่รีดออกมาจะมีลักษณะเป็นลิ่ม ตะกอน หรือใส หากมีการอักเสบอย่างรุนแรงท่อนมจะเกิดการอักเสบ ซึ่งอาจจะส่งผลให้ไม่สามารถรีดนมจากเต้านั้นได้อีกเลย และอาจมีการลุกลามไปยังหัวนมอื่น ๆ หรือทำให้เกิดการอักเสบขึ้นที่บริเวณช่องคลอดและขาหนีบของแม่โค ทำให้แม่โคเสียชีวิตในที่สุด

แม่โคที่เป็นโรคเต้านมอักเสบแบบไม่แสดงอาการ (subclinical mastitis) จะพบว่าเต้านมและน้ำนมที่รีดได้มีลักษณะปกติเมื่อมองด้วยตาเปล่า แต่จะมีเชื้อจุลินทรีย์แฝงอยู่ภายในเต้านมทำให้ปริมาณน้ำนมดิบที่รีดได้ลดลง ละปริมาณเซลล์เม็ดเลือดขาวหรือที่เรียกกันทั่วไปว่าเซลล์โซมาติก (somatic cell) ในน้ำนมเพิ่มจำนวนขึ้น ซึ่งเป็นการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะ (non-specific immune response) เพื่อกำจัดสิ่งแปลกปลอมออกจากร่างกายโดย phagocytosis ทำให้แม่โครีดนมที่เป็นโรคเต้านมอักเสบมีอาการทุเลาลงและเต้านมเข้าสู่สภาพปกติ

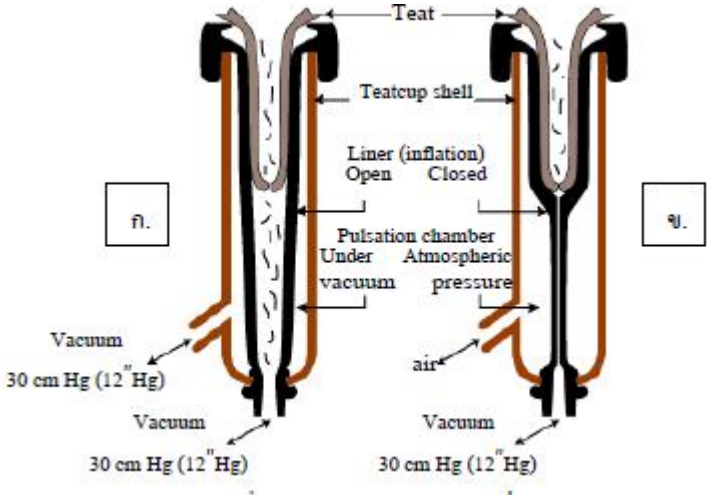
2.7.2 การรีดนมกับปัญหาเต้านมอักเสบ

การที่เชื้อจุลินทรีย์จะสามารถเข้าสู่เต้านมได้นั้น รูนม (teat canal) จะต้องเปิดออกและช่วงที่มีการเปิดออกของรูนมส่วนใหญ่คือ ขั้นตอนการรีดนม ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าการรีดนมมีโอกาสที่จะทำให้เชื้อจุลินทรีย์ และก่อให้เกิดโรคเต้านมอักเสบได้มากที่สุด ซึ่งการรีดนมในปัจจุบันสามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธี คือการรีดนมด้วยมือและการรีดนมด้วยเครื่องรีดนม ซึ่งมีรายละเอียดแต่ละวิธีดังนี้

การรีดนมด้วยมือ เป็นวิธีการที่มีการใช้กันมาตั้งแต่สมัยโบราณ เป็นวิธีการที่สะดวกและไม่ใช้วัสดุอุปกรณ์ที่ซับซ้อน โดยการใช้ซอกนิ้วหัวแม่มือกับนิ้วชี้บีบรัดโคนของหัวนม เพื่อปิดกั้นไม่ให้นมในท่อนมไหลกลับคืนไปในเต้านม จากนั้นใช้นิ้วมือที่เหลืออีก 3 นิ้ว บีบไล่นมในท่อหัวนมออกทางปลายหัวนมให้เกิดแรงดันภายในจนดันกล้ามเนื้อวงแหวนปลายหัวนมเปิดออก จากนั้นคลายนิ้วหัวแม่มือและนิ้วชี้ออก จะทำให้นมที่อยู่ในโพรงเก็บน้ำนมไหลลงมาที่ท่อหัวนมพร้อมที่จะถูกรีดต่อไปทำเช่นนี้ ไปเรื่อย ๆ จนกว่าน้ำนมหมดเต้า ขณะรีดนมผู้รีดนมต้องใช้มือที่แห้งและน้ำนมต้องไม่เปื้อนตามฝ่ามือหรือแขน การที่ผู้รีดนมบางคนรีดนมด้วยมือเปียกหรือเอาน้ำนมทา

มือนับว่าเป็นการปฏิบัติที่ไม่ถูกสุขลักษณะ เนื่องจากจุลินทรีย์จะมีโอกาสเข้าสู่เต้านมได้มากขึ้น

การรีดนมด้วยเครื่อง (milking machine) เป็นวิธีที่มีหลักการทำงานเลียนแบบการดูดนมของลูกโค โดยการสร้างสุญญากาศขึ้น เพื่อดูดนมมาจากเต้านม ซึ่งเครื่องรีดนมมีปลอกรูปทรงกระบอก 2 ชั้น ชั้นนอกเป็นกระบอกโลหะ (teatcup shell) ส่วนชั้นในเป็นยางอ่อน (liner) หรือที่เกษตรกรเรียกกันว่า ยางไลเนอร์ ตรงกลางภายในช่องยางอ่อนเป็นช่วงที่ใช้สำหรับสวมหัวนม ซึ่งน้ำนมจะไหลออกมาทางนี้ แรงสุญญากาศภายในช่องนี้จะเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ ทำให้กระบอกดูดนมติดกับหัวนมตลอดเวลา โดยแรงสุญญากาศนี้จะเกิดเป็นจังหวะทำให้เกิดการดูดสลับกับการปล่อย ทำให้ยางไลเนอร์จะถูกแรงดูดทำให้ยางไลเนอร์ขยายออกแล้วน้ำนมจะไหลจากโพรงเก็บน้ำนมลงแทนที่หัวนม (ดังภาพ)



ก. คือ การปล่อยอากาศภายนอกเข้าสู่ช่องว่างระหว่างกระบอกโลหะกับยางไลเนอร์

ข. คือ การดูดอากาศออกจากช่องว่างระหว่างกระบอกโลหะกับยางไลเนอร์

ภาพที่ 2.3 กลไกการทำงานของเครื่องรีดนม

เครื่องรีดนมถูกสร้างขึ้น เพื่อให้เกิดความสะดวก ช่วยผ่อนแรงแก่ผู้รีดและสะอาดกว่าการรีดด้วยมือ เนื่องจากน้ำนมถูกรีดออกจากหัวนมเข้าสู่ถังนมโดยตรง และฝุ่นละอองหรือสิ่งสกปรกไม่สามารถปนเปื้อนในถังรีดนมเหมือนแบบรีดด้วยมือ ถ้าหากเครื่องรีดนมทำงานในขณะที่เต้านมไม่มีน้ำนมจะเป็นสาเหตุให้หัวนมเกิดการชอกช้ำภายใน อาจเป็นสาเหตุให้เกิดโรคเต้านมอักเสบขึ้น นอกจากนี้การทำความสะอาดเครื่องรีดนมที่ไม่ถูกต้อง น้ำนมที่ได้จะมีการปนเปื้อนมากกว่าการรีดด้วยมือ ปัญหาที่พบคือเกษตรกรส่วนใหญ่ไม่ค่อยเปลี่ยนยางไลเนอร์ที่หมดอายุการใช้งาน ซึ่งมีการแตกเป็นร่องเล็ก ๆ และเกษตรกรบางรายไม่ถอดชิ้นส่วนอุปกรณ์ออกมาทำความ

สะอาดอย่างทั่วถึง เช่น วาล์วเปิด-ปิดลมถ้วยรวมนมและยางไลเนอร์ เป็นต้น อันเป็นแหล่งสะสมของเชื้อแบคทีเรีย ทำให้มีโอกาสเกิดการระบาดของโรคเต้านมอักเสบในฟาร์มเพิ่มสูงขึ้น

2.8 ปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตและองค์ประกอบของน้ำนมดิบ

การให้ผลผลิตน้ำนมของโคนมหลังคลอด ในช่วงแรกโคจะให้ผลผลิตน้ำนมไม่สูง และจะค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้นจนถึงระดับที่สูงสุด (peak of lactation) ซึ่งจะมีระยะเวลาประมาณ 3 – 6 สัปดาห์ แต่โคที่ให้นมมากจะมีระดับสูงสุดนานกว่านี้ จากนั้นปริมาณน้ำนมจะลดลงอย่างช้า ๆ อัตราการลดลงของน้ำนมจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการให้นมทน (milk persistency) ของโคแต่ละตัว (ชวนิศนดากร วรวรรณ, 2534) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของพันธุกรรม และการเลี้ยงดูการให้อาหารด้วย โดยปกติระยะเวลาการให้นมของโคประมาณ 305 วัน และมีระยะเวลาการพักการให้นม (dryperiod) ประมาณ 60 วัน องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม จะเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการให้นมในทางตรงกันข้ามกับปริมาณน้ำนม คือ โคที่ให้น้ำนมลดลง แต่คุณภาพน้ำนมจะสูงขึ้น โดยที่เปอร์เซ็นต์ไขมันจะเปลี่ยนแปลงมาก เปอร์เซ็นต์โปรตีนจะเปลี่ยนแปลงตามไขมัน ส่วนเปอร์เซ็นต์แล็คโตสในน้ำนมนั้นค่อนข้างคงที่ และเปอร์เซ็นต์ของแข็งพร่องไขมันสูงขึ้น ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม สามารถแบ่งออกเป็น 2 ปัจจัยหลัก ได้แก่

2.8.1 ปัจจัยทางสรีรวิทยา

เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการให้น้ำนม ซึ่งมีทั้งที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางพันธุกรรมและไม่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางพันธุกรรม

2.8.1.1 ลักษณะทางพันธุกรรม

โคนมในแต่ละพันธุ์นั้น จะมีลักษณะการให้ผลผลิตน้ำนมที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน โคนมพันธุ์โฮลสไตล์ฟรีเชี่ยนเป็นโคที่มีการให้ผลผลิตน้ำนมในปริมาณที่สูงกว่าโคทุกสายพันธุ์ แต่มีข้อด้อย คือ เปอร์เซ็นต์ของของแข็งรวมในน้ำนมต่ำ โดยเฉพาะเปอร์เซ็นต์ไขมันนม (3.7%) โคนมพันธุ์เจอร์ซี่เป็นโคพันธุ์เล็กให้ปริมาณน้ำนมปานกลาง และเปอร์เซ็นต์ไขมันนมสู (4.9%) ซึ่งสูงกว่าโคทุกพันธุ์ (ฉลอง วชิราภากร, 2546) สำหรับองค์ประกอบน้ำนมของโคนมที่เลี้ยงในประเทศไทยนั้น ประวีร์ วิชชุลตา ณิฐิมา เฉลิมแสน และสุทธิศักดิ์ แก้วแกมจันทร์ (2546) พบว่าค่าเฉลี่ยของไขมัน โปรตีน น้ำตาลแล็คโตส ของแข็งพร่องไขมัน (SNF) และของแข็งรวมไขมัน (TS) คือ 3.95, 3.19, 4.5, 8.76 และ 12.68% ตามลำดับ แต่การปรับปรุงพันธุ์โคนมที่ให้ผลผลิตมาก ๆ นั้นเป็นไปได้ช้าเพราะค่า Heritability ของการให้นมมีค่า เท่ากับ 0.3 ซึ่งเป็นค่าความสามารถในการถ่ายทอดลักษณะพันธุกรรมที่ต่ำ

2.8.1.2 อายุ

โคสาวจะสามารถเริ่มให้น้ำนมได้เมื่ออายุประมาณ 2 – 3 ปี ซึ่งร่างกายยังไม่โตเต็มที่ ทั้งนี้รวมไปถึงอวัยวะอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างน้ำนมด้วย ดังนั้นปริมาณน้ำนมที่โคสาวให้จะต่ำกว่าโคที่เจริญเติบโตมากกว่า เมื่อโคให้นมครั้งต่อไปขนาดของโคใหญ่ขึ้นอวัยวะต่าง ๆ เจริญขึ้นโคจะให้นมมากขึ้นตามลำดับ จนกว่าจะโตเต็มที่เมื่ออายุประมาณ 6 ปี การให้นมของโคจะสูงสุดเมื่อมีอายุประมาณ 6 – 7 ปี จากนั้นปริมาณน้ำนมจะลดลงเรื่อย ๆ ส่วนเปอร์เซ็นต์ไขมัน และของแข็งพร่องไขมัน (SNF) ในน้ำนมจะลดลง

2.8.1.3 วงรอบของการเป็นสัด และการตั้งท้อง

ในขณะที่โคแสดงอาการการเป็นสัด จะมีผลทำให้ปริมาณน้ำนมลดลง เนื่องจากอิทธิพลของฮอร์โมน และปริมาณการกินได้ของโคลดลง โคที่อยู่ในระหว่างการเป็นสัด จะมีความอยากอาหารน้อย และโคมีความกระวนกระวายมาก และไม่ค่อยสนใจกินอาหาร ดังนั้น ปริมาณน้ำนมที่ได้จากโคจะลดลงจนกว่าโคจะผ่านช่วงของการเป็นสัด และกลับมากินอาหารได้ตามปกติ ปริมาณน้ำนมจึงจะเพิ่มขึ้นเท่าเดิม ในแง่ของการจัดการจึงควรคัดแยกโคที่เป็นสัดออกอยู่อีกกลุ่มหนึ่ง เพื่อลดปัญหาการรบกวนกับโคในฝูง โคที่ตั้งท้องจะมีผลทำให้ผลผลิตของน้ำนมลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วงปลายของการตั้งท้อง (5 เดือนขึ้นไป) ปริมาณน้ำนมลดลงได้ถึง 20% ที่อายุการตั้งท้อง 225 วัน ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากโภชนะบางส่วนถูกนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตของตัวอ่อนและขนาดของลูกโคในท้องแม่โคจะมีผลต่อช่องว่างในท้องหรือความจุของกระเพาะแม่โค หรือจำกัดปริมาณการกินอาหาร และยังมีสาเหตุมาจาการเปลี่ยนแปลงระดับของฮอร์โมนในกระแสเลือดในแม่โคที่ตั้งท้องอยู่ในระยะปลายใกล้คลอดจะมีเอนไซม์ออกซีโทซิเนส (Oxytocinase) มากขึ้น และจะไปทำลายฮอร์โมนออกซีโทซิน โดยเป็นตัวกระตุ้นการปล่อยฮอร์โมนโปรแลคติน จากต่อมใต้สมองส่วนหน้า (วิศิษฐิพร สุขสมบัติ, 2538) โดยเฉพาะก่อนคลอดประมาณ 4 สัปดาห์ ซึ่งเป็นผลให้โคมีปริมาณน้ำนมที่ลดต่ำลง

2.8.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม

2.8.2.1 อุณหภูมิและความชื้น

มีความสำคัญต่อการให้ผลผลิตน้ำนมมาก อากาศร้อนจะทำให้โคให้นมลดลงเพราะโคกินอาหารได้ลดลง อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงโคคือ 4.4 – 23.9 องศาเซลเซียส ถ้ามีอุณหภูมิต่ำกว่า 4.4 องศาเซลเซียส ไม่มีผลต่อปริมาณน้ำนม แต่โคมีความต้องการอาหารเพิ่มขึ้น และถ้ามีอุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส จะมีผลให้ปริมาณน้ำนมลดลง แต่องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมจะสูงขึ้น และถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 23.9 องศาเซลเซียส จะทำให้ปริมาณน้ำนมลดลงมาก แต่การลดลงของปริมาณน้ำนมมีผลทำให้ไขมันในน้ำนมสูงขึ้น ส่วนการกินน้ำ อุณหภูมิของร่างกายและอัตราการหายใจจะเพิ่มขึ้น

2.8.2.2 ฤดูกาล

มีผลต่อผลผลิตและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม โดยปกติโคจะกินอาหารได้มากเมื่อมีอากาศหนาวเย็น และจะให้ผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้น ฤดูฝนเป็นเวลาที่โคจะให้ผลผลิตน้ำนมมากกว่าฤดูกาลอื่น ๆ เพราะโคจะได้รับอาหารที่อุดมสมบูรณ์ ซึ่งเป็นผลทางอ้อมในการให้นม และมีอากาศเย็น ส่วนในฤดูร้อนโคจะให้นมน้อยลง

2.8.2.3 ระยะพักการให้นม (Dry period)

จะทำให้สภาพของโคเมื่อคลอดลูกสมบูรณ์ และทำให้ปริมาณน้ำนมที่โคผลิตได้สูงสุด โดยโคจะใช้อาหารที่สะสมไว้ในร่างกายมาสร้างเป็นองค์ประกอบของน้ำนม โคควรมีระยะพักการให้นมไม่เกิน 60 วัน ถ้าโคนมมีระยะพักนานเกินไป จะมีผลทำให้ผลผลิตน้ำนมทั้งหมดลดลง แต่ถ้ามีระยะพักการให้นมน้อยเกินไป ก็ทำให้ผลผลิตน้ำนมลดลงเช่นกัน Smith and Dodd (1966) พบว่าโคที่ไม่ได้มีระยะพักการให้นมจะทำให้ผลผลิตน้ำนมต่ำกว่าโคที่มีระยะพักการให้นม56 – 62 เปอร์เซ็นต์

2.8.2.4 การรีดนม

ปกติการรีดนมมักจะทำกัน**วัน**ละ 2 ครั้ง เช้า และเย็น และระยะห่างไม่ค่อยเท่ากันคือไม่ทุก 12 ชั่วโมง โดยที่ระยะช่วงเย็นถึงเช้าจะนานกว่าระยะช่วงเช้าถึงเย็น ช่วงระยะเวลาที่ยาวกว่าจะได้ปริมาณน้ำนมสูงกว่า แต่องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมจะต่ำกว่า คือ เปอร์เซ็นต์ไขมันจะต่ำกว่าในช่วงระยะเวลาที่สั้นกว่า นอกจากนี้จำนวนครั้งของการรีดนมก็มีผลต่อปริมาณน้ำนม เช่น การรีดนม 3 ครั้งต่อวัน จะได้ปริมาณน้ำนมสูงกว่าการรีด 2 ครั้งต่อวัน การรีดนมไม่หมดเต้ามีผลทำให้ผลผลิตและเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมลดลง เนื่องจากน้ำนมที่ค้างอยู่ในเต้าเป็นน้ำนมที่มีไขมันสูง การที่น้ำนมค้างเต้าเป็นระยะเวลาหลายวัน จะทำให้ผลผลิตของน้ำนมลดลง และเปอร์เซ็นต์ไขมันเพิ่มขึ้น

2.8.2.5 อาหารและการให้อาหาร

โภชนะที่ใช้ในการสร้างน้ำนมมาจาก 2 แหล่ง คือ จากอาหารที่กินและอาหารสะสมในร่างกาย ทั้งสองแหล่งจะมีผลต่อปริมาณสารอาหารที่ใช้ในการสังเคราะห์น้ำนม จากรูปแบบของการให้น้ำนมโคตลอดช่วงการรีดนมนั้น จะต้องมีการปรับความต้องการอาหารของโคให้สอดคล้องกับระยะของการให้ผลผลิต รวมถึงการปรับปรุงแบบการจัดการจ่ายอาหาร ชนิดอาหาร ความถี่ในการจ่ายอาหาร เพื่อให้โคนมได้รับปริมาณสิ่งแห้งรวมอย่างเพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย เนื่องจากปริมาณน้ำนมที่ผลิตได้มีผลมาจากระดับของโภชนะที่ได้รับ ถ้าได้รับโภชนะต่ำกว่าปกติจะมีผลทำให้ปริมาณน้ำนมที่ผลิตได้ และน้ำตาลแล็คโตสในน้ำนมลดลงอย่างชัดเจน แต่ถ้าได้รับโภชนะสูงกว่าปกติ ปริมาณน้ำนมจะสูงขึ้นไม่มากนัก ความสำคัญของสูตรอาหารมีอิทธิพลน้อยกว่าวิธีการจัดการจ่ายอาหาร ถ้าจ่ายอาหารให้โคได้รับอย่างไม่เพียงพอจะมีผลกระทบทันทีต่อผลผลิต

น้ำนม การจำกัดปริมาณการกินอาหารก็มีผลกระทบต่อปริมาณน้ำนมเช่นเดียวกัน โครีดนมจะมีอัตราการกินปริมาณสิ่งแห้ง 3-4 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวโค อาหารสะสมในร่างกายจะช่วยให้โคมีความทนทานต่อการให้ผลผลิต ช่วยให้อัตราการลดลงของน้ำนมต่ำกว่าร้อยละ 10 ต่อเดือน ในการให้อาหารข้นแก่โคปริมาณสูง และให้อาหารหยาบในปริมาณที่ต่ำ จะมีผลทำให้ไขมันในน้ำนมนั้นลดต่ำลง ถ้าโคได้รับอาหารหยาบน้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณอาหารที่ได้รับทั้งหมด จะมีผลทำ ให้ไขมันในน้ำนมลดลงเหลือเพียง 2 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นในการกินอาหารโคต้องได้รับอาหารหยาบไม่น้อยกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว จึงจะทำให้ปริมาณไขมันในน้ำนมไม่ลดลงซึ่งในการศึกษาของ Dhiman, Klrinmans, Tessmann, Radloff and Satter (1995) ได้ศึกษาถึงสัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้น พบว่าเมื่ออาหารหยาบสูงขึ้นจะมีผลทำให้ปริมาณการกินได้วัตถุแห้งของโคลดลง แต่เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับรายงานของ (MacLeod and Wood, 1972)

2.7 รายการอ้างอิง

ฉลอง วชิราภากร. (2543). **โภชนศาสตร์แร่ธาตุของสัตว์**. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ฉลอง วชิราภากร. (2546). **การจัดการด้านอาหารโคนมต่อผลผลิตและองค์ประกอบน้ำนม**. ใน เอกสารประกอบการประชุมวิชาการโคนม พ.ศ. 2546. (หน้า 14-32). ขอนแก่น: ขอนแก่นการพิมพ์.

ชวนิศนดากร วรวรรณ. (2534). **การเลี้ยงโคนม**. สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพาณิชย์.

นิมิต ลีสิริกุล. (2540). **โรคเต้านมอักเสบ**. แก่นเกษตร. 25(4): 232-236.

บุญล้อม ชีวะอีสระกุล. (2541). **โภชนศาสตร์สัตว์**. พิมพ์ครั้งที่ 6. เชียงใหม่: ธนบรรณการพิมพ์.

ประวีร์ วิชชุลตา ณิฐิมา เฉลิมแสน และสุทธิศักดิ์ แก้วแกมจันทร์. (2546). สถานภาพองค์ประกอบ น้ำนมดิบในประเทศไทย. ใน **เอกสารประกอบการประชุมวิชาการโคนม พ.ศ. 2546.** (หน้า 7-13).ขอนแก่น: ขอนแก่นการพิมพ์.

เมธา วรรณพัฒน์ และ ฉลอง วชิรภากร. (2553). **เทคนิคการให้อาหารโคเนื้อและโคนม**. ฟันนี่พลับลิชชิ่ง กรุงเทพฯ.

วิศิษฐิพร สุขสมบัติ. (2538). **เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชาการผลิตโคนม**. สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์. สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

วิศิษฐิพร สุขสมบัติ. (2542). **เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชาโภชนศาสตร์เคี้ยวเอื้อง**. สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

อนุชิต ชาวเหนือ. (2545). **การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ของน้ำนมดิบและนมพาสเจอไรส์**. แก่นเกษตร. 30(2): 122-128.

Abe, M., Iriki, T., Funaba, M., and Onda, S. (1998). Limiting amino acids for a corn and soybean meal diet in weaned calves less than three months of age. **J. Anim. Sci**. 76:628-636.

Abe, M., Iriki, T., and Funaba, M. (1997). Lysine deficiency in postweaned calves fed corn and corn gluten meal diets. **J. Anim. Sci**. 75:1974-1982.

Allen, M. S. (2000). Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. **J. Dairy Sci.** 83: 1958-1624.

Andrews, S. M., Tyrrell, H. F., Reynolds, C. K., and Erdman, M. D. (1991). Net energy for lactation of calcium soaps of long-chain fatty acids for cows fed silage-based diets. **J. Dairy Sci**. 74: 2588.

Auboiron, S., Durand, D., Robert, J. C., Chapman, M. J., and Bauchart, D. (1995). Effect of dietary fat and L-methionine on the hepatic metabolism of very-low density lipoproteins in the preruminant calf, Bos spp. **Reprod. Nutr. Dev**. 35:167-168.

Bach, A., and Stern, M. D. (2000). Measuring resistance to ruminal degradation and bioavailability of ruminally protected methionine. **Anim. Feed Sci. Technol**. 84:23-32.

Baker, D. H. (1994). **Utilization of precursors for L-amino acids**. Page 37-47 in Amino Acids in Farm Animal Nutrition. J.P.F. D'Mello, ed. Cab International.

Bauchart, D., Gruffat, D., and Durand, D. (1996). **Lipid absorption and hepatic metabolism in ruminants**. Proc. Nutr. Soc. 55:39-47.

Belasco, I. J. (1972). Stability of methionine hydroxy analog in rumen fluid and its conversion in vitro to methionine by calf liver and kidney. **J. Dairy Sci**. 55:353-357.

Belasco, I. J. (1980). Fate of carbon-14 labeled methionine hydroxy analog and methionine in the lactating dairy cow. **J. Dairy Sci**. 63:775-784.

Berthiaume, R., Lapierre, H., Stevenson, M., Cote, N., and McBride, B. W. (2000). Comparison of the in situ and in vivo intestinal disappearance of ruminally protected methionine. **J. Dairy Sci**. 83:2049-2056.

Blum, J. W., Bruckmaler, R. M., and Jans, F. (1999). Rumen-protected methionine fed to dairy cow: bioavailability and effect on plasma amino acid pattern and plasma metabolic and insulin concentration. **J. Dairy Sci**. 82:1991-1998.

Boland, M. P., O'Donnell, G., and O'Callaghan, D. (1996). **The contribution of mineral proteinates to production and reproduction in dairy cattle**. Page 95 in Biotechnology in the Feed Industry. T.P. Lyons and K. Jacques, ed. Nottingham University Press, Nottingham, UK.

Britt, J. S. (1996). **Update on the effect of nutrition on embryo transfer results**. Presented at 1996 AETA Meetings.

Broderick, M., Stevenson, J., Patton, R. A., Lobos, N. E., and Olmos Colmenero, J. J. (2008). Effect of supplementing rumen-protected methionine on production and nitrogen excretion in lactating dairy cows. **J. Dairy Sci**. 91:1092-1102.

Brunschwig, P., Augeard, P., Sloan, B. K., and Tanan, K. (1995). Feeding of protected methionine from 10d pre-calving and at the beginning of lactation to dairy cows fed a maize silage based ration. **Rencontres Recherches Ruminants** 2:249.

Cao, J., Henry, P.R., Guo, R., Holwerda, R.A., Toth, J.P., Littell, R.C., Miles, R.D., and Ammerman, C. B. (2000). Chemical characteristics and relative bioavailability of supplemental organic zinc sources for poultry and ruminants. **J. Anim. Sci**. 78:2039.

Chalupa, W. (1976). Degradation of amino acids by mixed rumen microbial population. **J. Anim. Sci**. 43:829-834.

Chapoutot, P., Schmidely, P., Sauvant, D., Robert, J. C., and Sloan, B. (1992). Influence of a ruminally protected blend of methionine and lysine (ML) on the dairy cow nutrition and production. **J. Dairy Sci.** 75(Suppl. 1):199. (Abstr.)

Clark, T. W., Xin, Z., Du, Z., and Hemken, R. W. (1993). A field trial comparing copper sulfate, copper proteinate, and copper oxide as copper sources for beef cattle. **J. Dairy Sci**. 76 (Suppl. 1):334.

Conrad, H. R., Weiss, W. P., Odwongo, W. O., and Shockey, W. L. (1984). Estimating net energy lactation from components of cell solubles and cell walls. **J. Dairy Sci**. 67: 427-437.

Crampton, E. W., Lloy, L. E., and Mackay, V. G. (1957). The calorie value of TDN. **J. Anim. Sci**. 16: 541-552.

DeRouen, S. M., Franke, D. E., Morrison, D. G., Wyatt, W. E., Coombs, D. F., White, T. W., Humes, P. E., and Greene, B. B. (1994). Prepartum body condition and weight influences on reproductive performance of first-calf beef cows. **J. Anim. Sci**. 72: 1119-1125.

Davidson, S., Hopkins, B. A., Odle, J., Brownie, C., Fellner, V., and Whitlow, L. W. (2008) Supplementing limited methionine diets with rumen-protected methionine, betaine, and choline in early lactation holstein cows. **J. Dairy Sci.** 91:1552-1559.

Dhiman, T. R., Klrinmans, J., Tessmann, N. J., Radloff, H. D., and Satter, L. D. (1995). Digestion and energy balance in lactating dairy cows fed varying ratios of alfalfa silage and grain. **J. Dairy Sci**. 78: 330.

DiCostanzo, A., Meiske, J. C., Plegge, S. D., Haggard, D. L., and Chaloner. K. M. (1986). Influence of manganese, copper and zinc on reproductive performance of beef cows. **Nutr. Rep. Int**. 34: 287-293.

Donahue, P. B., Quigley, C. G., III, J. D., and Hylton, W. E. (1985). Methionine deficiency in early weaned dairy calves fed pelleted rations based on corn and alfalfa or corn and soybean proteins. **J. Dairy Sci**. 68:681-693.

Erdman, R. A. (1994). Production responses in field study herds fed rumen protected choline. **J. Dairy Sci**. 77(Suppl. 1):186. (Abstr.)

Erdman, R. A. and Sharma, B. K. (1991). Effect of dietary rumen-protected choline in lactating dairy cows. **J. Dairy Sci**. 74:1641-1647.

Fallon, R. J., Matovani, R., Roche, J. F., and Boland, M. P. (1993). Effect of proteinated minerals and yeast culture on fertilization in superovulated heifers. **J. Agicul. Food Res**. 32:111.

Fonnesbeck, P. V., Wardeh, M. F., and Harris, L. E. (1984). **Mathematical models for estimating energy and protein utilization of feedstuffs**. Utah Agricultural Eperimental Station Bulletin. No. 508.

Fraser, D. L., Ørskov, E. R., Whitelaw, F. G., and Franklin, M. F. (1991). Limiting amino acids in dairy cows given casein as the sole source of protein. **Livest. Sci**. 28:235-252.

Galton, D. (1990). Effect of feeding Zinpro to lactating dairy cows on udder health. Zinpro Technical Bulletin # D-8911.

Garce, N. D. (1983). **The mineral Requirements of Grazing Ruminants**. Occasional Publication No. 9. New Zeland Society of Animal Production, Keeling and Mundy Limited, Palmerston North, New Zeland.

Garrett, W. N. (1980). **Energy utilization by growing cattle as determined by 72 comparative slaughter experiments**. Energy Metabolism. Proc. Symp. 26: 3-7.

Garthwaite, B. D., Schwab, C. G., and Sloan, B. K. (1998). **Amino acid nutrition of the transition and early lactation cow**. Proc. Cornell Nutr. Conf. pp. 38– 50, Ithaca, NY.

Harmon, R. J., Trammell, D. S., Smith, B. A., and Scaletti, R. W. (1998). Effects of dietary copper insufficiency and sources of dietary copper on copper status and intramammary infections at calving. **J. Dairy Sci**. 81 (Suppl. 1):43.

Harris, B. (1995). **The effect of feeding zinc proteinate to lactating dairy cows**. Page 299 in Biotechnology in the Feed Industry. T.P. Lyons and K. Jacques, ed. Nottingham University Press, Nottingham, UK.

Harrison, J. H., Hancock, D. D., and Conrad, H. R. (1984). Vitamin E and selenium for reproduction of dairy cows. **J. Dairy Sci**. 67:123.

Hill, G. M., Boling, J. A., and Bradley, N. W. (1980). Postruminal lysine and methionine infusion in steers fed a urea-supplemented diet adequate in sulfur. **J. Dairy Sci**. 63:1242-1247.

Holmes, C. W. and Wilson, G. F. (1984). **Milk Production from Pasture**. Butterworths, Wellington, New Zealand. 319p.

Hopkins, B. A., Rakes, A. H., Daniel, T. E., Zimmerman, C. A., and Croom, W. J. (1994). Effects of intraperitoneal L-leucine, L-isoleucine, L-valine, and L-arginine on milk fat depression in early lactation cows. **J. Dairy Sci**. 77:1084-1092.

Hopkins, D. I., Kunkle, W. E., Hammond, A. C., Bates, D. B., and Reiling, B. A. (1999). Effects of bypass methionine on the performance of growing cattle fed bermudagrass hay supplemented with molasses-based supplements. **J. Anim. Sci**. 71(Suppl.1):202. (Abstr.)

Johnson H. E., Whitehouse, N. L., Garthwaite, B. D., Piepenbrink, M. S., and Schwab, C. G. (1999). Supplementation of corn and barley-based diets of late gestation and early lactation cows with liquid methionine hydroxy analog (HMB). **J. Dairy Sci**. 82(Suppl. 1):65. (Abstr.)

Kellogg, D. W. (1990). **Zinc methionine affects performance of lactating cows**. Feedstuffs 62:15.

Kinal S., Korniewicz A., Jamroz D., Zieminski R., Slupczynska M. (2005). Dietary effects of zinc, copper and manganese chelates and sulphates on dairy cows. **J. Food Agric Environ**. 3: 168-172.

King, K. J., Bergen, W. G., Sniffen, C. J., Grant, A. L., Grieve, D. B., King, V. L., and Ames, N. K. (1991). An assessment of absorbable lysine requirements in lactating cows. **J. Dairy Sci**. 74:2530-2539.

Kincaid, R. L., Blauwiekel, R. M., and Cronrath, J. D. (1986). Supplementation of copper as copper sulfate or copper proteinate for growing calves fed forages containing molybdenum. **J. Dairy Sci**. 69:160-163.

Koenig, K. M., Rode, L. M., Knight, C. D., and McCullough, P. R., (1999). Ruminal escape, gastrointestinal absorption, and response of serum methionine to supplementation of liquid methionine hydroxy analog in dairy cows. **J. Dairy Sci**. 82:355-361.

Kowalski, Z. M., Pisulewski, P. M., and Spanghero, M. (1999). Effects of calcium soaps of rapeseed fatty acids and protected methionine on milk yield and composition in dairy cows. **J. Dairy Res**. 66:475-487.

Kropp, J. R. (1990). **Reproductive performance of first-calf heifers supplemented with amino acid chelate minerals**. In: Oklahoma Anim. Sci. Res. Rep. 41 pp 35-43. Oklahoma State Univ., Stillwater.

Lara, A., Mendoza, G. D. Landois, L., Barcena, R., Sa´nchez-Torres, M. T., Rojo, R., Ayala, J., Vega, S. (2006). Milk production in Holstein cows supplemented with different levels of ruminally protected methionine. **Livest. Sci**. 105:105-108.

Liu, C., Schingoethe, D. J., and Stegeman, G. A. (2000). Corn distillers grains verus a blend of protein supplements with or without ruminally protected amino acids for lactating cows. **J. Dairy Sci**. 83:2075-2084.

Mackle, T. R., Dwyer, D. A., and Bauman, D. E. (1999). Effects of branched-chain amino acids and sodium caseinate on milk protein concentration and yield from dairy cows. **J. Dairy Sci**. 82:161-171.

MacLeod, G. K. and Wood, A. S. (1972). Influence of amount and degree of saturation of dietary fat on yield and quality of milk. **J Anim. Sci**.. 55: 439**.**

Manynard, L. A., Loosli, J. K., Hintz, H. F., and Warner, R. G. (1979). **Animal Nutrition**. 7th. McGraw-Hill, Inc., New York, NY.

Mepham, T. B. (1982). Amino acid utilization by lactating mammary gland. **J. Dairy Sci**. 65:287-298.

McCollum, M. Q., Vazqucs-Anon, M., Dibner, J. J., and Webb. Jr. (2000). Absorption of 2-hydroxy-4-(methylthio)butanoic acid by isolated sheep ruminal and omasal epithelia. **J. Anim. Sci**. 78:1078-1083.

Moe, P. W. and Tyrrell, H. F. (1974). **Observation on the efficiency of utilization on metabolizable energy for meat and milk production**. P.27 Proc. Univ. of Notthingham.

Moe. P. W., Tyrrell, H. F., and Flatt, W. P. (1971). Energetic of body tissue metabolizable. **J. Dairy Sci**. 54:548-559

National Research Council. (1988). **Nutrient Requirements of Dairy Cattle**. 4thEd. National Academic Press. Washington D. C. 157 p.

National Reseach Council. (1996). **Nutrients Requirements of Beef Cattle**. 6thEd. National academy press. Washington D.C.

National Research Council. (2001). **Nutrient requirements of dairy cattle**. National Academy Press, Washington, D.C.

Noftsger, S., St-Pierre, N. R., and Sylvester, J. T. (2005). Determination of Rumen Degradability and Ruminal Effects of Three Sources of Methionine in Lactating Cows. **J. Dairy Sci**. 88:223-237.

Onodera, R. (1993). Methionine and lysine metabolism in the rumen and the possible effects of their metabolites on the nutrition and physiology of ruminants. **Amino Acids** 5:217-232.

Palmquist, D. L. (1991). Influence of source and amount of dietary fat on digestibility in lactating cows. **J. Dairy Sci**. 74: 1354-1360.

Papas, A., Hall, G. A .B., Hatfield, E. E., and Owens, F. N. (1974). Response of lambs to oral or abomasal supplementation of methionine hydroxy analog or methionine. **J. Nutr**. 104:653-659.

Philpot, W. N. and Nickerson, S. C. (1991). **Mastitis:counter Attack.** Illinois. Babson Bros. Co.

Pisulewski, P. M., Rulquin, H., Peyraud, J. L., and Verite, R. (1996). Lactational and systemic responses of dairy cows to postruminal infusions of increasing amounts of methionine. **J. Dairy Sci**. 79:1781-1791.

Piepenbrink, M. S., Schwab, C. G., Sloan, B. K., and Whitehouse, N. L. (1999). Importance of dietary concentrations of absorbable lysine on maximizing milk protein production of mid-lactation cows. **J. Dairy Sci**. 82(Suppl. 1):93. (Abstr.)

Richardson, C. R., and Hatfield, E. E. (1978). The limiting amino acid in growing cattle. **J. Anim. Sci**. 46:740-745.

Robert, J. C., Sloan, B. K., Jouan, N., and Math, J. (1999). Influence of supplementation with protected methionine on the growth of heifers. **J. Dairy Sci**. 82(Suppl. 1):91. (Abstr.)

Rode, L. M., Knight, C. D., Andrews, K. A., and Koenig, K. M. (1998). Effects of pre-and post-partum Alimet supplementation on milk production of dairy cows. **J. Dairy Sci**. 81(Suppl. 1):294. (Abstr.)

Romo, G. A., Casper, D. P., Erdman, R. A., and Teter, B. B. (1996). Abomasal infusion of cis or trans fatty acid isomers and energy metabolism of lactating dairy cows. **J. Dairy Sci**. 79: 2005-2015.

Rulquin, H. (1987). Determination de certains acides amines limitants chez la vache laitiere par la methode administrations post-ruminales. Reprod. **Nutr. Develop**. 27(1B):299-300.

Rulquin, H., and Delaby, L. (1997). Effects of the energy balance of dairy cows on lactational responses to rumen-protected methionine. **J. Dairy Sci**. 80:2513-2522.

Rulquin, H., Graulet, B., Delaby, L., and Robert, J. C. (2006) Effect of different forms of methionine on lactational performance of dairy cows. **J. Dairy Sci.** 89:4387-4394.

Samuelson, D. J., Denise, S. K., Roffler, R., Ax, R. L., Armstrong, D. V., and Romagnolo, D. F. (2001). Response of Holstein and Brown Swiss cows fed alfalfa hay-based diets to supplemental methionine at two stages of lactation. **J. Dairy Sci**. 84:917-928.

Scaletti, R. W., Trammell, D. S., Smith, B. A., and Harmon, R. J. (1999). Role of dietary copper in enhancing resistance to coliform mastitis. **J. Dairy Sci**. 82 (Suppl. 1):35.

Schwab, C. G., Satter, L. D., and Clay, A. B. (1976). Response of lactating dairy cows to abomasal infusion of amino acids. **J. Dairy Sci**. 59:1254-1270.

Schwab, C. G. (1994). Optimizing amino acid nutrition for optimum yields of milk and milk protein. **Proceedings of the Southwest Nutrition and Management Conference**. pp.114-132.

Schwab, C. G. (1995). **Protected proteins and amino acids for ruminants**. In: R. J. Wallace and A. Chesson (Eds.) Biotechnology in Animal Feeds and Animal Feeding. pp. 115-141. V.C.H. Press, Weinheim, Germany.

Sharma, B. K., and Erdman, R. A. (1988). Abomasal infusion of choline and methionine with or without 2- amino-2-methyl-1-propanol for lactating dairy cows. **J. Dairy Sci**. 71:2406-2411.

Shem, M. N., Malole, J. M., Machangu, R., Kurwijila, L. R., and Fujihara, T. (2001). Incidence and causes of sub-clinical mastitis in dairy cows on smallholder and large scale farms in tropical areas of tanzania. **Ani. Sci. J.** 14 (3): 297-446 .

Sloan, B. K., Garthwaite, B. D., and Schwab, C. G. (1998**). Practical formulation of dairy cow diets for digestible amino acids to improve nitrogen efficiency and the bottom line**. Proc. Cornell Nutr. Conf., p. 51–64, Ithaca, NY.

Smith, K.L., Conrad, H. R., Amiet, B. A., and Todhunter, D.A. (1985). Incidence of environmental mastitis as influenced by dietary vitamin E and selenium. Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte 37:482.

Smith, G. H. and Dodd, F. H. (1966). Effect of milking throughout pregnancy on milk yield in the succeeding lactation. **J. Dairy Sci**.. 46: 204.

Smith, K. L., Harrison, J. H., Hancock, D. D., Todhunter, D. A., and Conrad, H. R. (1984). Effect of vitamin E and selenium supplementation on incidence of clinical mastitis and duration of clinical symptoms. **J. Dairy Sci**. 67:1293.

Socha, M. T., Schwab, C. G., Putnam, D. E., Kierstead, N. A., Whitehouse, N. L., Garthwaite, B. D., and Ducharme, G. A. (1994a). Determining methionine requirements of dairy cows during midlactation by postruminally infusing incremental amounts of methionine. **J. Dairy Sci**. 77(Suppl. 1):93. (Abstr.)

Socha, M. T., Schwab, C. G., Putnam, D. E., Whitehouse, N. L., Kierstead, N. A., Garthwaite, B. D., and Ducharme, G. A. (1994b). Determining methionine requirements of dairy cows during early lactation by postruminally infusing incremental amounts of methionine. **J. Dairy Sci**. 77(Suppl. 1):65. (Abstr.)

Socha, M. T., Schwab, C. G., Putnam, D. E., Kierstead, N., Whitehouse, N. L., Garthwaite, B. D., and Ducharme, G. A. (1994c). Determining methionine requirements of dairy cows during peak lactation by postruminally infusing incremental amounts of methionine. **J. Dairy Sci**. 77(Suppl. 1):92. (Abstr.)

Socha, M. T., Putnam, D. E., Garthwaite, B. D., Whitehouse, N. L., Kierstead, N. A., Schwab, C. G., Ducharme, G. A., and Robert, J. C. (2005). Improving intestinal amino acid supply of pre-and postpartum dairy cows with rumen-protected methionine and lysine. **J. Dairy Sci**. 88:1113-1126.

Spain, J. (1993). **Tissue integrity: A key defense against mastitis infection: The role of zinc proteinates and a theory for mode of action**. Page 53 in Biotechnology in the Feed Industry. T.P. Lyons, ed. Alltech Technical Publications, Nicholasville, KY.

Spitzer, J. C., Morrison, D. G., Wettemann, R. P., and Faulkner, L. C. (1995). Reproductive responses and calf birth and weaning weights as affected by body condition at parturition and postpartum weight gain in primiparous beef cows. **J. Anim. Sci**. 73: 1251-1257.

St-Pierre, N. R. and Sylvester, J. T. (2005). Effects of 2-Hydroxy-4-(Methylthio) Butanoic Acid (HMB) and Its Isopropyl Ester on Milk Production and Composition by Holstein Cows. **J. Dairy Sci**. 88:2487-2497.

Strusinska D., Mierzejewska J., Skok A. (2004). Concentration of mineral components, β-carotene, vitamins A and E in cow colostrums and milk when using mineral-vitamin supplements. **Medycyna Wet**, 60: 202-206.

Suttle, N.F. and Jones, D.G., (1989). Recent developments in trace element metabolism and function: Trace elements, disease resistance and immune responsiveness in ruminants. **J. Nutr**. 119:1055.

Swift, B. W. (1957). The caloric value of TDN. **J. Dairy Sci**. 16: 1055-1059.

Titgemeyer, E. C., and Merchen, N. R. (1990). The effect of abomasal methionine supplementation on nitrogen retention of growing steers postruminally infused with casein or nonsulfur- containing amino acids. **J. Anim. Sci**. 68:750–757.

Tyrrell, J. F., and Moe, P. W. (1975). Effect of intake on digestive efficiency. **J. Dairy Sci**. 58:1151-1163.

Tyrrell, H. F., and Reid, J. T. (1965). Prediction of the energy value of cow's milk. **J. Dairy Sci**. 48: 1215-1223.

Vanhatalo, A., Huhtanen, P., Toivonen, V., and Varvikko, T. (1999). Response of dairy cows fed grass silage diets to abomasal infusions of histidine alone or in combinations with methionine and lysine. **J. Dairy Sci**. 82:2674-2685.

Varvikko, T., Vanhatalo, A., Jalava, T., and Huhtanen, P. (1999). Lactation and metabolic responses to graded abomasal doses of methionine and lysine in cows fed grass silage diets. **J. Dairy Sci**. 82:2659-2673.

Vicini, J. L., Clark, J. H., Hurley, W. L., and Bahr, J. M. (1988). Effects of abomasal or intravenous administration of arginine on milk production, milk composition, and concentrations of somatotropin and insulin in plasma of dairy cows. **J. Dairy Sci**. 71:658-665.

Wagner, D. C., and Loosli, J. K. (1967). **Studies on the energy requirements of high producing cows**. Memoir 400, Cornell Uni. Agr. Exp. Sta.

Ward, J. D., Spears, J. W., and Kegley, E. B. (1993). Effect of copper level and source (copper lysine vs copper sulfate) on copper status, performance, and immune response in growing steers fed diets with or without supplemental molybdenum and sulfur. **J. Anim. Sci**. 71:2748-2755.

Wiess, W.P., Conrad, H. R., and Pierre, N. R. S. (1992). A theoretically-based model for predicting total digestive nutrition value of forages and concentrates. **Anim. Feed Sci. Technol**. 39:95-110.

Wittenberg, K. M. , Boila, R. J., and Shariff, M. A. (1990). Comparison of copper sulfate and copper proteinate as copper sources for copper-depleted steers fed high molybdenum diets. **Can. J. Anim. Sci**. 70:895-904.

Xin, Z., Hemken, R. W., Waterman, D. F., and Harmon, R. J. (1991). Effects of copper status on neutrophil function, superoxide dismutase, and copper distribution in steers. **J. Dairy Sci**. 74:3078.

Xu, S., Harrison, J. H., Chalupa, W., Sniffen, C., Julien, W., Sato, H., Fujieda, T., Watanabe, H., Ueda, T., and Suzuki, H. (1998). The effect of ruminal bypass lysine and methionine on milk yield and composition of lactating cows. **J. Dairy Sci**. 81:1062-1077.

Zieminski R., Korniewicz A., Kinal S., Tomaszewski A., Lenarska M. (2002). Effect of chelates addition on colostrums quality and rearing results. **Chem Agricul**. 3: 319-322.

บทที่ 3

การศึกษาผลของการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ในอาหารโคนมต่อผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบทางเคมี และกรดไขมันในน้ำนมของโคนม

3.1 คำนำ

โคนมที่เลี้ยงในประเทศไทยนั้นมีอัตราการให้ผลผลิตน้ำนมต่ำ และองค์ประกอบของน้ำนมรายฟาร์มโดยรวมนั้นถือว่าต่ำกว่ามาตรฐาน โดยพบว่ามีจำนวนฟาร์มที่มีค่าไขมันต่ำกว่ามาตรฐานอยู่ระหว่างร้อยละ 24-39 และค่าโปรตีนต่ำกว่ามาตรฐานอยู่ระหว่างร้อยละ 13-39 (สุรยุทธ ทรงสุหมัด, อรรถยา เกียรติสุนทร และวงศ์ขวัญ จิตนุพงศ์, 2548) ซึ่งคุณภาพและองค์ประกอบของน้ำนมสามารถปรับปรุงได้หลายวิธีด้วยกัน เช่น การจัดการด้านพันธุกรรม สิ่งแวดล้อม อาหาร แต่การจัดการด้านอาหารถือว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากต้นทุนของการผลิตน้ำนมดิบประมาณ 70% เป็นต้นทุนของค่าอาหาร อย่างไรก็ตาม การเสริมเมทไธโอนีนในอาหารโคนมอาจสามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวนี้ได้ เนื่องจากเมทไธโอนีนนั้นจัดเป็นกรดอะมิโนที่มีความสำคัญเป็นลำดับที่หนึ่ง (First-limiting amino acid) ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง ซึ่งเมทไธโอนีนมีหน้าที่หลายอย่าง ได้แก่ เป็นองค์ประกอบที่จำเป็นสำหรับการสังเคราะห์โปรตีนและเป็นสารที่ให้หมู่เมทธิลในการสังเคราะห์กรดอะมิโนตัวอื่น ๆ ในโคนมนั้นจะมีความต้องการเมทไธโอนีนในปริมาณที่สูง เนื่องจากเมทไธโอนีนมีความสำคัญต่อการสังเคราะห์โปรตีนในน้ำนม และบางส่วนจะถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยา transmethylation ในกระบวนการสังเคราะห์ไขมันนม ซึ่งเมทไธโอนีนจะเป็นตัวที่ให้หมู่เมทธิลในปฏิกิริยานี้ การเสริมเมทไธโอนีนในอาหารโคนมนั้นจะสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพในการผลิตของโคนมให้สูงขึ้นได้ ดังนั้นจึงถือได้ว่าเมทไธโอนีนเป็น กรดอะมิโนจำเป็นที่ต้องมีในอาหารสัตว์ เนื่องจากสัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์เองได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องได้รับจากอาหารที่กินเข้าไป ในปัจจุบันการเสริมเมทไธโอนีนในอาหารโคนมควรเสริมในรูปที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก เพราะถ้าไม่เสริมในรูปนี้ เมทไธโอนีนจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักอย่างรวดเร็วทำให้การเสริมไม่มีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องเสริมให้อยู่ในรูปที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก ได้แก่ rumen-protected methionine หรือ methionine hydroxy analog (MHA) มีสูตรทางเคมีคือ 2-hydroxy-4-methylthio butanoic acid ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์เมทไธโอนีน ซึ่งต่างจาก DL-Methionine ตรงที่ MHA จะมีหมู่ไฮดรอกซี่ (-OH) ตรงคาร์บอนตำแหน่งอัลฟา ส่วน DL-Methionine จะมีหมู่กรดอะมิโน ($-NH_2$) ในระหว่างที่ MHA เข้าไปในตับจะพบว่า

จะมีหมู่อะมิโนเข้าไปจับกับโมเลกุลของ MHA ทำให้เปลี่ยนไปเป็น แอล-เมทไธโอนีน ซึ่งเป็นรูปที่สัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Dibner, 1983) การดูดซึมของ MHA จะเกิดขึ้นทุกส่วนของลำไส้เล็ก โดยเฉพาะดูโอดีนัมและเจจูนัมส่วนกลาง และที่สำคัญ MHA จะมีการดูดซึมแบบ passive transport คือจะไม่ใช้พลังงานแต่ DL-Methionine จะมีการดูดซึมแบบ active transport คือต้องอาศัยตัวขนส่งเพื่อจะข้ามเยื่อหุ้มเซลล์และต้องการพลังงานซึ่งจะทำให้มีความร้อนเกิดขึ้น (Dibner and Knight, 1984) มีการศึกษาถึงผลของการเสริม ruminally protected methionine ต่อผลผลิตน้ำนม Noftsger, St-Pierre, and Sylvester (2005) ทำการศึกษาผลของการเสริม 2-hydroxy-4-(methylthio)-butanoic acid (HMB), isopropyl-2-hydroxy-4-(methylthio)-butanoic acid (HMBi) และ DL-Met ที่ระดับ 25, 32.5 และ 22 กรัม/วัน พบว่า HMBi มีผลทำให้โปรตีนในน้ำนมเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่มีการเสริม HMB และกลุ่มควบคุม แต่ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติกับกลุ่มที่มีการเสริม DL-Met ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Rulquin, Graulet, Delaby, and Robert (2006) และ St-Pierre and Sylvester (2005) ที่ทำการเสริม HMBi ในอาหารโคนมทำให้โปรตีนในน้ำนมเพิ่มขึ้น และในงานทดลองของ St-Pierre and Sylvester (2005) พบว่า HMBi มีผลทำให้ปริมาณน้ำนมเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่ทำการเสริม HMB Samuelson et al. (2001) ได้ศึกษาผลของการเสริม M85 และ DL-Met พบว่า การเสริม M85 ร่วมกับ DL-Met มีผลทำให้โปรตีน และแลคโตสในน้ำนมเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมและในงานทดลองของ Lara et al. (2006) ทำการศึกษาผลของ RP-Met ที่ระดับ 8, 16 และ 24 กรัม/วัน พบว่ามีผลทำให้โปรตีนในน้ำนมเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อทำการเสริม RP-Met ที่ระดับ 16 กรัม/วัน จะมีผลทำให้ปริมาณน้ำนมเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่มีการเสริมในระดับต่าง ๆ ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา การเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ในอาหารโคนมต่อประสิทธิภาพการให้ผลผลิตน้ำนม และองค์ประกอบทางเคมี และกรดไขมันในน้ำนมของโคนม

3.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ในอาหาร TMR (อาหารข้นข้าวโพดหมักและหญ้าสด) ต่อผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบและกรดไขมันของน้ำนมในโคนม

3.3 อุปกรณ์และวิธีการ

3.3.1 การจัดการสัตว์ทดลองและการให้อาหาร

การจัดการสัตว์ทดลอง

โคนมที่ใช้ในการทดลองเป็นโคนมพันธุ์ลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเชียน (Crossbreed Holstein Friesian) ระดับเลือดมากกว่า 87.5% HF จำนวน 21 ตัว จำนวนวันการให้นมเฉลี่ย 103±53 วัน (mean ± SD) ปริมาณน้ำนมเฉลี่ย 12.5±3 กิโลกรัม/วัน อายุเริ่มต้นในการทดลองเฉลี่ย 58±19 เดือน น้ำหนักเฉลี่ย 412±56 กิโลกรัม ทำการจัดสัตว์เข้าทดลองโดยการ block ด้วย จำนวนท้อง (parity) โดยในแต่ละกลุ่มการทดลองจะมีจำนวน 2 block ซึ่ง block ที่ 1 ได้แก่โคที่อยู่ใน parity ที่ 1 และ 2 ส่วน block ที่ 2 เป็นโคที่อยู่ใน parity ที่ 3 และ 4 จากนั้นทำการปรับสมดุลในแต่ละ block ด้วยจำนวนวันที่ให้นม ปริมาณน้ำนมเริ่มต้นและน้ำหนักตัวเริ่มต้น ในแต่ละกลุ่มการทดลองจะมีโคนมกลุ่มละ 7 ตัว การทดลองจะใช้เวลาทั้งสิ้น 35 วัน แบ่งการทดลองออกเป็น 6 ช่วง ๆ ละ 5 วันและเวลาในการปรับตัวสัตว์ก่อนการทดลอง 5 วัน จัดให้โคแต่ละตัวกินอาหารตามกลุ่มทดลองอย่างเป็นอิสระต่อกันดังนี้

กลุ่มควบคุม ได้รับอาหาร TMR ตามปกติ (ไม่เสริม Met hydroxy analog (MHA®))

กลุ่มการทดลองที่ 1 ได้รับอาหาร TMR และ Met hydroxy analog (MHA®) 11 กรัมต่อวัน

กลุ่มการทดลองที่ 2 ได้รับอาหาร TMR และ Met hydroxy analog (MHA®) 22 กรัมต่อวัน

อาหาร TMR มีโปรตีน 12.20% ประกอบไปด้วยอาหารข้น ข้าวโพดหมักและหญ้าสด ซึ่งโคจะได้รับอาหารข้น ข้าวโพดหมัก และหญ้าสด 7, 6 และ 30 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ วันละ 3 ครั้ง ในเวลา 07.00 น. 10.00 น. และ 16.00 น. และมีน้ำดื่มสะอาดใส่อ่างให้โคกินตลอดเวลา

ตารางที่ 3.1 แสดงลักษณะที่ใช้ในการจัดกลุ่มโคก่อนการทดลอง

Parameter	Control	11 g MHA®/d	22 g MHA®/d
Milk yield, Kg/d	12.39 ± 2.40	12.87 ± 4.33	12.35 ± 3.04
Age, month	53.71 ± 17.26	61.43 ± 22.42	61.00 ± 19.38
Day in milk, d	102.71 ± 46.80	106.71 ± 56.73	101.29± 61.18
Body weight, kg	388 ± 65.38	434 ± 45.48	414 ± 54.45

หมายเหตุ: (Mean ± SD)

3.3.2 วิธีการทดลองและเก็บข้อมูล

ทำการจัดกลุ่มที่อยู่ในช่วงแรกของการให้นมจำนวน 21 ตัว ออกเป็น 3 กลุ่มทดลอง นำโคเข้าทดลองโดยได้รับอาหาร TMR ในกลุ่มควบคุมและได้รับ Met hydroxy analog (**MHA®**) 11 และ 22 กรัมต่อตัวต่อวัน ในกลุ่มทดลองที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ระหว่างทดลองมีการเก็บข้อมูลดังต่อไปนี้

3.3.2.1 การกินได้

ปริมาณการกินได้จะวัดทุกช่วงการทดลอง (5 วัน) 2 วันติดต่อกัน โดยทำการชั่งและบันทึกน้ำหนักของอาหารก่อนโคกิน ได้แก่ อาหาร TMR (อาหารข้น, ข้าวโพดหมัก และหญ้าสด) รวมถึงการเก็บตัวอย่างอาหารก่อนกิน หลังจากนั้นทำการชั่งอาหารที่เหลือจากการกินของโคในวันถัดไป (07.00 น.) และสุ่มเก็บอาหารประมาณ 10% (อาหาร TMR) นำไปอบไล่ความชื้นในตู้อบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อหาน้ำหนักวัตถุแห้ง (Dry matter, DM) ของตัวอย่างอาหาร จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีแบบประมาณ (Proximate analysis) (AOAC, 1990) ซึ่งวิเคราะห์วัตถุแห้งโดยเครื่อง Hot air oven โปรตีนหยาบ (Crude protein, CP) โดยเครื่อง Kjeltec auto analyzer ไขมัน (Ether extract) โดยเครื่อง Soxhlet auto analyzer เยื่อใยหยาบ (Crude fiber, CF) โดยเครื่อง Fibertec auto analyser และ เถ้า (Ash) โดยการเผาที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ส่วนการวิเคราะห์เยื่อใยนั้นจะใช้วิธี Detergent analysis (Goering and Van Soest, 1970) ได้แก่ เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกลาง (Neutral detergent fiber, NDF) เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกรด (Acid detergent fiber, ADF) และAcid detergent lignin, ADL โดยเครื่อง Fibertec auto analyser

3.3.2.2 น้ำหนักตัว

ทำการชั่งน้ำหนักตัวก่อนและหลังการทดลองของโคทั้ง 3 กลุ่มทดลองหลังจากทำการรีดนมช่วงเช้าก่อนการให้อาหาร โดยชั่งน้ำหนักโครายตัวด้วยเครื่องชั่ง จากนั้นนำน้ำหนักโคทั้งก่อนและหลังการทดลองไปคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวเฉลี่ยต่อวัน (Body Weight Change, BWC)

3.3.2.3 ผลผลิตและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม

ทำการจดบันทึกผลผลิตน้ำนมของโคนมทุกตัว ทุกวันตลอดระยะเวลาการทดลอง และสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำนมดิบทุกช่วงการทดลอง โดยสุ่มเก็บช่วงละ 2 วันติดต่อกัน โดยจะแบ่งเป็นนมช่วงเย็นและช่วงเช้าในเวลา 15.00 และ 05.00 นาฬิกา ตามลำดับ เพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมได้แก่ ไขมันนม โปรตีนนม แลคโตส ของแข็งพร่องไขมัน (Solid not fat) และของแข็งรวมในนม (Total solid) โดยเครื่อง Milkoscan S50

3.3.2.4 การเก็บของเหลวจากกระเพาะหมัก

ทำการเก็บตัวอย่างของเหลวจากกระเพาะหมักในวันสุดท้ายของการทดลอง โดยใช้เครื่อง suction ต่อกับสายยางสอดเข้าทางปาก ผ่านหลอดอาหารเข้าสู่กระเพาะหมัก จากนั้นทำการเปิดเครื่อง suction เพื่อดูดเอาของเหลวออกมาประมาณ 40-60 มิลลิลิตร ทำการสุ่มเก็บของเหลวจากกระเพาะหมักของโคทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง โดยสุ่มเก็บกลุ่มละ 4 ตัว และนำไปวิเคราะห์ดังนี้

ระดับความเป็นกรดด่าง (pH) ในกระเพาะหมัก สุ่มเก็บของเหลวในกระเพาะหมักในชั่วโมงที่ 0 และ 3 หลังการให้อาหาร โดยการ suction ของเหลวจากกระเพาะหมักใส่ในบีกเกอร์ จากนั้นทำการวัดระดับความเป็นกรด-ด่างของของเหลวในกระเพาะหมักทันทีหลังจากเก็บตัวอย่าง โดยใช้เครื่องวัดความเป็นกรดด่าง (pH meter) อย่างไรก็ตามการวัดระดับความเป็นกรด – ด่าง เครื่องวัดจะต้องได้รับการปรับมาตรฐาน (Calibrate) ด้วยการทดสอบกับสารละลายมาตรฐาน ที่ pH 7.0 และ pH 4.0 เสียก่อน

ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียในของเหลวจากกระเพาะหมัก (Rumen ammonia) การเก็บตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์หาความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนในของเหลวจากกระเพาะหมัก (Rumen ammonia nitrogen; mgNH_3-N/litre) ที่เวลา 0 และ 3 หลังการให้อาหาร โดยใช้หลอดทดลองที่มีฝาปิด (Test tube with cap) ขนาด 25 มิลลิลิตร เติมกรดไฮโดรคลอลิก (6 N) ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร (ในอัตราส่วนของเหลวจากกระเพาะหมัก 10 ส่วนต่อ 6 N HCl 1 ส่วน) หลังจากเก็บตัวอย่างของเหลวจากกระเพาะหมักแล้ว ใช้กระบอกตวง แล้วตวงของเหลวจากกระเพาะหมักปริมาตร 20 มิลลิลิตร เติมใส่ลงไปในหลอดทดลอง จากนั้นนำหลอดทดลองไปปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ที่ความเร็ว 3000 รอบ/นาที เป็นเวลา 15 นาที แล้วดูดเอาเฉพาะส่วนของเหลวใส (Supernatant) ลงในหลอดทดลองขนาด 25 มิลลิลิตร ปิดด้วยฝาเกลียวให้สนิท นำไปเก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิ -18°C จนกว่าจะนำไปวิเคราะห์หาแอมโมเนียไนโตรเจนโดยวิธี Kjeldahl ต่อไป

การเก็บตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์หากรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acids) การเก็บตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์หากรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acids) ที่เวลา 0 และ 3 หลังการให้อาหาร ใช้หลอดทดลองชนิดมีฝาจุก (Test tube with cap) ขนาด 25 มิลลิลิตร เติมกรดไฮโดรคลอลิก (6 N) ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร (ในอัตราส่วนของเหลวจากกระเพาะหมัก 10 ส่วนต่อ 6 N HCl 1 ส่วน) เพื่อเก็บรักษาและเป็นการหยุดชะงักกิจกรรมและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ปิดฝาจุกให้แน่นก่อนนำไปปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ที่ความเร็ว 3000 รอบ/นาที เป็นเวลา 15 นาที ดูดเอาของเหลวใสใส่ในขวด vial สีชา จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas chromatography (GC)

Condition of GC:

Column: DE-FFAP, 30 m x 0.25 mm I.D., 0.25 μ m

Injector: split 1:50, 250°C

Oven: 100°C for 5 min

100-250°C at 10°C/min

250°C for 12 min

Detector: Temperature: FID, 300°C

3.3.3 การศึกษาองค์ประกอบและปริมาณของกรดไขมันในอาหารและในไขมันนม

สุ่มเก็บอาหารในแต่ละกลุ่มการทดลอง (อาหาร TMR) เพื่อนำไปสกัดไขมัน ซึ่งดัดแปลงตามวิธีการของ Folch, Lees, and Sloane-stanley (1957) และ Metcalfe, Schmitz, and Pelka (1996) โดยนำตัวอย่างที่สุ่มได้ตัวอย่างละ 15 กรัม ทำการสกัดด้วย Chloroform-Methanol (2:1 v/v) ปริมาณ 90 ml จากนั้นนำไปปั่นให้เป็นเนื้อเดียวกัน (Homogenize) เป็นเวลา 2 นาที แล้วนำไปใส่ในกรวยแยกสาร (Separatory funnel) เติมด้วย Chloroform ปริมาตร 30 ml และ 0.58 NaCl ปริมามาตร 5 ml เขย่าให้เข้ากันและทิ้งไว้จนสารละลายแยกชั้นอย่างชัดเจน จากนั้นปล่อยสารละลายที่อยู่ส่วนล่างใส่ใน Evaporation flask ทำการแยกตัวทำละลายออกจากไขมันโดยระเหยที่อุณหภูมิ 40°C ด้วย Rotary Evaporator แล้วย้ายไปเก็บไว้ในหลอดทดลองภายใต้แก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ -20°C จนกว่าจะทำการ Methylation

สุ่มเก็บน้ำนมดิบในวันที่ 25 ของการทดลองทั้งช่วงเช้าและช่วงเย็น จากนั้นนำมารวมกันตามสัดส่วนของปริมาณน้ำนม นำไปปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ที่ความเร็ว 3000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 15 นาที ชั้นของไขมัน (Fat cake) จะแยกอยู่บนชั้นบนของน้ำนม แยกชั้นของไขมันออกมาเพื่อนำไปสกัดไขมันต่อไปตามวิธีการของ Kelly, KolverBauman, Van Amburgh, and Muller (1998) โดยนำชั้นของไขมันมาสกัดด้วย hexane-isopropanol (3:2 v/v) 18 ml/g fat cake เขย่าด้วย Vortex จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมซัลเฟต 6.7% (6.7% Na_2So_4) ปริมาตร 12 ml/ g fat cake ชั้นของ hexane จะแยกออกมาจากด้านบน ให้ทำการแยก hexane จากหลอดทดลองใส่ในหลอดทดลองที่เติมโซเดียมซัลเฟต (Na_2So_4) และทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที ทำการแยกตัวทำละลายออกจากไขมันโดยระเหยที่อุณหภูมิ 40°C ด้วย Rotary Evaporator แล้วย้ายไปเก็บภายใต้แก๊สไนโตรเจนที่อุณหภูมิ -20°C จนกว่าจะทำการ Methylation และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมัน (Fatty acid) โดยเครื่อง Gas Chromatography (GC)

การวิเคราะห์องค์ประกอบและปริมาณของ fatty acids ประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอน คือ การทำ saponification และการทำ methylation ซึ่งดัดแปลงจากวิธีของ Ostrowska, Dunshea, Muralitharan, and Cross (2000)

1. การทำ saponification

ทำการชั่งตัวอย่างไขมันน้ำหนักประมาณ 30 mg ใส่หลอดทดลองฝาเกลียวขนาด 15 ml เติม 0.5 N NaOH/MeOH ปริมาตร 1.5 ml ใส่ในหลอด แล้วไล่อากาศในหลอดด้วยแก๊สไนโตรเจน ปิดฝาหลอดทดลองให้สนิท

ให้ความร้อนที่ 100°C ใน water bath เป็นเวลา 5 นาที ระหว่างนั้นควรเขย่าอย่างแรง 1-2 ครั้ง แล้วทำให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้องปกติ การทำ Saponification ที่สมบูรณ์สังเกตจากการได้สารละลายใส ไม่มีหยดน้ำมันเหลือ

2. การทำ methylation

เติม 14% BF_3/MeOH ปริมาตร 2 ml ใส่ในหลอดทดลองที่ทำการ saponification ที่สมบูรณ์ แล้วทำการเติม internal standard จำนวน 1 มิลลิลิตร (ใช้ C_{17} ความเข้มข้นแน่นอนที่ 2.0 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ใน hexane) ไล่อากาศภายในหลอดทดลองด้วยแก๊สไนโตรเจน ปิดฝาหลอดทดลองให้สนิท

ให้ความร้อนที่ 100°C ใน water bath นาน 5 นาที ระหว่างนั้นควรเขย่าอย่างน้อย 1-2 ครั้ง แล้วทำให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้องปรกติ

เท solution ที่ได้จากการทำ methylation ลงในหลอด centrifuge ฝาเกลียวขนาด 50 มิลลิลิตร นำไป centrifuge ที่อุณหภูมิ 10°C ที่ความเร็ว 5000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 15 นาที เพื่อให้ liquid-liquid phase แยกได้ดีขึ้น

เติม hexane 3 มิลลิลิตร และน้ำกลั่นปริมาตร 5 มิลลิลิตร และทำการเขย่าเบา ๆ ทำการดูด hexane ที่อยู่ชั้นบนและ dry น้ำที่อาจติดออกมาด้วย Na_2So_4 ต้องให้แน่ใจว่าไม่มีน้ำปน เพราะน้ำที่หลงเหลืออยู่อาจมีผลต่อ GC ซึ่งเป็น polar และ ion exchange column

เก็บตัวอย่างที่ dry น้ำออกเรียบร้อยแล้วไว้ในขวดสีชา ไล่อากาศด้วยแก๊สไนโตรเจน หลังจากนั้นนำตัวอย่าง Fatty acid methyl ether (FAME) ที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณ Fatty acid โดยเครื่อง Gas Chromatography (GC)

Condition of GC:

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

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

Detector: FID, 260°C

Injector: split 100:1, 250°C

3.4 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลที่บันทึกจากการทดลองได้แก่ การกินได้วัตถุแห้ง น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม ความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมัก ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน ปริมาณกรดไขมันระเหยได้ องค์ประกอบและกรดไขมันในน้ำนมข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการทดลองถูกนำเข้าประมวลผลและวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ตามแผนการทดลอง แบบ Randomize Complete Block Design (RCBD) โดยใช้ Proc. GLM (SAS, 1996) และใช้วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ โดยวิธี F-test เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ตามวิธีการของ Steel and Torrie (1980)

3.5 สถานที่ทำการทดลอง

ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อาคารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 1 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อาคารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 3 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.6 ระยะเวลาในการทดลอง

เริ่มการทดลองตั้งแต่วันที่ 13 กรกฎาคม 2553 ถึงวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2554

3.7 ผลการทดลอง

3.7.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร

องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร TMR ที่ใช้ในการทดลอง แสดงดังตารางที่ 3.2 โดยโคนมทั้งสามกลุ่มการทดลองจะได้รับอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนะที่เหมือนกัน ซึ่งได้แก่ วัตถุแห้งมีค่าเท่ากับ 40.42% กล่าวคือความชื้นในอาหาร TMR มีค่าเท่ากับ 59.58% โปรตีนมีค่าเท่ากับ 12.20% ไขมันมีค่าเท่ากับ 3.14% เถ้ามีค่าเท่ากับ 10.29% เยื่อใยมีค่าเท่ากับ 25.00% NFC มีค่าเท่ากับ 17.90% NDF มีค่าเท่ากับ 62.12% ADF มีค่าเท่ากับ 35.40% ADL มีค่าเท่ากับ 6.04% NDIN มีค่าเท่ากับ 0.96% NDINCP มีค่าเท่ากับ 6.00% ADIN มีค่าเท่ากับ 0.53% ADINCP มีค่าเท่ากับ 3.29%

การศึกษาการย่อยสลายของวัตถุแห้งและการย่อยสลายของโปรตีน พบว่าอัตราการย่อยสลายได้ของวัตถุแห้งและอัตราการย่อยสลายได้ของโปรตีนของอาหาร TMR (อาหารข้นโปรตีน 22.3%, ข้าวโพดหมัก และหญ้าสด) เมื่ออาหาร TMR มีระยะเวลาอยู่ในกระเพาะหมักนานขึ้น วัตถุแห้งและโปรตีนในอาหาร TMR จะมีอัตราการย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักเพิ่มขึ้นตาม

เวลาที่บ่มอยู่ในกระเพาะหมัก โดย *dg*DM ของอาหาร TMR มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 34.81% และอัตราการย่อยสลายได้ของโปรตีนในอาหาร TMR มีค่าเฉลี่ยท่ากับ 60.58% ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.2

เมื่อนำค่าองค์ประกอบทางเคมีของอาหาร TMR มาคำนวณหาค่าโภชนะของการย่อยได้ทั้งหมด (TDN) พลังงานย่อยได้ (DE) พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (ME) และพลังงานสุทธิ (NE) ตามสมการของ NRC (2001) จะได้ค่าต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.3 ค่าโภชนะของการย่อยได้ทั้งหมดของอาหาร TMR มีค่า เท่ากับ 50.93% พลังงานการย่อยได้มีค่าเท่ากับ 2.59 Mcal/kgDM ส่วนพลังงานใช้ประโยชน์ได้ มีค่าเท่ากับ 2.17 Mcal/kgDM และพลังงานสุทธิ มีค่าเท่ากับ 1.34 Mcal/kgDM

ตารางที่ 3.2 องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร TMR

Composition	**TMR**
Dry matter (%)	**40.42**
…….% Dry matter……..	
Crude protein	12.20
Crude fat	3.14
Ash	10.29
Crude fiber	25.00
Non fiber carbohydrate	17.90
Neutral detergent fiber	62.12
Acid detergent fiber	35.40
Acid detergent lignin	6.04
Neutral detergent insoluble nitrogen	0.96
Neutral detergent insoluble crude protein	6.00
Acid detergent insoluble nitrogen	0.53
Acid detergent insoluble crude protein	3.29
dg DM	34.81
dg CP	60.58

ตารางที่ 3.3 คุณค่าทางพลังงานในสูตร TMR

	TMR
Total digestible nutrient at maintenance (TDN_{1X}; %)[1]	50.93
Digestible energy at production level (DE_P; Mcal/kg)[2]	2.59
Metabolizable energy at production level (ME_P; Mcal/kg)[3]	2.17
Net energy for lactation at production level (NE_{LP}; Mcal/kg)[4]	1.34

หมายเหตุ :

[1] $TDN_{1x}(\%)$ = tdNFC + tdCP = (tdFA x 25.25) + tdNDF – 7)

DE_{1x} = ((tdNFC/100) x 4.2) + ((tdNDF/100) x 4.2) x ((tdCP/100) x 5.6 + ((FA/100) x 9.4) – 0.3

[2] DE_P (Mcal/kg) = $(((TDN_{1x} – ((0.18 \times TDN_{1x}) – 10.3)) \times Intake)/ TDN_{1x}) \times DE_{1x}$

[3] ME_P (Mcal/kg) = $(1.01 \times (DE_p) – 0.45) + (0.0046 \times (EE-3))$

[4] NE_{LP} (Mcal/kg) = $(0.703 \times ME_P) – 0.19$, (EE>3%)

[4] NE_{LP} (Mcal/kg) = $(0.703 \times ME_P) – 0.19) + ((0.097 \times ME_P)/97) \times (EE-30)$, (EE>3%)

ตารางที่ 3.4 การย่อยสลายวัตถุแห้งของอาหาร TMR (อาหารข้น, ข้าวโพดหมัก และหญ้าสด)

วัตถุดิบ	วัตถุแห้ง									
	0 ชั่วโมง	**2 ชั่วโมง**	**4 ชั่วโมง**	**6 ชั่วโมง**	**8 ชั่วโมง**	**12 ชั่วโมง**	**24 ชั่วโมง**	**48 ชั่วโมง**	**72 ชั่วโมง**	***dg* DM**
Degradability of DM					**…….. (%) ……..**					
อาหารข้นโปรตีน 22.3%	13.9	28.2	33.0	37.4	41.4	48.2	62.2	73.6	-	50.9
ข้าวโพดหมัก	19.2	-	-	23.0	-	28.8	36.0	46.3	51.8	31.1
หญ้าสด	5.4	-	-	14.6	-	19.7	28.8	43.0	53.2	24.2

หมายเหตุ : *dg* DM = Effective degradability of Dry matter

ตารางที่ 3.5 การย่อยสลายโปรตีนการย่อยสลายโปรตีนของอาหาร TMR (อาหารข้น, ข้าวโพดหมัก และหญ้าสด)

วัตถุดิบ	วัตถุแห้ง									
	0 ชั่วโมง	**2 ชั่วโมง**	**4 ชั่วโมง**	**6 ชั่วโมง**	**8 ชั่วโมง**	**12 ชั่วโมง**	**24 ชั่วโมง**	**48 ชั่วโมง**	**72 ชั่วโมง**	***dg* CP**
Degradability of DM						**…….. (%) ……..**				
อาหารข้นโปรตีน 22.3%	46.5	57.1	59.4	61.5	64.8	-	74.2	85.6	-	69.9
ข้าวโพดหมัก	22.3	-	-	38.1	-	40.0	42.8	45.9	47.1	40.9
หญ้าสด	35.9	-	-	38.5	-	39.1	40.1	-	44.1	39.7

หมายเหตุ : *dg* CP = Effective degradability of Crude protein

ตารางที่ 3.6 เปอร์เซ็นต์การย่อยสลายวัตถุแห้งและการย่อยสลายโปรตีนของอาหาร TMR (อาหารข้น, ข้าวโพดหมัก และหญ้าสด)

Disappearance (%)	อาหารข้น 22.3% CP	ข้าวโพดหมัก	หญ้าสด
DM disappearance (%)			
A	22.8	17.2	9.0
B	55.6	41.3	70.3
C	0.051	0.025	0.014
A + B	78.4	58.5	79.3
Effective disappearance (%)*	50.9	31.1	24.2
CP disappearance (%)			
A	54.8	35.7	38.0
B	39.1	12.4	41.9
C	0.032	0.036	0.002
A + B	93.9	48.1	79.9
Effective disappearance (%)*	69.9	40.9	39.7

หมายเหตุ: * Outflow rate (fraction/h) = 0.05

3.7.2 ปริมาณการกินได้ของโคนม

ปริมาณการกินได้ของโคนม เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มการทดลองที่มีการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ในระดับ 0, 11 และ 22 กรัม/ตัว/วัน แสดงดังตารางที่ 3.7 พบว่าปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.85, 13.52 และ 13.49 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ของโคทั้ง 3 กลุ่มการทดลองและปริมาณการกินได้ของโปรตีนจากอาหาร TMR มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,690, 1,651 และ 1,645 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ ซึ่งจากการทดลองนั้นพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ของโคนมทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง ส่วนปริมาณการกินได้ของพลังงานสุทธิจากอาหาร TMR มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18.51, 18.07 และ 18.00 Mcal/ตัว/วัน ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ 3.7 ผลของการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ต่อปริมาณการกินได้ของโคนม

ปริมาณการกินได้	Control	11 g MHA®/d	22 g MHA®/d	SEM	P-value
วัตถุแห้ง		**……..(กิโลกรัม/วัน)……**			
อาหาร TMR	13.85	13.52	13.49	0.14	0.500
โปรตีน		**…….. (กรัม/วัน) ……**			
อาหาร TMR	1690	1651	1645	16.5	0.500
พลังงานสุทธิ		**…….. (Mcal/วัน)……**			
อาหาร TMR	18.51	18.07	18.00	0.18	0.510

หมายเหตุ : SEM = standard error of the mean

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

3.7.3 การประมาณค่าโปรตีนและพลังงานของโคนมที่ได้รับอาหาร TMR

การได้รับโปรตีนย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{sup}) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP_{sup}) ของโคนมที่ได้รับการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ที่ระดับ 0, 11 และ 22 กรัม/ตัว/วัน ร่วมกับอาหาร TMR แสดงไว้ในตารางที่ 3.8 พบว่า RDP_{sup} มีค่าเท่ากับ 1,024, 1,000 และ 997 กรัม/วัน ตามลำดับ และ RUP_{sup} มีค่าเท่ากับ 666, 651 และ 648 กรัม/วัน ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ของทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง ความต้องการโปรตีนย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{sup}) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP_{sup}) สามารถคำนวณได้จากสมการของ NRC (2001) แสดงไว้ในตารางที่ 3.8 พบว่าความต้องการโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{sup}) ของโคนมในกลุ่มควบคุม มีค่าเท่ากับ 1,079 กรัม/วัน โคในกลุ่มที่ได้รับ

การเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ที่ระดับ 11 กรัม/ตัว/วัน มีค่าเท่ากับ 1,054 กรัม/วัน และโคในกลุ่มที่ได้รับการเสริมที่ระดับ 22 กรัม/ตัว/วัน มีค่าเท่ากับ 1,050 กรัม/วัน ซึ่งทั้ง 3 กลุ่มการทดลองได้รับ RDP_{sup} ไม่เพียงพอต่อความต้องการเท่ากับ -55, -53 และ -54 กรัม/วัน ตามลำดับ ในส่วนของความต้องการโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RUP_{sup}) พบว่าโคนมในกลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ได้รับการเสริมที่ระดับ 11 และ 22 กรัม/ตัว/วัน มีความต้องการ RUP_{req} เท่ากับ 1,149, 1,003 และ 979 กรัม/วัน ตามลำดับ ซึ่งพบว่าโคนมทั้ง 3 กลุ่มการทดลองได้รับ RUP_{req} ไม่เพียงพอต่อความต้องการเท่ากับ -483, -352 และ -331 กรัม/วัน ตามลำดับ ซึ่งพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ระหว่าง 3 กลุ่มการทดลอง นอกจากนี้

โปรตีนที่ได้รับจากจุลินทรีย์ เท่ากับ 917, 895 และ 893 กรัม/วัน ตามลำดับ และความต้องการโปรตีนทั้งหมด มีค่าเท่ากับ 1,260, 1,167 และ 1,153 กรัม/วัน ตามลำดับ พบว่าโปรตีนที่ได้รับจากจุลินทรีย์และความต้องการโปรตีนทั้งหมด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ของโคนมทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง

การจำแนกพลังงานสุทธิเพื่อกิจกรรมต่างๆ ของโคนมที่ได้รับการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ที่ระดับ 0, 11 และ 22 กรัม/วัน ตามสมการ NRC (2001) ซึ่งแสดงในตารางที่ 3.9 พบว่าการกินได้ของพลังงานสุทธิ (NE_L intake) มีค่าเท่ากับ 18.51, 18.07 และ 18.00 Mcal/วัน ตามลำดับ ในส่วนของพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (NE_{LM}) มีค่าเท่ากับ 7.15, 7.68 และ 7.31 Mcal/วัน ตามลำดับ พลังงานสุทธิเพื่อการผลิตน้ำนม (NE_{LL}) มีค่าเท่ากับ 8.20, 8.05 และ 8.01 Mcal/วัน ตามลำดับ พลังงานสุทธิเพื่อการสร้างน้ำหนักตัว (NE_{LG}) มีค่าเท่ากับ 2.12, 1.28 และ 1.54 Mcal/วัน ตามลำดับ พลังงานสุทธิสะสม (NE_{LR}) มีค่าเท่ากับ 17.47, 17.02 และ 16.86 Mcal/วัน ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของโคนมทั้ง 3 กลุ่มการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.94 โดยพบว่าพลังงานที่โคนมใช้ในการทำกิจกรรมต่าง ๆ และพลังงานที่โคนมได้รับจากอาหารนั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (ตารางที่ 3.9)

ตารางที่ 3.8 ปริมาณของโปรตีนที่ได้รับจากอาหารและความต้องการของโคนม

	Control	11 g MHA®/d	22 g MHA®/d	SEM	P-value
	.....(กรัม/ตัว/วัน).....				
ความต้องการ RDP_{req}	1079	1053	1051	10.73	0.51
(RDP_{sup}) จากอาหาร	1024	1000	997	10.19	0.51
ขาด/เกิน	-55	-53	-54	0.54	0.45
โปรตีนที่ได้รับจากจุลินทรีย์ (MCP)	917	895	893	9.14	0.51
ความต้องการโปรตีนทั้งหมด (MP_R)	1260	1167	1153	30.76	0.33
ความต้องการ RUP_{req}	1149	1003	979	60.61	0.47
(RUP_{sup}) จากอาหาร	666	651	648	6.63	0.51
ขาด/เกิน	-483	-352	-331	62.20	0.57

หมายเหตุ : SEM = standard error of the mean

ตารางที่ 3.9 พลังงานที่โคนมต้องการเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ และที่โคนมได้รับจากอาหาร

	Control	11 g MHA®/d	22 g MHA®/d	SEM	P-value
	.....……..(Mcal/วัน)……......				
การกินได้พลังงานสุทธิ (NE_L intake)	18.51	18.07	18.00	0.14	0.40
พลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (NE_{LM})	7.15	7.68	7.31	0.13	0.28
พลังงานสุทธิเพื่อการผลิตน้ำนม (NE_{LL})	8.20	8.05	8.01	0.23	0.95
พลังงานสุทธิเพื่อการเพิ่มน้ำหนักตัว (NE_{LG})	2.12	1.28	1.54	0.23	0.34
พลังงานสุทธิสะสม (NE_{LR})	17.47	17.02	16.86	0.31	0.73
ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Efficiency)	0.94	0.94	0.94	0.02	0.96

หมายเหตุ : SEM = standard error of the mean

Efficiency = NE_{LR}/ NE_L intake

3.7.4 น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง

น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลงของโคนมที่ได้รับการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ที่ระดับ 0, 11 และ 22 กรัม/ตัว/วัน แสดงไว้ในตารางที่ 3.10 พบว่าน้ำหนักตัวของโคนมก่อนการทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 389, 433 และ 403 กิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนน้ำหนักตัวหลังสิ้นสุดการทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 413, 448 และ 421 กิโลกรัม ตามลำดับและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 800, 500 และ 600 กรัมต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งจากการทดลองพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ระหว่างโคนมทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง

ตารางที่ 3.10 ผลของการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว

น้ำหนักตัว (กิโลกรัม)	Control	11 g MHA®/d	22 g MHA®/d	SEM	P-value
ก่อนการทดลอง	389	433	403	9.99	0.20
หลังการทดลอง	413	448	421	11.00	0.41
น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง (กรัม/วัน)	800	500	600	90.49	0.34

หมายเหตุ: SEM = standard error of the mean

3.7.5 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนของของเหลวในกระเพาะหมัก

การเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ร่วมกับอาหาร TMR (อาหารข้นโปรตีน 22.3%, ข้าวโพดหมัก และหญ้าสด) ในโคนมที่ระดับ 0, 11 และ 22 กรัม/ตัว/วัน ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของของเหลวในกระเพาะหมักก่อนการให้อาหาร (ชั่วโมงที่ 0) และหลังจากให้อาหาร 3 ชั่วโมง ดังนี้ กลุ่มควบคุมมีค่าเท่ากับ 6.73 และ 6.59 กลุ่มที่ได้รับการเสริม MHA® 11 กรัม/ตัว/วัน มีค่าเท่ากับ 6.75 และ 6.67 และในกลุ่มที่ได้รับการเสริม MHA® 22 กรัม/ตัว/วัน มีค่าเท่ากับ 6.75 และ 6.69 ซึ่งพบว่าการเปลี่ยนแปลงของระดับ pH ในกระเพาะหมักของโคนมที่ได้รับการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ที่ระยะเวลา 0 และ 3 ชั่วโมง ของทั้งสามกลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ดังตารางที่ 3.11

จากการศึกษาทดลองการเปลี่ยนแปลงของระดับแอมโมเนียไนโตรเจนภายในกระเพาะหมักในโคนมที่ได้รับการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ที่ระดับ 0, 11 และ 22 กรัม/ตัว/วัน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.11 พบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนในช่วงก่อนการให้อาหาร (ชั่วโมงที่ 0) พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 31.23, 33.65 และ 39.18 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนในกลุ่มควบคุมนั้นมีค่าน้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับการเสริม MHA®

ที่ระดับ 22 กรัม/ตัว/วัน โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่เสริม MHA® ที่ระดับ 11 กรัม/ตัว/วัน และในกลุ่มที่ทำการเสริม MHA® ที่ระดับ 11 และ 22 กรัม/ตัว/วัน พบว่าระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ส่วนในช่วงหลังจากให้อาหาร 3 ชั่วโมงนั้น ได้ทำการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (Analysis of covariance) โดยใช้ข้อมูลชั่วโมงที่ 0 เป็น covariate พบว่าโคนมที่ได้รับการเสริม Met hydroxyl analog (MHA®) ที่ระดับ 0, 11 และ 22 กรัม/ตัว/วัน มีความเข้มข้นของแอมโมไนโตรเจนในของเหลวภายในกระเพาะหมักเท่ากับ 42.21, 36.81 และ 38.97 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนของโคนมทั้งสามกลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ 3.11 ผลของการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับความเป็นกรด-ด่าง (pH) และแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) ภายในกระเพาะหมักที่เวลาต่าง ๆ หลังการให้อาหาร

ที่เวลาหลังการให้อาหาร (ชั่วโมง)	Control	11 g MHA®/d	22 g MHA®/d	SEM	P-value
pH					
Hour 0	6.73	6.75	6.75	0.05	0.97
Hour 3	6.59	6.67	6.69	0.05	0.52
NH_3-N[2]	…….(mg/l)……				
Hour 0	31.23[b]	33.65[ab]	39.18[a]	1.11	0.045
Hour 3	42.21	36.81	38.97	1.04	0.19

หมายเหตุ: SEM = standard error of the mean

Hour 3 = least square mean (LS-means)

[a,b] ที่กำกับอยู่ในแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P< 0.05)

3.7.6 ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acid; VFAs) ของของเหลวในกระเพาะหมัก

ระดับความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ของของเหลวในกระเพาะหมัก ซึ่งจะแสดงถึงปริมาณของกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดบิวทีริกและอัตราส่วนของกรดอะซิติกต่อ กรดโพรพิโอนิก ที่เวลาต่างๆ เมื่อเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ให้กับโคนมีระดับ 0, 11 และ 22

กรัม/ตัว/วัน หลังจากการให้อาหารที่เวลา 0 และ 3 ชั่วโมง แสดงไว้ในตารางที่ 3.12 พบว่าระดับความเข้มข้นของกรดอะซิติกในกลุ่มควบคุม มีค่าเท่ากับ 70.3 และ 67.75 mol/100 mol กลุ่มที่ได้รับการเสริม MHA® ที่ระดับ 11 กรัม/ตัว/วัน มีค่าเท่ากับ 69.72 และ 69.41 mol/100 mol และในกลุ่มที่ได้รับการเสริม MHA® ที่ระดับ 22 กรัม/ตัว/วัน มีค่าเท่ากับ 68.41 และ 70.01 mol/100 mol ซึ่งพบว่าระดับความเข้มข้นของกรดอะซิติกของของเหลวจากกระเพาะหมักของโคนมทั้งสามกลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ระดับความเข้มข้นของกรดโพรพิโอนิกของของเหลวจากกระเพาะหมัก ในกลุ่มควบคุม มีค่าเท่ากับ 19.42 และ 20.44 mol/100 mol กลุ่มที่ได้รับการเสริม MHA® ที่ระดับ 11 กรัม/ตัว/วัน มีค่าเท่ากับ 18.84 และ 19.55 mol/100 mol และกลุ่มที่ได้รับการเสริม MHA® ที่ระดับ 22 กรัม/ตัว/วัน มีค่าเท่ากับ 19.05 และ 19.11 mol/100 mol ในชั่วโมงที่ 0 และ 3 หลังจากการให้อาหารตามลำดับ ซึ่งพบว่าระดับความเข้มข้นของกรดโพรพิโอนิกของโคนมทั้งสามกลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ระดับความเข้มข้นของกรดบิวทีริกของของเหลวจากกระเพาะหมักในโคนมที่ทำการเสริม MHA® ที่ระดับ 0, 11 และ 22 กรัม/ตัว/วัน ช่วงก่อนการให้อาหาร (ชั่วโมงที่ 0) มีค่าเท่ากับ 10.29, 11.44 และ 12.54 mol/100 mol ตามลำดับ ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของกรดบิวทีริกในกลุ่มควบคุมนั้นมีค่าน้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับการเสริม MHA® ในระดับ 22 กรัม/ตัว/วัน โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) และเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่เสริม MHA® ในระดับ 11 กรัม/ตัว/วัน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ส่วนกลุ่มที่เสริม MHA® ที่ระดับ 11 และ 22 กรัม/ตัว/วัน พบว่าระดับความเข้มข้นของกรดบิวทีริกไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) และในช่วงหลังจากการให้อาหาร 3 ชั่วโมง ได้ทำการวิเคราะห์ค่าทางสถิติด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (Analysis of covariance) โดยใช้ข้อมูลชั่วโมงที่ 0 เป็น covariate พบว่ากลุ่มควบคุมมีความเข้มข้นของกรดบิวทีริกเท่ากับ 11.02 mol/100 mol กลุ่มที่ได้รับการเสริม MHA® ในระดับ 11 กรัม/ตัว/วัน มีค่าเท่ากับ 11.20 mol/100 mol และกลุ่มที่ได้รับการเสริม MHA® ที่ระดับ 22 กรัม/ตัว/วัน มีค่าเท่ากับ 10.45 mol/100 mol ซึ่งพบว่าค่าของกรดบิวทีริกภายในของเหลวจากกระเพาะหมักของโคนมทั้งสามกลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

อัตราส่วนระหว่างกรดอะซิติกและกรดโพรพิโอนิกของของเหลวภายในกระเพาะหมักของโคนมก่อนการให้อาหาร (ชั่วโมงที่ 0) และหลังจากให้อาหาร 3 ชั่วโมง กลุ่มควบคุมมีค่าเท่ากับ 3.65 และ 3.42 mol/100 mol ตามลำดับ กลุ่มที่ได้รับการเสริม MHA® ที่ระดับ 11 กรัม/ตัว/วัน มีค่าเท่ากับ 3.71 และ 3.58 mol/100 mol ตามลำดับ และกลุ่มที่ได้รับการเสริม MHA® ที่ระดับ 22 กรัม/ตัว/วัน มีค่าเท่ากับ 3.62 และ 3.74 mol/100 mol ตามลำดับ ซึ่งพบว่าอัตราส่วนของกรดอะซิติก

และกรดโพรพิโอนิกของของเหลวจากกระเพาะหมักของโคนมทั้งสามกลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ 3.12 ผลของการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ต่อความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acid; VFAs) ของของเหลวในกระเพาะหมักที่เวลาต่าง ๆ หลังการให้อาหาร

ที่เวลาหลังการให้อาหาร (ชั่วโมง)	Control	11 g MHA®/d	22 g MHA®/d	SEM	P-value
Acetate; C2	**…….(mol/100 mol)……**				
Hour 0	70.30	69.72	68.41	0.61	0.47
Hour 3	67.75	69.41	71.06	0.61	0.62
Propionate; C3	**…….(mol/100 mol)……**				
Hour 0	19.42	18.84	19.05	0.39	0.84
Hour 3	20.44	19.55	19.11	0.37	0.12
Butyrate; C4	**…….(mol/100 mol)……**				
Hour 0	10.29^{b}	11.44^{ab}	12.54^{a}	0.29	0.03
Hour 3	11.02	11.20	10.45	0.21	0.42
C2:C3	**…….(mol/100 mol)……**				
Hour 0	3.65	3.71	3.62	0.11	0.94
Hour 3	3.42	3.58	3.74	0.10	0.45

หมายเหตุ: SEM = standard error of the mean

Hour 3 = least square mean (LS-means)

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

3.7.7 ปริมาณน้ำนมและปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม

ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม แสดงดังตารางที่ 3.13 พบว่าโคนมกลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ได้รับการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ที่ระดับ 0, 11 และ 22 กรัม/ตัว/วัน โคนมมีผลผลิตน้ำนมเท่ากับ 11.6, 11.74 และ 10.88 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ ปริมาณน้ำนมปรับไขมัน 3.5% เท่ากับ 12.98, 12.83 และ 12.23 กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ ปริมาณไขมันนม

เท่ากับ 492, 486 และ 467 กรัม/วัน ตามลำดับ ปริมาณโปรตีนนมเท่ากับ 315, 311 และ 287 กรัม/วัน ตามลำดับ ปริมาณแล็คโตสเท่ากับ 490, 486 และ 449 กรัม/วัน ตามลำดับ ปริมาณของแข็งพร่องไขมัน 928, 917 และ 851 กรัม/วัน ตามลำดับ ปริมาณของแข็งรวมในน้ำนม 1,420, 1,404 และ 1,381 กรัม/วัน ตามลำดับ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

เปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบน้ำนมแสดงไว้ในตารางที่ 3.14 พบว่าไขมันนมมีค่าเท่ากับ 4.22, 4.14 และ 4.29% ตามลำดับ โปรตีนนมมีค่าเท่ากับ 2.70, 2.65 และ 2.64% ตามลำดับ แล็คโตสมีค่าเท่ากับ 4.20, 4.14 และ 4.13% ตามลำดับ ของแข็งพร่องไขมัน (solid not fat) มีค่าเท่ากับ 7.95, 7.81 และ 7.82%ตามลำดับ ของแข็งรวมในน้ำนม (total solid) มีค่าเท่ากับ 12.17, 11.96 และ 12.11% ตามลำดับ ซึ่งพบว่าเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ 3.13 ผลของการเสริมเสริม Met hydroxyl analog (MHA®) ต่อปริมาณผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมในโคนม

ผลผลิตน้ำนม	Control	11 g MHA®/d	22 g MHA®/d	SEM	P-value
		…….. (kg/day) ……			
ปริมาณน้ำนม	11.60	11.74	10.88	0.48	0.73
ปริมาณน้ำนมปรับไขมัน 3.5%	12.98	12.83	12.23	0.44	0.77
องค์ประกอบของน้ำนม		…….. (g/day) ……			
ปริมาณไขมันนม	492	486	467	16.39	0.82
ปริมาณโปรตีนนม	315	311	287	12.39	0.66
ปริมาณแล็คโตส	490	486	449	19.45	0.66
ปริมาณของแข็งพร่องไขมัน	928	917	851	36.38	0.62
ปริมาณของแข็งรวมในนม	1,420	1,404	1,318	50.43	0.70

หมายเหตุ: SEM = standard error of the mean

ตารางที่ 3.14 ผลของการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ต่อองค์ประกอบของน้ำนมในโคนม

% องค์ประกอบน้ำนม	Control	11 g MHA®/d	22 g MHA®/d	SEM	P-value
		…….. (%) .. ……			
ไขมันนม	4.22	4.14	4.29	0.13	0.89
โปรตีนนม	2.70	2.65	2.64	0.01	0.23
แล๊คโตส	4.20	4.14	4.13	0.02	0.23
ของแข็งพร่องไขมัน	7.95	7.81	7.82	0.03	0.22
ของแข็งรวมในนม	12.17	11.96	12.11	0.15	0.84

หมายเหตุ: SEM = standard error of the mean

3.7.8 องค์ประกอบของกรดไขมันในอาหาร TMR และในน้ำนม (% of total fatty acid)

ปริมาณของกรดไขมันในอาหาร TMR ที่ใช้ในการทดลองนั้น แสดงในตารางที่ 3.15 พบว่า C10:0 มีค่าเท่ากับ 1.06% C12:0 มีค่าเท่ากับ 16.66% C14:0 มีค่าเท่ากับ 5.38% C16:0 มีค่าเท่ากับ 17.44% C18:0 มีค่าเท่ากับ 3.07% C18:1n9c มีค่าเท่ากับ 13.65% C18:2n6c มีค่าเท่ากับ 21.68% C18:3n3 มีค่าเท่ากับ 13.52% C20:1 มีค่าเท่ากับ 5.92% C20:5n3 มีค่าเท่ากับ 1.15% และ C22:0 มีค่าเท่ากับ 0.48%

ปริมาณสัดส่วนของกรดไขมันในน้ำนมของโคนมที่ได้รับการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ที่ระดับ 0, 11 และ 22 กรัม/ตัว/วัน แสดงดังตารางที่ 3.16 พบว่าการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ที่ระดับ 22 กรัม/ตัว/วัน มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมัน C4:0 เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ทำการเสริม MHA® ที่ระดับ 11 กรัม/ตัว/วัน และการเสริม MHA® ที่ระดับ 11 กรัม/ตัว/วัน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม แต่อย่างไรก็ตาม การเสริมที่ระดับ 11 กรัม/ตัว/วัน จะมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมัน C18:1n9c และ Unsaturated FA เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่เสริม MHA® ที่ระดับ 22 กรัม/ตัว/วัน และการเสริม MHA® ที่ระดับ 22 กรัม/ตัว/วัน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม และการเสริม MHA® ที่ระดับ 11 กรัม/ตัว/วัน จะมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมัน C18:3n3 และ Ssaturated FA ลดต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม แต่ไม่พบความแตกต่าง

ทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่เสริม MHA® ที่ระดับ 22 กรัม/ตัว/วัน และการเสริม MHA® ที่ระดับ 22 กรัม/ตัว/วัน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม แต่การเสริม MHA® ที่ระดับ 11 และ 22 กรัม/ตัว/วัน พบว่ามีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมัน C21:0 เพิ่มสูงขึ้นโดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

ตารางที่ 3.15 ปริมาณของกรดไขมันในอาหาร TMR (% of total fatty acid)

Fatty acid profile	**TMR**
C10:0	1.06
C12:0	16.66
C14:0	5.38
C16:0	17.44
C18:0	3.07
C18:1n9c	13.65
C18:2n6c	21.68
C18:3n3	13.52
C20:1	5.92
C20:5n3	1.15
C22:0	0.48

ตารางที่ 3.16 ผลของการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำนม (% of total fatty acid)

	Control	11 g MHA®/d	22 g MHA®/d	SEM	P-value
C4:0	0.67[b]	1.29[ab]	1.96[a]	0.18	0.04
C6:0	1.18	1.30	1.37	0.12	0.82
C8:0	0.93	0.82	0.86	0.05	0.71
C10:0	1.99	1.76	1.86	0.09	0.60
C11:0	0.32	0.31	0.29	0.02	0.70
C12:0	7.96	7.60	7.61	0.12	0.40
C13:0	0.31	0.32	0.29	0.01	0.63
C14:0	13.94	13.41	13.13	0.23	0.38
C14:1	1.94	2.14	1.77	0.08	0.21
C15:0	1.05	1.08	0.98	0.02	0.20
C16:0	33.88	31.31	32.56	0.81	0.45
C16:1	2.90	3.03	3.20	0.10	0.51
C17:1	0.23	0.26	0.24	0.04	0.97
C18:0	6.85	6.50	6.72	0.19	0.75
C18:1n9t	1.39	1.57	1.62	0.11	0.65
C18:1n9c	22.60[b]	25.53[a]	23.86[ab]	0.39	0.03
C18:2n6c	1.01	1.00	1.03	0.03	0.96
C18:3n3	0.74[a]	0.15[b]	0.34[ab]	0.08	0.03
C20:0	0.06	0.02	0.06	0.02	0.48
C20:1	0.18	0.21	0.15	0.02	0.37
C21:0	0.08[b]	0.40[a]	0.19[a]	0.05	0.04
Short chain FA	13.37	13.41	14.25	0.42	0.64
Medium chain FA	53.93	51.23	51.90	0.66	0.25
Long chain FA	32.93	35.39	33.98	0.52	0.18
Unsaturated FA	30.99[b]	33.90[a]	32.22[ab]	0.43	0.04
Saturated FA	69.23[a]	66.13[b]	67.90[ab]	0.44	0.04

หมายเหตุ: SEM = standard error of the mean

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

3.8 วิจารณ์ผลการทดลอง

3.8.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร

จากการศึกษาองค์ประกอบของอาหาร TMR พบว่ามีค่าที่ใกล้เคียงกับการรายงานของ NRC (2001); Suksombat and Chullanandana (2008) อย่างไรก็ตาม เปอร์เซ็นต์โปรตีนของอาหาร TMR มีค่าเท่ากับ 12.20% ซึ่งมีค่าที่ต่ำกว่าระดับของ NRC (2001) ที่แนะนำว่าโคนมที่อยู่ในช่วงระยะของการให้นมควรจะได้รับอาหารที่มีโปรตีนไม่ต่ำกว่า 14% ในอาหาร TMR จะมีค่า NFC เท่ากับ 17.90% ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่า NRC (2001) แนะนำไว้ ส่วนเปอร์เซ็นต์ NDF และ ADF มีค่าเท่ากับ 62.12 และ 35.12% ตามลำดับ ซึ่งพบว่า NDF และ ADF มีค่าที่สูงกว่า NRC (2001) ที่แนะนำไว้ว่าโคนมที่อยู่ในช่วงระยะของการให้นมควรจะได้รับอาหารที่มี NFC ที่ระดับ 30-40% , ADF ที่ระดับ 19-21% และ NDF ที่ระดับ 25-28% ในปัจจุบันได้มีการประเมินระดับโภชนะของอาหารข้นสำหรับเลี้ยงโคนม ซึ่ง NRC (2001) แนะนำไว้ว่าควรมีความเข้มข้นของแป้งไม่น้อยกว่า 21% หรือไม่เกิน 27% อาหาร TMR มีโปรตีนและ NFC ที่ต่ำ หรือ NDF และ ADF ที่สูงนั้น อาจเป็นผลอันเนื่องมาจากการตัดหญ้าสดที่มีเยื่อใยสูง โปรตีนและ NFC ที่ต่ำมาผสมในสูตรอาหาร TMR

เมื่อนำผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีไปคำนวณหาคุณค่าทางพลังงานประเภทต่างๆ ตามสมการของ NRC (2001) พบว่าอาหาร TMR มีโภชนะของการย่อยได้ทั้งหมดเท่ากับ 50.93% ส่วนพลังงานของการย่อยได้ พลังงานใช้ประโยชน์ได้ และพลังงานสุทธิมีค่าเท่ากับ 2.59, 2.17 และ 1.34 Mcal/kgDM ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นผลอันเนื่องมาจากอายุและชนิดของวัตถุดิบที่นำมาประกอบในสูตรอาหาร TMR ซึ่งโคนมทั้งสามกลุ่มการทดลองจะได้รับในปริมาณที่เท่ากัน เพราะใช้วัตถุดิบที่มาประกอบเป็นสูตรอาหาร TMR ชนิดเดียวกัน ในการทดลอง

3.8.2 ปริมาณการกินได้ของโคนม

ปริมาณการกินได้ของโคนมเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการให้ผลผลิตของโคนม ซึ่งเกี่ยวข้องกับการได้รับโภชนะในอาหาร จากการทดลองวัดการกินได้ ดังแสดงในตารางที่ 3.7 พบว่าปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง โปรตีน และพลังงานสุทธิของโคนมทั้งสามกลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Rulquin and Delaby (1977) และในบางงานวิจัยที่ได้ทำการเสริม RPMet ในอาหารโคนมพบว่าการเพิ่มขึ้นของการกินได้ของวัตถุแห้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Schwab, Bozak, Whitehouse, and Mesbah, 1992; Vanhatalo, Huhtanen, Toivonen, and Varvikko, 1999; Trináctý et al., 2006)

3.8.3 การประมาณโปรตีนและพลังงานของโคนมที่ได้รับจากอาหาร TMR

ผลของโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{sup}) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP_{sup}) ของโคที่ได้รับอาหาร TMR พบว่า RDP_{sup} และ RUP_{sup} ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง ทั้งนี้เป็นผลอันเนื่องมาจากการกินได้

วัตถุแห้งของโคนมทั้ง 3 กลุ่มการทดลองไม่แตกต่างกัน จึงส่งผลให้ได้รับ RDP_{sup} และ RUP_{sup} ทั้ง 3 กลุ่มการทดลองไม่แตกต่างกัน ความต้องการโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{req}) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP_{req}) ที่คำนวณตามสมการ NRC (2001) แสดงไว้ในตารางที่ 3.8 พบว่าโคนมได้รับโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{sup}) ไม่เพียงพอต่อความต้องการของโคนม ซึ่งอาจส่งผลให้จุลินทรีย์ที่อยู่ในกระเพาะหมักได้รับไนโตรเจนที่ไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต และอาจมีผลกระทบต่อกระบวนการย่อยในกระเพาะหมัก ซึ่งเป็นผลอันเนื่องมาจากอาหาร TMR ที่ใช้ในการทดลองมีโปรตีนเท่ากับ 12.20% ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่าระดับของ NRC (2001) ที่ได้แนะนำว่า โคนมที่อยู่ในช่วงระยะของการให้นมควรจะได้รับอาหารที่มีโปรตีนไม่ต่ำกว่า 14% สาเหตุที่อาหาร TMR มีโปรตีนที่ต่ำกว่าที่ NRC (2001) แนะนำไว้นั้น เป็นผลอันเนื่องมาจากการตัดหญ้าสดที่มีโปรตีนต่ำและมีเยื่อใยสูงมาประกอบเป็นสูตรอาหาร TMR สำหรับเลี้ยงโคนม ซึ่งหญ้าเท่ากับ 5.32% เยื่อใยหยาบเท่ากับ 32.21% ส่วน NDF และ ADF มีค่าเท่ากับ 69.93 และ 42.19% ตามลำดับ Claypool, Pangbornand, and Adams (1980) กล่าวไว้ว่าโคที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนสูงจะทำให้จุลินทรีย์ที่อยู่ในกระเพาะหมักได้รับไนโตรเจนที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต และจะส่งผลให้การย่อยได้สูงขึ้นการไหลผ่านของอาหารจากกระเพาะหมักก็เพิ่มสูงขึ้นและทำให้โคกินอาหารได้มากขึ้น ดังนั้นอาจแก้ปัญหาการได้รับโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{req}) ที่ไม่เพียงพอของโคนมได้โดยการเพิ่มปริมาณโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักในสูตรอาหาร TMR ส่วนการได้รับโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก RUP_{sup} พบว่าโคนมทั้ง 3 กลุ่มการทดลองได้รับ RUP_{sup} ไม่เพียงพอต่อความต้องการของโคนมกล่าวคือ -483, -352 และ -331 กรัม/ตัว/วัน ในกลุ่มควบคุม กลุ่มที่ได้รับการเสริม Met hydroxy analog ($MHA^{®}$) 11 และ 22 กรัม/ตัว/วัน ซึ่งอาจแก้ปัญหาได้โดยการใช้ by pass protein เพื่อให้โคได้รับโปรตีนตามที่ต้องการโดย by pass protein เป็นอาหารโปรตีนที่คงตัวอยู่ได้ในกระเพาะหมัก จะไม่ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ เรียกโปรตีนชนิดนี้ว่า โปรตีนไหลผ่า (By pass protein) โปรตีนชนิดนี้จะถูกย่อยสลายที่กระเพาะจริงและดูดซึมที่ลำไส้เล็ก ซึ่งมีความสำคัญต่อโคนมมาก โดยเฉพาะโคที่ให้ผลผลิตน้ำนมสูง ๆ เนื่องจากโปรตีนจากจุลินทรีย์เพียงอย่างเดียวนั้นไม่เพียงพอต่อการสร้างผลผลิตน้ำนม โปรตีนที่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมักและโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมักต่างก็มีความสำคัญต่อการสร้างผลผลิตน้ำนมของโคนม เนื่องจากโปรตีนที่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมักมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก ซึ่งการหมักจะไม่สมบูรณ์ถ้าไม่มีโปรตีนชนิดนี้ ส่วนโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก จะเป็นแหล่งของกรดอะมิโนหลายชนิดที่จุลินทรีย์ผลิตได้ไม่เพียงต่อความต้องการ โปรตีนที่ถูกย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักควรมีอยู่ในสูตรอาหารประมาณ 60-65% ส่วนโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก ควรมีในสูตรอาหาร 35-40%

การเสริม Met hydroxyl analog (MHA®) ไม่มีผลต่อการกินได้ของพลังงานสุทธิ (NE_{intake}) และพลังงานที่โคต้องการเพื่อใช้ในการทำกิจกรรมต่าง ๆ (NE_{LM}, NE_{LL}, NE_{LG} และ NE_{LR}) รวมไปถึงประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน

3.8.4 น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง

การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวของโคนมในการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.10 ซึ่งพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ของน้ำหนักตัวก่อนการทดลอง หลังการทดลอง และการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว (Body weight change, BWC) ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของRulquin and Delaby (1977); Rulquin, Graulet, Delaby, and Robert (2006); Piepenbrink, Marr, Waldron, and Butler (2004); Davidson, Hopkins, Odle, Brownie, Fellner, and Whitlow (2008) แต่อย่างไรก็ตามในการทดลองครั้งนี้พบว่าอาหารที่ใช้ในการทดลองมี RDP_{sup} และ RUP_{sup} ที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการของโคนม แต่เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าโคนมทั้ง 3 กลุ่มการทดลองมีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลอันเนื่องมาจากอาหารที่ใช้ในการทดลองมีพลังงานที่เกินความต้องการของโคนม การที่น้ำหนักตัวของโคนมเพิ่มขึ้นนั้นเกิดจากพลังงานส่วนเกินจากอาหารถูกเปลี่ยนเป็นไขมันมาสะสมบริเวณกล้ามเนื้อของโคนม ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้โคนมทั้ง 3 กลุ่มการทดลองมีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น

3.8.5 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนของของเหลวในกระเพาะหมัก

จากการทดลองในครั้งนี้พบว่าระดับของ pH ภายในของเหลวจากกระเพาะหมักของโคนมทั้ง 3 กลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) คือ อยู่ในช่วง 6.58-6.73 ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสม ฉลอง วิชิราภากร (2541) ได้รายงานไว้ว่าสภาพภายในกระเพาะหมักที่มีความเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์มากที่สุด คือ มีระดับ pH อยู่ระหว่าง 5.5-7 อุณหภูมิเฉลี่ย 39-40 ºC ระดับของ pH นั้นถือได้ว่ามีผลต่อระบบนิเวศน์วิทยาในกระเพาะหมักเป็นอย่างมาก ซึ่งค่า pH จะมีผลกระทบต่อชนิด และจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักเนื่องจากมีความสัมพันธ์ต่อการทำงานของเอนไซม์ภายในเซลล์แบคทีเรีย (Moat and Foster, 1995)

ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะหมักนั้นมีความผันแปร ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ระดับการให้อาหาร ความสามารถในการละลายได้ของโปรตีนในอาหาร แหล่งของคาร์โบไฮเดรตและแหล่งของแร่ธาตุ ความถี่ของการให้อาหาร (เมธา วรรณพัฒน์, 2553) โดยแอมโมเนียไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในกระเพาะหมักจะได้จากการย่อยสลายของโปรตีนในอาหาร จุลินทรีย์โปรตีน และสารประกอบ NPN (Non protein nitrogen) Satter and Slyter (1974) แนะนำไว้ว่าระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนที่เหมาะสมในกระเพาะหมักนั้น ควรจะอยู่ในระดับที่ทำให้จุลินทรีย์ใน กระเพาะหมักเจริญเติบโตดีที่สุดและมีการย่อยได้ของวัตถุแห้งสูงที่สุด

คืออยู่ในช่วง 50-80 มิลลิกรัม/ลิตร แต่ในการทดลองครั้งนี้พบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนมีค่าต่ำกว่า Satter and Slyter (1974) ซึ่งเป็นผลอันเนื่องมาจากอาหาร TMR ที่ใช้ในการทดลองในครั้งนี้มีโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{sup})ไม่เพียงพอต่อความต้องการของโคนมและอาหาร TMR นั้นมีโปรตีนที่ต่ำ (12.20%) โดยปกติแล้วโคนมที่อยู่ในช่วงระยะของการให้นมจะต้องได้รับโปรตีนไม่ต่ำกว่า 14% (NRC, 2001) และในการทดลองในครั้งนี้พบว่าระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน ในช่วงก่อนการให้อาหารของโคนมที่ได้รับการเสริมในระดับ 22 กรัม/ตัว/วัน มีความเข้มข้นสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ดังนั้นในชั่วโมงที่ 3 จึงทำการวิเคราะห์ค่าทางสถิติด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (Analysis of covariance) โดยใช้ข้อมูลชั่วโมงที่ 0 เป็น covariate พบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะหมักของโคนมทั้งสามกลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ (Broderick, Stevenson, Patton, Lobos, and Olmos Colmenero, 2008) ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าการเสริม MHA® ไม่มีผลต่อความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน

3.8.6 ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acid; VFA) ของเหลวในกระเพาะหมัก

กรดไขมันระเหยได้เป็นผลผลิตจากการหมักย่อยอาหารโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก ซึ่งพบว่ากรดไขมันระเหยได้นั้นถูกใช้เป็นพลังงานของโคนนมถึง 80% (Bergman, 1990) โดยกรดไขมันระเหยได้จะถูกขนส่งจากกระเพาะหมัก 2 ทางคือ การดูดซึมผ่านผิวผนังชั้น epithelium ของกระเพาะหมักและรวมไปกับของเหลวจากกระเพาะหมักผ่านทางreticulo-omasal oifice (Peters, Shen, and Chester, 1990) ถ้าในกระเพาะหมักนั้นมีปริมาณกรดไขมันระเหยได้มากเกินไปจะทำให้ค่า pH ในกระเพาะหมักลดลงและเกิด rumen acidosis (Barker,Van Dreumel,and Palmer, 1995) จากการทดลองพบว่าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ในช่วงก่อนการให้อาหาร (ชั่วโมงที่ 0) พบว่ากรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และอัตราส่วนของของกรดอะซิติกต่อกรดโพรพิโอนิก ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ของโคนมทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง ส่วนกรดบิวทีริก นั้นพบว่า การเสริมที่ระดับ 22 กรัม/ตัว/วัน มีผลทำให้กรดบิวทีริกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับกลุ่มที่เสริมที่ระดับ 11 กรัม/ตัว/วัน และในชั่วโมงที่ 3 หลังจากการให้อาหารพบว่า ความเข้มข้นของกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดบิวทีริก และอัตราส่วนกรดอะซิติกต่อกรดโพรพิโอนิก ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ความเข้มข้นของ กรดอะซิติกมีค่าอยู่ระหว่าง 68.41-70.30 mol/100mol กรดโพรพิโอนิกมีค่าอยู่ระหว่าง 19.03-20.93 mol/100 mol กรดบิวทีริกมีค่าอยู่ระหว่าง 10.29-12.54 mol/100mol และอัตราส่วนกรดอะซิติกต่อกรดโพรพิโอนิก มีค่าอยู่ระหว่าง 3.40-3.71 mol/100mol ซึ่งพบว่าระดับความเข้มข้นของกรดอะซิติกมีค่า

ใกล้เคียงกับ Socha, Schwab, Putnam, Whitehouse, Garthwaite, and Ducharme (2008) คือที่ระดับ 66.4-73.9 mol/100mol และพบว่าความเข้มข้นของกรดโพรพิโอนิกในงานทดลองของ Socha et al. (2008) มีค่าสูงกว่าการทดลองในครั้งนี้ (กรดโพรพิโอนิกที่ระดับ 27.2-28.5) แต่มีค่าใกล้เคียงกับงานทดลองของ Broderick et al. (2008) คือที่ระดับ 18.7-20.1 mol/100 mol และกรดบิวทีริกนั้นมีค่าใกล้เคียงกับงานทดลองของ Broderick et al (2008) คือที่ระดับ 10.9-11.7 mol/100mol และมีอัตราส่วนของกรดอะซิติกต่อกรดโพรพิโอนิกที่ใกล้เคียงกับงาทดลองของ Lundquist, Stern, Otterby, and Linn (1985) แต่อย่างไรก็ตามในงานทดลองนี้พบว่า ในช่วงก่อนการให้อาหาร (ชั่วโมงที่ 0) กลุ่มที่ทำการเสริมที่ระดับ 22 กรัม/ตัว/วัน มีผลทำให้กรดบิวทีริกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ดังนั้นในชั่วโมงที่ 3 จึงทำการวิเคราะห์ค่าทางสถิติด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (Analysis of covariance) โดยใช้ข้อมูลชั่วโมงที่ 0 เป็น covariate พบว่าความเข้มข้นของกรดบิวทีริกในกระเพาะหมักของโคนมทั้งสามกลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ซึ่งปริมาณของกรดไขมันระเหยได้นั้นจะมีผลต่อการให้ผลผลิตของโคนม กรดอะซิติกและกรดบิวทีริกจะมีผลต่อปริมาณไขมันในน้ำนม ส่วนกรดโพรพิโอนิกจะมีผลต่อปริมาณผลผลิตในโคนม (Garnsworthy, 1988) และสัดส่วนของกรดอะซิติกต่อโพรพิโอนิกที่เพิ่มขึ้นก็จะมีผลกระทบต่อผลผลิตน้ำนม ซึ่งสัดส่วนของกรดอะซิติกต่อกรดโพรพิโอนิกจะมีอิทธิพลอันเนื่องมาจากอาหารที่สัตว์กิน โดยสัตว์ที่กินอาหารหยาบหรืออาหารที่มีเยื่อใยสูงจะผลิตกรดอะซิติกสูง ส่วนสัตว์ที่กินอาหารที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบอยู่สูงก็จะมีผลผลิตของกรดโพรพิโอนิกที่สูง (Dado and Allen, 1995)

3.8.7 ปริมาณน้ำนมและปริมาณองค์ประกอบของน้ำนม

ไม่พบความแตกต่างของปริมาณน้ำนม ปริมาณไขมันนม ปริมาณโปรตีนนม ปริมาณแล็คโตส ปริมาณของแข็งพร่องไขมัน (solid not fat) และปริมาณของแข็งรวมในน้ำนม(total solid) ของโคนมทั้งสามกลุ่มการทดลอง (ตารางที่ 3.13) และการเสริมMet hydroxyl analog (MHA®) ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบของน้ำนม (ตารางที่ 3.14) ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Schwab, Bozak, Whitehouse, and Mesbah (1992) ที่ได้ทำการเสริมเสริม Met และ Lysเช่นเดียวกับงานทดลองของ Rulquin, Pisulewski, Ve´rite´, and Guinard (1993) พบว่าการเสริม Met ไม่มีผลต่อปริมาณน้ำนม แต่ตรงข้ามกับงานทดลองของ Lara et al. (2006); Leonardi, Stevenson, and Armentano (2003) ได้ทำการเสริม rumen-protected methionine พบว่ามีผลทำให้เปอร์เซ็นต์โปรตีนนมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ซึ่งการเสริม Met hydroxyl analog (MHA®) ไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตของโคนมในการทดลองครั้งนี้นั้นอาจจะมาจากหลายสาเหตุ คือ โคนมมีการกินได้ของวัตถุแห้งที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจึงทำให้ไม่ส่งผลต่อผลผลิตน้ำนม และการที่โคนมที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีผลผลิตน้ำนม

ที่ต่ำเกินไป จึงทำให้การเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตของโคนม ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องมาจากโคนมที่ใช้ในการทดลองมีผลผลิตน้ำนมที่ต่ำ และ โคนมอาจจะได้รับ Met จากจุลินทรีย์และจากอาหารที่เพียงพออยู่แล้ว จึงทำให้การเสริม Met hydroxyl analog (MHA®) ในการทดลองครั้งนี้ไม่ส่งผลต่อโปรตีนในน้ำนม และผลผลิตน้ำนม NRC (2001) รวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความต้องการ Met ของโคนมที่มีน้ำหนักตัวระหว่าง 450-500 กิโลกรัม และให้น้ำนมน้อยกว่า 15 กิโลกรัม/ตัว/วัน แนะนำว่าโคนมดังกล่าวมีความต้องการ Met วันละ 20.3-22.7 กรัม/ตัว/วัน และร้อยละ 50.0-75.0 จะได้รับจากโปรตีนจากจุลินทรีย์ (11-16 กรัม/วัน) ส่วนที่เหลือจะได้รับจาก Met ในอาหาร (ประมาณ 11 กรัม/วัน) จากการคำนวณปริมาณ Met ในอาหาร TMR พบว่าโคนมจะได้รับ Met ประมาณวันละ 16.8 กรัม/ตัว และถ้าการใช้ประโยชน์ได้ของ Met จากอาหารมีค่าเท่ากับ 80% (Rulquin, 1993) โคนมจะได้รับ Met จากอาหารวันละ 13.4 กรัม/ตัว ดังนั้น การเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ในการทดลองนี้ จึงไม่มีผลต่อผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนม นอกจากนี้ NRC (2001) ได้กล่าวไว้ว่าในการเสริม Met นั้นจะมีผลตอบสนองต่อองค์ประกอบน้ำนมและปริมาณน้ำนมน้อย ในอดีตมีการรายงานว่าเมื่อเพิ่มโปรตีนในอาหารให้มีคุณภาพที่สูงขึ้นหรือฉีดกรดอะมิโนเข้าไปในกระเพาะจริง (abomasum) ในโคนมช่วงระยะของการให้นม จะมีผลทำให้โปรตีนนม และผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้น (Clark, 1975; Spires, Clark, Derrig, and Davis, 1975) และในงานทดลองของ Polan, Chandler, and Miller (1970) พบว่าเมื่อใช้ hydroxymethylmethionine-calcium ผสมในอาหารโคนมช่วงระยะของการให้นม จะมีผลทำให้โปรตีนนมและผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้น ส่วนในงานวิจัยอื่น ๆ นั้นได้มีการศึกษาผลของ methionine analog [a-hydroxy-7-(methylmercapto) butyrate-calcium] ในอาหารโคนมพบว่ามีผลทำให้ผลผลิตน้ำนมและปริมาณไขมันนมเพิ่มขึ้น หรือเพิ่มเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนม (Bhargava, Otterby, Murphy, and Donker, 1977) Lundquist, Bhargava, Linn, and Otterby (1982) ได้รายงานถึงผลของการเสริม Met หรือ Met hydroxyl analog ในอาหารโคนมพบว่า เมื่อทำการเสริมในช่วงระยะแรกของการให้นม (early lactation) จะมีผลทำให้ปริมาณน้ำนม น้ำนมปรับไขมัน 4% มีปริมาณที่เพิ่มขึ้น ในยุโรปมีการรายงานว่า เมื่อมี Met ผสมอยู่ในอาหารนั้น จะเป็นแหล่งกำเนิดของไขมันหรือเป็นตัวที่ช่วยในกระบวนการสร้างไขมัน แต่จะมีผลทำให้แบคทีเรียในกระเพาะหมักลดลง ซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำนม (Kaufmann and Lupping, 1982) โดยมีการพิสูจน์ถึงการตอบสนองของ Protected methionine ในด้านอื่น ๆ แล้ว แต่ที่สำคัญที่สุดคือ ผลตอบสนองต่อการปรับปรุงผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนมยังไม่มีการพิสูจน์ (Chalupa, 1975) อย่างไรก็ตาม การใช้ 2-hydroxy-4-(methylthio)-butanoic acid (HMB) เสริมในอาหารโคนมนั้นจะมีผลต่อการหมักย่อยในกระเพาะหมักเป็นการชักนำให้ปริมาณไขมันเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณโปรตีนจะเปลี่ยนไป (Bhargava, Otterby, Murphy, and Donker, 1977; Lundquist, Bhargava, Linn, and Otterby, 1982; Hansen,

Otterby, Linn, and Donker, 1991) ดังนั้นการใช้ HMB จึงไม่มีผลต่อการดูดซึมเพื่อนำไปสังเคราะห์โปรตีนนม

3.8.8 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำนม

จากการศึกษาผลของการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ต่อปริมาณของกรดไขมันในน้ำนมพบว่าไม่มีผลต่อ long chain FA, medium chain FA และ short chain FA ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Casper, Schingoethe, Yangfl and Mueller (1987) ซึ่งได้ทำการเสริม rumen-protected methionine ที่ระดับ 50 กรัม/ตัว/วัน ร่วมกับ extruded soybean meal 60% พบว่าไม่มีผลต่อ long chain FA และ short chain FA และในงานทดลองของ Yang, Schingoethe, and Casper (1986) ได้ทำการเสริม rumen-protected methionine ที่ระดับ 50 กรัม/ตัว/วัน ร่วมกับ heat-treated soybean meal พบว่าไม่มีผลต่อ long chain FA และ short chain FA เช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามในงานทดลองครั้งนี้พบว่าการเสริม Met hydroxyl analog (MHA®) ที่ระดับ 11 กรัม/ตัว/วัน มีผลทำให้ C4:0, C18:1n9c, C21:0 และ UFA (unsaturated fatty acid) เพิ่มขึ้น ส่วน C18:3n3 และ SFA (saturated fatty acid) ลดต่ำลง ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Pisulewski, Rulquin, Peyraud and Verite (1996); Trináctý, Krížová, Hadrová, Hanuš, Janštová, Vorlová, and Dracková (2006) ซึ่งการเพิ่มขึ้นของ UFA (unsaturated fatty acid) ในน้ำนมนั้น เป็นผลอันเนื่องมาจาก Met hydroxy analog (MHA®) ไปกระตุ้นให้เกิดการสังเคราะห์ UFA (unsaturated fatty acid) ภายในต่อมสร้างน้ำนมของเซลล์เต้านม (Pisulewski et al., 1996) ในการลดลงของ SFA (saturated fatty acid) และการเพิ่มขึ้นของ UFA (unsaturated fatty acid) จะมีความสัมพันธ์เกี่ยวกับการเพิ่มคุณภาพของน้ำนม

3.9 สรุปผลการทดลอง

การทดลองเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ที่ระดับ 0, 11 และ 22 กรัม/ตัว/วัน พบว่าไม่มีผลต่อการกินได้ของวัตถุแห้ง โปรตีนที่ได้รับจากอาหาร ความต้องการพลังงานเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ ของโคนม การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว รวมไปถึงระดับความเป็นกรด-ด่าง ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน และความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ภายในของเหลวในกระเพาะหมัก นอกจากนี้การเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ในการทดลองนี้ยังไม่ส่งผลต่อผลผลิตน้ำนม และองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม ดังนั้นในกรณีที่โคนมให้ผลผลิตค่อนข้างต่ำ (< 15 กิโลกรัม/ตัว/วัน) เช่นเดียวกันกับที่ใช้ในการทดลองนี้ และถ้าจุดประสงค์ของการเสริมเพื่อเพิ่มผลผลิตน้ำนม หรือองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม ผู้วิจัยมีความเห็นว่ายังไม่ควรเสริม Met hydroxy analog (MHA®) อย่างไรก็ตามการเสริม MHA®ที่ระดับ 11 กรัม/ตัว/วัน พบว่ามีผลทำให้สัดส่วนของกรดไขมันในน้ำนม ได้แก่ C4:0, C18:1n9c, C21:0 และ UFA (unsaturated fatty acid) เพิ่มขึ้น ส่วน C18:3n3 และ SFA (saturated fatty acid) ลดต่ำลง และการเสริม MHA®ที่ระดับ

22 กรัม/ตัว/วัน ไม่มีผลต่อ C18:1n9c, C18:3n3, UFA และ SFA แต่มีผลทำให้ C4:0 และ C21:0 เพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นถ้าจุดประสงค์ของการเสริมเพื่อต้องการเพิ่ม UFA ควรเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ที่ระดับ 11 กรัม/ตัว/วัน

3.10 รายการอ้างอิง

ฉลอง วิชิราภากร. (2541). **โภชนศาสตร์และการให้อาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องเบื้องต้น**. ภาควิชาสัตว์ศาสตร์. คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

เมธา วรรณพัฒน์. (2533). **โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง**. ภาควิชาสัตวศาสตร์. คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัดฟันนี่พับบลิชชิ่ง.

สุรยุทธ ทรงสุหมัด, อรรถยา เกียรติสุนทร และวงศ์ขวัญ จิตนุพงศ์. (2548)**. องค์ประกอบน้ำนมดิบกับมาตรฐานของประเทศไทย.**วารสารสัตวบาล 15(71):29-37.

Association of Official Analytical Chemists. (1990)**. Official Method of Analysis.** Washington D. C. p. 1298.

Barker, I. K., Van Dreumel, A. A., and Palmer, N. (1995). **The alimentary system**. Page 1 in Pathology of Domestic Animals. 4th.ed. Vol 2. K. V. F. Jubb, P. C. Kennedy, N. Palmer, ed. Academic Press, San Diego, CA.

Bergman, E. N. (1990). Energy contributions of volatile fatty acids from the gastrointestinal tract in various species. **Physiol. Rev**. 70: 567-590.

Bhargava, P. K., Otterby, D. E., Murphy, J. M., and Donker, J. D. (1977). Methionine hydroxyl analog in diets for lactating cows. **J. Dairy Sci.,** 60:1594-1604.

Broderick, M., Stevenson, J., Patton, R. A., Lobos, N. E., and Olmos Colmenero, J. J. (2008). Effect of supplementing rumen-protected methionine on production and nitrogen excretion in lactating dairy cows. **J. Dairy Sci**. 91:1092-1102.

Casper, D. P., Schingoethe, D. J., Yangfl, C.-M. J., and Mueller, C.R. (1987). Protected methionine supplementation with extruded blend of soybeans and soybean meal for dairy cows. **J. Dairy Sci.** 70: 2.

Chalupa, W. (1975). Rumen bypass and protection of proteins and amino acids. **J. Dairy Sci.** 58:1198-1218.

Clark, J. I. L. (1975). Lactational responses to postruminal administration of proteins and amino acids. **J. Dairy Sci.** 58:1178.

Claypool, D. W., Pangbornand, M. C., and Adams, H. P. (1980). Effect of dietary protein on high producing dairy cows in early lactation. **J. Dairy Sci**. 63: 833.

Davidson, S., Hopkins, B. A., Odle, J., Brownie, C., Fellner, V., and Whitlow, L. W. (2008) Supplementing limited methionine diets with rumen-protected methionine, betaine, and choline in early lactation holstein cows. **J. Dairy Sci.** 91:1552-1559.

Dibner, J. J. (1983). Utilization of supplemental methionine sources by primary cell cultures of chick hepatocytes. **J. Nutr**. 113: 2116-2123.

Dibner, J. J. and. Knight, C. D (1984). Conversation of 2-hydroxy-4-(methylthio) butanoic acid and l- methionine in the chick : A stereospecific pathway. **J. Nutr**. 114: 1716-1723.

Folch, J., Lees, M., and Sloane-stanley, G. H. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipids form animal tissues. **J. Biol. Chem**. 226: 495-509.

Garnsworthy, P. C. (1988). **Nutrition and Lactation in the Dairy Cow**. Anchor-Brender Butterworths Press. Nottingham. England.

Georing, H. K., and Van Soest, P. J. (1970). **Forage Fiber Analysis**. Agricultural Handbook, Agricultural Research Council. Jacket No. 379. Washington, D.C. USDA.

Hansen, W. P., Otterby, D. E., Linn, J. G., and Donker, J. D. (1991). Influence of forage type, ratio of forage to concentrate, and methionine hydroxy analog on performance of dairy cows. **J. Dairy Sci.** 74:1361-1369.

Kelly, M. L., KolverBauman, D. E., Van Amburgh, M.E., and Muller, L.D. (1998). Effect of intake of pasture on concentration of conjugated linoleic acid in milk of lactating cows. **J. Dairy Sci**. 81: 1630-1636.

Lara, A., Mendoza, G. D. Landois, L., Barcena, R., Sa´nchez-Torres, M. T., Rojo, R., Ayala, J., and Vega., S. (2006). Milk production in Holstein cows supplemented with different levels of ruminally protected methionine. **Livest. Sci**. 105:105-108.

Leonardi, C., Stevenson, M., and Armentano, L. E. (2003) Effect of two levels of crude protein and methionine supplementation on performance of dairy cow. **J. Dairy Sci.** 86:4033-4042.

Lundquist, R., Bhargava, P. K., Linn, J. G., and Otterby, D. E. (1982). **Methionine hydroxy analog for lactating dairy cattle Proc. 43rd Minnesota Nutr**. Conference, University of Minnesota Extension Service, Minneapolis, MN., p. 31-35.

Lundquist, R. G., Stern, M. D., Otterby, D. E., and Linn, J. G. (1985). Influence of methionine hydroxy analog and DL-methionine on rumen protozoa and volatile fatty acids **J. Dairy Sci.** 68: 11.

Metcalfe, L. D., Schmitz, A. A., and Pelka, J. R. (1996). Rapid preparation of fatty acid esters from lipids for gas chromatographic analysis. **Anal. Chem**. 38: 514-515.

Moat, A. G., and Foster, J. W. (1995). **Microbial Physiology**. Wiley-Liss Pulisher. New York. USA. 580 p.

National Research Council. (2001). **Nutrient requirements of dairy cattle**. National Academy Press, Washington, D.C.

Noftsger, S., St-Pierre, N. R., and Sylvester, J. T. (2005). Determination of Rumen Degradability and Ruminal Effects of Three Sources of Methionine in Lactating Cows. **J. Dairy Sci**. 88:223-237.

Ostrowska, E., Dunshea, F.R., Muralitharan, M., and Cross, R. F. (2000). Comparison of Siliverion high performance liquid chromatographic quantification of free and methylated conjugated linoleic acid. **Lipids**. 35:1147-1153.

Peters, J. P., Shen, R. Y. W., and Chester, S. T. (1990). Propionic acid disappearance from the foregut and small intestine of the beef steer. **J. Anim. Sci**. 68: 3905-3913.

Piepenbrink, M. S., Marr, A. L., Waldron, M. R., Butler, W. R. (2004) Feeding 2-hydroxy-4 (Methylthio)-butanoic acid to periparturient dairy cows improves milk production but not hepatic metabolism. **J. Dairy Sci.** 87:1071-1084

Polan, C. E., Chandler, P. T., and Miller, C. N. (1970). Methionine hydroxy analog: varyios levels for lactating cows. **J. Dairy Sci.** 53:607.

Rulquin, H., Pisulewski, P. M., Ve´rite´, R., and Guinard, J. (1993). Milk production and composition as a function of postruminal lysine and methionine supply: a nutrient-response approach. **Livest. Prod. Sci.** 37:69-90.

Rulquin, H., Graulet, B., Delaby, L., and Robert, J. C. (2006) Effect of different forms of methionine on lactational performance of dairy cows. **J. Dairy Sci.** 89:4387-4394.

Rulquin, H. and Delaby, L. (1977). Effects of the energy balance of dairy cows on lactational responses to rumen-protected methionine. **J. Dairy Sci.** 80: 2513-2522.

Satter, L. D. and Slyter, L. L. (1974) Effect of ammonia concentration on rumen microbial protein production in vitro. **Brit. J. Nutr**. 32:199-208.

Samuelson, D. J., Denise, S. K., Roffler, R., Ax, R. L., Armstrong, D. V., and Romagnolo, D. F. (2001). Response of Holstein and Brown Swiss cows fed alfalfa hay-based diets to supplemental methionine at two stages of lactation. **J. Dairy Sci**. 84:917-928.

Schwab, C. G., Bozak, C. K., Whitehouse, N. L., and Mesbah, M. M. A. (1992). Amino acid limitation and flow to duodenum at four stages of lactation. 1. Sequence of lysine and methionine limitation. **J. Dairy Sci.** 75: 3486-3502.

Socha, M. T., Schwab, C. G., Putnam, D. E., Whitehouse, N. L., Garthwaite, B. D., and Ducharme, G. A. (2008). Extent of methionine limitation in peak-, early-, and mid-lactation dairy cows. **J. Dairy Sci.** 91:1996-2010.

Spires, H. R., Clark, J. H., Derrig, R. G., and Davis, C.L. (1975). Milk production and nitrogen utilization in response to postruminal infusion of sodium caseinate in lactating cows. **J. Nutr.** 105:1111-1121.

Statistical Analysis System. (1996). **SAS User' Guide: Statistics**. NC: SAS Institute.

Steel, R. G. D. and Torrie, J. H. (1980). **Principles and Procedures of Statistics**: a biometeric approach (2nd Ed). McGrowhill: New York.

St-Pierre, N. R. and Sylvester, J. T. (2005). Effects of 2-Hydroxy-4-(Methylthio) Butanoic Acid (HMB) and Its Isopropyl Ester on Milk Production and Composition by Holstein Cows. **J. Dairy Sci**. 88:2487-2497.

Suksombat, W. and Chullanandana, K. (2008). Effects of soybean oil or rumen protected conjugated linoleic acid supplementation on accumulation of conjugated linoleic acid in dairy cows' milk. **Asian-Aust. J. Anim. Sci.** 21(9): 1271-1277.

Trináctý J., Krizova L., Hadrová S., Hanuš O., Janštová B., Vorlová L., and Dracková M., (2006). Effect of rumen-protected supplement with three amino acids on milk yield, composition and fatty acids profile in dairy cows. **J. Anim.Sci.** 15:3-15

Vanhatalo, A., Huhtanen, P., Toivonen, V., and Varvikko, T. (1999). Response of dairy cows fed grass silage diets to abomasal infusions of histidine alone or in combinations with methionine and lysine. **J. Dairy Sci.** 82:2674-2685.

Yang, C-M. J., Schingoethe, D. J., and Casper, D. P. (1996). Protected methionine and heat-treated soybean meal for high producing dairy cows. **J. Dairy Sci.** 69:9.

บทที่ 4

การศึกษาผลของการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ร่วมกับแร่ธาตุอินทรีย์ (MINTREX®) ในอาหารโคนมต่อประสิทธิภาพในการผลิตโคนม

4.1 คำนำ

โคนมที่เลี้ยงในประเทศไทยนั้นมีอัตราการให้ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบน้ำนมที่ต่ำ แต่ปัญหาเรื่องเต้านมอักเสบนั้นก็เป็นอีกปัญหาหนึ่งที่มีความสำคัญที่คงอยู่กับเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมมาเป็นระยะเวลานานและประสบกันอยู่ ซึ่งเต้านมอักเสบแบบไม่แสดงอาการนั้นจะพบมากกว่าแบบแสดงอาการในหลายพื้นที่ (ธีรพงศ์ ธีรภัทรสกุล, 2542) ซึ่งมีความชุกมากถึงร้อยละ 19-78 และอัตราการเกิดโรคสูงถึงร้อยละ 60-70 ของแม่โครีดนมทั้งฝูง (Schukken, Lam, Nielen, Hegeveen, Barkema, and Grommers, 1995) โดยจะพบมากในช่วงระยะของการรีดนม 2 เดือนหลังคลอด ประมาณร้อยละ 44 (Philpot, 2001) ปัญหาเต้านมอักเสบแบบไม่แสดงอาการในระยะต้นของการให้นมมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพการผลิตน้ำนมของแม่โคอย่างมาก โดยจะทำให้ความสามารถของการให้น้ำนมสูงสุดในระยะรีดนม (peak) ไม่เป็นไปตามที่โคสามารถให้ได้ ผลผลิตน้ำนมและคุณภาพน้ำนมลดต่ำลง มีโอกาสพัฒนาไปเป็นเต้านมอักเสบแบบแสดงอาการ ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพระบบสืบพันธุ์ และทำให้เกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจในที่สุด อย่างไรก็ตามการเสริมกรดอะมิโนและแร่ธาตุปลีกย่อยในอาหารโคนมสามารถแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่กล่าวมาได้ มีงานวิจัยพบว่าการเสริม rumen-protected methionine, organic minerals เช่น Zn, Cu, Mn และ Se สามารถเพิ่มองค์ประกอบและผลผลิตของโปรตีนในน้ำนม ผลผลิตน้ำนม และประสิทธิภาพการใช้อาหาร (Garthwaite, Schwab, and Sloan, 1998) นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มอัตราการผสมติดในโคนมและลดจำนวนเซลล์เม็ดเลือดขาวในน้ำนมได้อีกด้วย กรดอะมิโนที่มีความสำคัญต่อการสังเคราะห์น้ำนมและโปรตีนนมในโคนม คือ lysine และ methionine (Schwab, Bozak, Whitehouse and Mesbah, 1992; Rulquin, Pisulewski, Ve´rite, and Guinard, 1993) Dry calcium salt of D,L-2-hydroxy-4-(methylthio)-butanoic acid (HMB) เป็นที่รู้จักกันโดยทั่วไปคือ Methydroxy analog (MHA) ซึ่งมีการศึกษากันอย่างกว้างขวาง ประสิทธิภาพของ MHA นั้นจะเป็นแหล่งของ Met ที่ต่อต้านการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก และจะมีการดูดซึม และ metabolism ภายในเนื้อเยื่อในภายหลัง Met และ Lys มีความสำคัญที่สุดต่อการสังเคราะห์น้ำนม และโปรตีนนมเมื่อโคได้รับข้าวโพดเป็นอาหาร (Schwab, Satter, and Clay, 1976) การเสริมกรดอะมิโนที่ให้มีการดูดซึม

บริเวณส่วนของลำไส้เล็กส่วนต้น (duodenal) จะสามารถปรับปรุงการสังเคราะห์โปรตีนภายในเนื้อเยื่อ (Clark, 1975) ซึ่งตัวแทนในการสร้างกรดอะมิโนให้แก่สัตว์ที่สำคัญได้แก่ ruminally protected amino acids (RPAA) การเสริม RPAA ที่เพิ่มขึ้นจะมีผลต่อ metabolic ของฮอร์โมน รวมไปถึงการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตน้ำนมของโคนม นอกจากนี้ การศึกษาถึงผลของการใช้ RPAA ในโคนมช่วงระยะของการให้นมพบว่ามีผลทำให้โปรตีนนมเพิ่มขึ้น 5% (Robinson et al.,1995) แร่ธาตุปลีกย่อย (trace minerals) ได้แก่ Zinc, copper, manganese และ selenium มีความสำคัญทางด้าน physiological ของสัตว์เป็นอย่างมาก เช่นการพัฒนาของระบบภูมิคุ้มกัน (immune) การพัฒนาของเนื้อเยื่อและกระดูก ความสมบูรณ์พันธุ์ และการป้องกัน against oxidative ในโคเนื้อ การขาดแร่ธาตุจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตลดต่ำลง ยิ่งไปกว่านั้นอาจทำให้สัตว์ถึงแก่ชีวิตได้ โดยส่วนใหญ่แล้วจะมีการเสริมแร่ธาตุอนินทรีย์ (inorganic) หรือแร่ธาตุอินทรีย์ (organic) ในอาหาร แร่ธาตุอนินทรีย์ที่เสริมในอาหารนั้นจะอยู่ในรูปของ ซัลเฟต (sulfates) และ ออกไซด์ (oxide) ซึ่งจะมีการดูดซึมเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ที่ต่ำกว่าแร่ธาตุอินทรีย์ การให้แร่ธาตุอินทรีย์นั้นจะแสดงให้เห็นถึงการดูดซึมเข้าสู่กล้ามเนื้อที่เพิ่มขึ้น และลดการขับออก การใช้แร่ธาตุอินทรีย์ในอาหารสัตว์จะสามารถปรับปรุงด้าน physiological และ biological ให้ดีขึ้น MINTREX® organic trace minerals (zinc, copper or manganese, each chelated in a 2: 1 stoichiometry by the methionine hydroxyl analogue) จะมีผลต่อการปรับปรุงระบบภูมิคุ้มกัน (immune) ปรับปรุงการพัฒนาของเนื้อเยื่อและกระดูก เพิ่มความแข็งแรงให้แก่สัตว์ ทำให้โครงสร้างเต้านมของโคนมมีความแข็งแรง และทำให้โคมีสุขภาพที่ดี อัตราการตายลดต่ำลง และสามารถปรับปรุงคุณภาพซากให้ดีขึ้น ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ร่วมกับ MINTREX® ในอาหารโคนมต่อประสิทธิภาพการผลิตของโคนมในช่วงระยะของการให้นม

4.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของการเสริม rumen-protected methionine ร่วมกับแร่ธาตุอินทรีย์ต่อผลผลิตโคนมและป้องกันการเกิดอาการโรคเต้านมอักเสบ

4.3 อุปกรณ์และวิธีการ

4.3.1 การจัดการสัตว์ทดลองและการให้อาหาร

การจัดการสัตว์ทดลอง

โคนมที่ใช้ในการทดลองเป็นโคนมพันธุ์ลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเชียน (Cross Breed Holstein Friesian) จำนวน 24 ตัว จำนวนวันการให้นมเฉลี่ย 38.8±5.9 วัน(mean ± SD) ปริมาณน้ำนมเฉลี่ย 16.6±1.13 กิโลกรัม/วัน น้ำหนักเฉลี่ย 402±16 กิโลกรัม ทำการจัดสัตว์เข้างานทดลองโดยปรับสมดุลในแต่ละกลุ่มการทดลองด้วยจำนวนวันที่ให้นม ปริมาณน้ำนม และน้ำหนักเริ่มต้น โดยทำการแบ่งโคออกเป็น 2 กลุ่มการทดลอง ในแต่ละกลุ่มการทดลองจะมีโคกลุ่มละ 12 ตัว การทดลองจะใช้เวลาทั้งหมด 16 สัปดาห์ ใช้เวลาในการปรับตัวสัตว์ก่อนการทดลอง 2 สัปดาห์ และอีก 14 สัปดาห์เป็นช่วงของการทดลอง จัดให้โคแต่ละตัวกินอาหารตามกลุ่มทดลองดังนี้

กลุ่มควบคุม ได้รับอาหารข้นตามปกติ (ไม่เสริม Met hydroxy analog (MHA®) กับ MINTREX® Dairy (Novus International Inc.,USA)

กลุ่มทดลอง ได้รับอาหารข้นและ Met hydroxyl analog (MHA®) 22 กรัม/ตัว/วัน ร่วมกับ MINTREX® Dairy (Novus International Inc.,USA) 14 กรัม/ตัว/วัน

อาหารข้น (Concentrate) ชนิดเม็ด (Pellet) มีคุณค่าทางโภชนะตามความต้องการของโคนมในระยะให้นม (NRC, 2001) โปรตีน 21% ซึ่งโคจะได้รับอาหารข้นตามสัดส่วนของปริมาณน้ำนมต่ออาหารข้น (2:1) ซึ่งจะได้รับอาหารข้นวันละ 2 ครั้งต่อวัน ในเวลา 05.00 น.และ 15.00 น. อาหารหยาบ (Roughage) ที่ใช้ในการทดลองคือ หญ้าสดให้กินตลอด (ad lib) และมีน้ำดื่มสะอาดใส่อ่างให้โคกินตลอดเวลา

ตารางที่ 4.1 แสดงลักษณะที่ใช้ในการจัดกลุ่มโคก่อนการทดลอง

Parameter	Control	MHA® plus MINTREX®
Milk yield, Kg/d	15.8 $\pm$ 3.7	16.6 $\pm$ 4.0
DIM, day	37.8 $\pm$ 17.6	39.9 $\pm$ 23.7

หมายเหตุ: DIM = day in milk**;** (Mean $\pm$ SD)

4.3.2 วิธีการทดลองและเก็บข้อมูล

ทำการจัดกลุ่มโคสาวที่อยู่ในช่วงแรกของการให้นมจำนวน 24 ตัว ออกเป็น 2 กลุ่มทดลอง นำโคเข้าทดลองโดยได้รับอาหารข้นสูตรปกติ (ไม่เสริม) และกลุ่มทดลองที่ได้รับอาหารข้นเสริม calcium salt of HMTBa (2-hydroxy-4methylthio butanoic acid), MHA® 22 กรัมต่อวัน ร่วมกับ MINTREX® Dairy (Novus International Inc., USA) 14 กรัมต่อวัน ซึ่ง MINTREX® Dairy

(Novus International Inc., USA) จะประกอบไปด้วย Zn 320 มิลลิกรัม (as Zn methionine hydroxy analogue complex), Cu 150 มิลลิกรัม (as Cu methionine hydroxy analogue complex), Mn 130 มิลลิกรัม (as Mn methionine hydroxy analogue complex), Se 3.75 มิลลิกรัม (as Se yeast), Biotin 20 มิลลิกรัม และ methionine activity (as HMTBa) 3.2 กรัม ทำการรีดนม 2 ครั้งต่อวัน ในเวลา 05.00 น. และเวลา 15.30 ระหว่างการทดลองมีการเก็บบันทึกข้อมูล ดังนี้

4.3.2.1 การกินได้

การวัดปริมาณการกินได้ทุกช่วง 7 วัน ช่วงละ 2 ครั้ง โดยเก็บตัวอย่างอาหารแต่ละชนิด (อาหารข้นกลุ่มควบคุม, อาหารข้นกลุ่มทดลอง และอาหารหยาบหญ้าสด) ประมาณ 10% ชั่งและบันทึกน้ำหนักของอาหารแต่ละชนิดก่อนให้โคกิน เมื่อครบ 1 วัน ตักอาหารที่เหลือออก ชั่งและบันทึกน้ำหนักอาหารหลังกิน สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารหลังกินรายตัว 10% นำไปอบไล่ความชื้นในตู้อบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อหาน้ำหนักวัตถุแห้งของตัวอย่างอาหาร (Dry matter, DM) จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีแบบประมาณ (Proximate analysis) (AOAC, 1990) ซึ่งวิเคราะห์วัตถุแห้งโดยเครื่อง Hot air oven โปรตีนหยาบ (Crude protein, CP) โดยเครื่อง Kjeltec auto analyzer ไขมัน (Ether extract) โดยเครื่อง Soxhlet auto analyzer เยื่อใยหยาบ (Crude fiber, CF) โดยเครื่อง Fibertec auto analyser และเถ้า (Ash) โดยการเผาที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ส่วนการวิเคราะห์ Detergent analysis (Goering and VanSoest, 1970) ได้แก่ เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกลาง (Neutral detergent fiber, NDF) เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกรด (Acid detergent fiber, ADF) และAcid detergent lignin, ADL โดยเครื่อง Fibertec auto analyser

4.3.2.2 น้ำหนักตัว

ทำการชั่งน้ำหนักตัวก่อนและหลังการทดลองโคทั้ง 2 กลุ่มทดลองหลังจากทำการรีดนมช่วงเช้าก่อนการให้อาหาร โดยชั่งน้ำหนักโครายตัวด้วยเครื่องชั่ง จากนั้นนำน้ำหนักโคทั้งก่อนและหลังการทดลองไปคำนวณหาอัตราการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวเฉลี่ยต่อวัน (Body Weight Change, BWC)

4.3.2.3 ผลผลิตและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม

ทำการชั่งบันทึกปริมาณผลผลิตน้ำนมดิบรายตัวทุกวันตลอดการทดลอง และสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำนมดิบรายตัวทุก ๆ 7 วัน (เก็บ 2 วันติดต่อกัน) โดยจะแบ่งเป็นนมช่วงเย็นและช่วงเช้าในเวลา 15.00 และ 05.00 นาฬิกา ตามลำดับ เพื่อจะนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม ได้แก่ ไขมันนม โปรตีนนม แล็คโตส ของแข็งพร่องในไขมัน (Solid not fat) และของแข็งรวมในนม (Total solid) โดยเครื่อง Milkoscan S50

4.3.2.4. วัดค่า Somatic cell count ในน้ำนม

ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำนมดิบรายตัวในสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง โดยเก็บตัวอย่างใส่ในขวดสีชา แล้วนำตัวอย่างน้ำนมดิบไปตรวจค่าโซมาติกเซลล์ด้วยเครื่อง Fossomatic 5000 basic

4.4 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลที่บันทึกจากการทดลองได้แก่ การกินได้ของวัตถุแห้ง น้ำหนักตัวและการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว ผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม จำนวนเซลล์เม็ดเลือดขาวในน้ำนม (SCC) ข้อมูลทั้งหมดจะถูกนำเข้าประมวลผลและวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยวิธี T-test และวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS (SAS, 1996)

4.5 สถานที่ทำการทดลอง

อาคารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 3

องค์การส่งเสริมกิจการโคนมแห่งประเทศไทย (อ.ส.ค.)

4.6 ระยะเวลาในการทดลอง

เริ่มการทดลองตั้งแต่วันที่ 4 มิถุนายน 2552 ถึงวันที่ 14 กันยายน 2552

4.7 ผลการทดลอง

4.7.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารข้นและหญ้าสดที่ใช้ในการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.2 โดยโคนมทั้งสองกลุ่มการทดลองจะได้รับอาหารข้นที่มีคุณค่าทางโภชนะเหมือนกัน ซึ่งได้แก่ วัตถุแห้งมีค่าเท่ากับ 92.10% โปรตีนมีค่าเท่ากับ 19.90%ไขมันมีค่าเท่ากับ 4.06% เถ้ามีค่าเท่ากับ 6.40% เยื่อใยมีค่าเท่ากับ 9.12% NFC มีค่าเท่ากับ 40.58% NDF มีค่าเท่ากับ 35.10% ADF มีค่าเท่ากับ 19.10% ADL มีค่าเท่ากับ 4.56% NDIN มีค่าเท่ากับ 1.10% NDINCP มีค่าเท่ากับ 6.87% ADIN มีค่าเท่ากับ 0.39% และ ADINCP มีค่าเท่ากับ 2.43%

สำหรับอาหารหยาบคือหญ้าสด พบว่า วัตถุแห้งมีค่าเท่ากับ 32.5% โปรตีนมีค่าเท่ากับ 6.10% ไขมันมีค่าเท่ากับ 2.30% เถ้ามีค่าเท่ากับ 9.50% เยื่อใยมีค่าเท่ากับ 34.99% NFC มีค่าเท่ากับ 16.76% NDF มีค่าเท่ากับ 67.20% ADF มีค่าเท่ากับ 47.70% ADL มีค่าเท่ากับ 4.98% NDIN มีค่า

เท่ากับ 0.35% NDINCP มีค่าเท่ากับ 2.22% ADIN มีค่าเท่ากับ 0.22% และ ADINCP มีค่าเท่ากับ 1.41%

เมื่อนำค่าองค์ประกอบทางเคมีของอาหารข้นและหญ้าสดมาคำนวณหาค่าโภชนะของการย่อยได้ทั้งหมด (TDN) พลังงานย่อยได้ (DE) พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (ME) และพลังงานสุทธิ (NE) ตามสมการ NRC (2001) ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ค่าโภชนะของการย่อยได้ทั้งหมดของอาหารข้นและหญ้าสด มีค่าเท่ากับ 66.31% และ 52.61% ตามลำดับ เช่นเดียวกับพลังงานย่อยได้ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.11 และ 2.46 Mcal/kgDM ตามลำดับ ส่วนพลังงานใช้ประโยชน์ได้ มีค่าเท่ากับ 2.70 และ 2.03 Mcal/kgDM ตามลำดับ และพลังงานสุทธิ มีค่าเท่ากับ 1.71 และ 1.24 Mcal/kgDM ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารข้นสำเร็จรูป และหญ้าสด

Composition	Concentrate	Fresh cut grass
Dry matter	**92.1**	**32.5**
	……%Dry matter……	
Crude protein	19.90	6.10
Crude fat	4.06	2.30
Ash	6.40	9.50
Crude fiber	9.12	34.99
Non fiber carbohydrate	40.58	16.76
Neutral detergent fiber	35.10	67.20
Acid detergent fiber	9.10	47.70
Acid detergent lignin	4.56	4.98
Neutral detergent insoluble nitrogen	1.10	0.35
Neutral detergent insoluble crude protein	6.87	2.22
Acid detergent insoluble nitrogen	0.39	0.22
Acid detergent insoluble crude protein	2.43	1.41

ตารางที่ 4.3 คุณค่าทางพลังงานในสูตรอาหารข้นสำเร็จรูป และหญ้าสด

	Concentrate	**Fresh cut grass**
TDN_{1X} (%)[1]	66.31	52.61
DE_P (Mcal/kg)[2]	3.11	2.46
ME_P (Mcal/kg)[3]	2.70	2.03
NE_{LP} (Mcal/kg)[4]	1.71	1.24

หมายเหตุ :

[1] TDN_{1x}(%) = tdNFC + tdCP = (tdFA x 25.25) + tdNDF – 7)

DE_{1x} = ((tdNFC/100) x 4.2) + ((tdNDF/100) x 4.2) x ((tdCP/100) x 5.6 + ((FA/100) x 9.4) – 0.3

[2] DE_P (Mcal/kg) = (((TDN$_{1x}$ – ((0.18 x TDN$_{1x}$) – 10.3)) x Intake)/ TDN$_{1x}$) x DE_{1x}

[3] ME_P (Mcal/kg) = (1.01 x (DE_p) – 0.45) + (0.0046 x (EE-3))

[4] NE_{LP} (Mcal/kg) = (0.703 x ME_P) – 0.19 , (EE>3%)

[4] NE_{LP} (Mcal/kg) = (0.703 x ME_P) – 0.19) + ((0.097 x ME_P)/97) x (EE-30), (EE>3%)

4.7.2 ปริมาณการกินได้ของโคนม

จากการทดลองปริมาณการกินได้โภชนะของโคนม เมื่อเปรียบเทียบตามกลุ่มการทดลองที่มีการเสริม Met hydroxyl analog (MHA®) ร่วมกับ MINTREX® และกลุ่มควบคุม แสดงดังตารางที่ 4.4 พบว่าปริมาณการกินได้วัตถุแห้งของอาหารข้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.3 กิโลกรัมวัตถุแห้ง/ตัว/วัน ของทั้งสองกลุ่มทดลอง ปริมาณการกินได้วัตถุแห้งของอาหารหยาบมีค่าเท่ากับ 5.2 และ 5.8 กิโลกรัมวัตถุแห้ง/ตัว/วัน ตามลำดับ และปริมาณการกินได้วัตถุแห้งของอาหารรวมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.5 และ 14.1 กิโลกรัมวัตถุแห้ง/ตัว/วัน ตามลำดับ โดยพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ปริมาณการกินได้โปรตีนจากอาหารข้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,652 กรัม/ตัว/วัน ทั้งสองกลุ่มการทดลอง และปริมาณการกินได้ของโปรตีนจากอาหารหยาบ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 317 และ 354 กรัมวัตถุแห้ง/ตัว/วัน ตามลำดับ และปริมาณการกินได้โปรตีนจากอาหารรวมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,969 และ 2,006 กรัมวัตถุแห้ง/ตัว/วัน ตามลำดับ โดยพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ 4.4 ผลของการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ร่วมกับ MINTREX® ต่อปริมาณการกินได้ของโคนม

ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง	Control	MHA® + MINTREX®	SEM	F-value
	……..(kgDM/d)……			
อาหารข้น	8.3	8.3	-	-
อาหารหยาบ	5.2	5.8	0.5	0.35
รวม	13.5	14.1	0.7	0.28
ปริมาณการกินได้โปรตีน	**…….. (g/d) ……**			
อาหารข้น	1,652	1,652	-	-
อาหารหยาบ	317	354	31	0.36
รวม	1,969	2,006	43	0.28

หมายเหตุ : SEM = standard error of the mean

4.7.3 การประมาณค่าพลังงานของโคนมที่ได้รับจากอาหารสูตรทดลอง

การจำแนกพลังงานใช้ประโยชน์เพื่อกิจกรรมต่าง ๆ ของโคนมที่ได้รับการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ร่วมกับ MINTREX® และกลุ่มควบคุม ตามสนมการ NRC (2001) ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.5 พบว่าการกินได้ของพลังงานสุทธิ (NE_L intake) มีค่าเท่ากับ 20.6 และ 21.39 Mcal/วัน ตามลำดับ ส่วนพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (NE_{LM}) มีค่าเท่ากับ 7.25 และ 7.13 Mcal/วัน ตามลำดับ พลังงานสุทธิเพื่อการผลิตน้ำนม (NE_{LL}) มีค่าเท่ากับ 10.75 และ 11.88 Mcal/วัน ตามลำดับ พลังงานสุทธิเพื่อการเพิ่มน้ำหนักตัว (NE_{LG}) มีค่าเท่ากับ 0.16 และ 0.11 Mcal/วัน ตามลำดับ พลังงานสุทธิสะสม (NE_{LR}) มีค่าเท่ากับ 17.83 และ 19.12 Mcal/วัน ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของโคนมมีค่าเท่ากับ 0.88 และ 0.90 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 พลังงานที่โคนมต้องการเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ และที่โคนมได้รับจากอาหาร

	Control	**MHA® + MINTREX®**
	.....……..(Mcal/วัน)…….....	
การกินได้พลังงานสุทธิ (NE_L intake)	20.64	21.39
พลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (NE_{LM})	7.25	7.13
พลังงานสุทธิเพื่อการผลิตน้ำนม (NE_{LL})	10.75	11.88
พลังงานสุทธิเพื่อการเพิ่มน้ำหนักตัว (NE_{LG})	0.16	0.11
พลังงานสุทธิสะสม (NE_{LR})	17.83	19.12
ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Efficiency)	0.88	0.90

หมายเหตุ : SEM = standard error of the mean

Efficiency = NE_{LR}/ NE_L intake

4.7.4 น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง

น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลงของโคนมที่ได้รับการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ร่วมกับ MINTREX® และกลุ่มมควบคุม แสดงไว้ในตารางที่ 4.6 พบว่าน้ำหนักตัวของโคนมก่อนการทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 411 และ 396 กิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนน้ำหนักตัวหลังสิ้นสุดการทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 404 และ 400 กิโลกรัม ตามลำดับ และน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลงของโคนมกลุ่มควบคุมนั้น มีค่าลดต่ำ 65 กรัม/วัน ส่วนกลุ่มที่ได้รับการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ร่วมกับ MINTREX® มีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นวันละ 42 กรัม/วัน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4.6 ผลของการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ร่วมกับ MINTREX® ต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว

น้ำหนักตัว (กิโลกรัม)	**Control**	**MHA® + MINTREX®**	**SEM**	**F-value**
ก่อนการทดลอง	411	396	-	-
หลังการทดลอง	404	400	17	0.87
น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง (กรัม/วัน)	-65	42	50	0.15

หมายเหตุ: SEM = standard error of the mean

4.7.5 ปริมาณน้ำนมและปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม

ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม แสดงดังตารางที่ 4.7 พบว่าโคนมกลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ได้รับการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ร่วมกับ MINTREX® มีผลผลิตน้ำนมเท่ากับ 15.4 และ 17.3 กิโลกรัม/วัน ตามมลำดับ ปริมาณน้ำนมปรับไขมัน 3.5% เท่ากับ 15.7 และ 17.4 กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ ปริมาณไขมันนมเท่ากับ 556 และ 611 กรัม/วัน ตามลำดับ ปริมาณโปรตีนนมเท่ากับ 451 และ 502 กรัม/วัน ตามลำดับ ปริมาณแล็คโตสเท่ากับ 790 และ 877 กรัม/วัน ตามลำดับ ปริมาณของแข็งพร่องไขมันเท่ากับ 1,317 และ 1,455 กรัม/วัน ตามลำดับ และปริมาณของแข็งรวมในนมเท่ากับ 1,863 และ 2,064 กรัม/วัน ตามลำดับ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

เปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบน้ำนมแสดงไว้ในตารางที่ 4.8 พบว่าไขมันนมมีค่าเท่ากับ 3.61 และ 3.53% ตามลำดับ โปรตีนนมมีค่าเท่ากับ 2.93 และ 2.90% ตามลำดับ แล็คโตสมีค่าเท่ากับ 5.13 และ 5.07% ตามลำดับ ของแข็งพร่องไขมัน (solid not fat) มีค่าเท่ากับ 8.55 และ 8.41% ตามลำดับ ของแข็งในน้ำนม (total solid) มีค่าเท่ากับ 12.10 และ 11.93% ตามลำดับ ซึ่งพบว่าเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ผลของจำนวนเซลล์เม็ดเลือดขาวในน้ำนม (somatic cell count) แสดงดังตารางที่ 4.8 พบว่าโคนมกลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ได้รับการเสริม Met hydroxyl analog (MHA®) ร่วมกับ MINTREX® มีจำนวนเซลล์เม็ดเลือดขาวเท่ากับ 668,000 และ 345,000 เซลล์/มิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ 4.7 ผลของการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ร่วมกับ MINTREX®ต่อปริมาณผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมในโคนม

ปริมาณน้ำนม	Control	MHA® + MINTREX®	SEM	F-value
	..... (kg/day)			
ปริมาณน้ำนม	15.4	17.3	1.1	0.26
ปริมาณน้ำนมปรับไขมัน 3.5%	15.7	17.4	1.1	0.23
องค์ประกอบของน้ำนม	**..... (g/day) .....**			
ปริมาณไขมันนม	556	611	43	0.35
โปรตีนนม	451	502	31	0.25
ปริมาณแล็คโตส	790	877	55	0.25
ปริมาณของแข็งพร่องไขมัน	1,317	1,455	90	0.28
ปริมาณของแข็งรวมในนม	1,863	2,064	135	0.29

หมายเหตุ : SEM = standard error of the mean

ตารางที่ 4.8 ผลของการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ร่วมกับ MINTREX®ต่อองค์ประกอบของน้ำนมในโคนมและจำนวนเซลล์เม็ดเลือดขาว

เปอร์เซ็นต์องค์ประกอบของน้ำนม	Control	MHA® + MINTREX®	SEM	F-value
	..... (%)			
ไขมันนม	3.61	3.53	0.07	0.48
โปรตีนนม	2.93	2.90	0.04	0.59
แล๊คโตส	5.13	5.07	0.06	0.58
ของแข็งพร่องไขมัน	8.55	8.41	0.11	0.38
ของแข็งรวมในนม	12.10	11.93	0.14	0.41
SCC, ($\times 10^3$/ml)	668	345	471	0.38

หมายเหตุ : SEM = standard error of the mean

4.8 วิจารณ์ผลการทดลอง

4.8.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของอาหารสัตว์ทดลอง พบว่ามีค่าที่ใกล้เคียงกับการรายงานของ NRC (2001); Suksombat and Chullanandana (2008) ซึ่งอาหารข้นมีโปรตีนเท่ากับ 19.90% ไขมันมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.06% อยู่ในช่วงระดับที่ NRC (2001) แนะนำไว้คือ ที่ระดับ 3% แต่ไม่สูงเกิน 5% ซึ่งเป็นระดับที่ไม่ส่งผลกระทบต่อการย่อยเซลลูโลสในกระเพาะหมัก Church (1979) อ้างโดย เมธา วรรณพัฒน์ (2533) ส่วนเยื่อใยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.12 พบว่ามีค่าต่ำกว่า ชุติมา อิ่มสันเทียะ (2544), เพลิน เมินกระโทก (2545) และพิมลทิพย์ จันทร์พานิชเจริญ (2546) ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์เยื่อใยในอาหารข้น เท่ากับ 11.46, 10.30 และ 11.38% ตามลำดับ ทั้งนี้ชนิดและสัดส่วนของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตอาหารข้นเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อปริมาณเยื่อใย สำหรับ NFC มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 40.58% เป็นค่าที่อยู่ในช่วงของ NRC (2001) แนะนำไว้คือ 36-44% ซึ่งเป็นระดับที่เหมาะสมสำหรับโคนมที่ให้ผลผลิตน้ำนม NDF มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 35.10% พบว่ามีค่าที่สูงกว่าระดับที่ NRC (2001) แนะนำระดับ NDF ต่ำสุดในอาหารที่ 25-33% ADF มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.10% พบว่ามีค่าที่สูงกว่าระดับที่ NRC (2001) แนะนำคือ 17-21% ในสูตรอาหาร NDIN มีค่าเท่ากับ 1.10% ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ ชิดชนก นวลฉิมพลี (2548) ที่รายงานไว้ที่ระดับ 1.19% และ ADIN มีค่าเท่ากับ 0.39% ซึ่งต่ำกว่ารายงานของ ณัฐนิตย์ ป่วนปาน (2550) ที่รายงานไว้ที่ระดับ 0.82% (NDICP มีค่าเท่ากับ 6.87% และ ADICP มีค่าเท่ากับ 2.43%)

เมื่อนำผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีไปคำนวณหาค่าพลังงานประเภทต่าง ๆ ตามสมการของ NRC (2001) พบว่าอาหารข้นและหญ้าสดมีพลังงานในรูปของโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (Total digestible nutrient, TDN_{1X}) เท่ากับ 66.31 และ 52.61% ทั้งนี้ค่า TDN_{1X} จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของอาหาร ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของอาหารนั้นก็ขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของการเก็บเกี่ยววัตถุดิบที่นำมาประกอบในสูตรอาหารข้น และหญ้าสดที่นำมาให้โคกิน แต่อย่างไรก็ตาม โคนมทั้งสองกลุ่มการทดลองจะได้รับอาหารในปริมาณที่เท่ากันตลอดการทดลอง

4.8.2 ปริมาณการกินได้ของโคนม

ปริมาณการกินได้ของโคนมถือได้ว่าเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการผลิต ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับการได้รับโภชนะในอาหาร จากการทดลองวัดการกินได้พบว่าปริมาณการกินได้วัตถุแห้งทั้งอาหารข้นและอาหารหยาบของทั้งสองกลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Schwab, Bozak, Whitehouse, and Mesbah (1992); Vanhatalo, Huhtanen, Toivonen, and Varvikko (1999); Trináctý et al. (2006) ที่ได้ทำการเสริม RPMet ในอาหารโคนมพบว่าการเพิ่มขึ้นของการกินได้ของวัตถุแห้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และในงานทดลองของ DeFrain, Socha, Tomlinson, and Kluth (2009) ได้ทำการเสริม

Complexed trace minerals (Zn, Mn, Cu และ Co) พบว่าไม่มีผลต่อการกินได้ของวัตถุแห้ง ซึ่งในการทดลองครั้งนี้จะเห็นได้ว่าโคนมทั้งสองกลุ่มการทดลองมีการกินได้วัตถุแห้งและโปรตีนของอาหารข้นในปริมาณที่เท่ากัน ซึ่งพบว่าในอาหารข้นมีโปรตีนและพลังงานในรูปของโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (Total digestible nutrient, TDN_{1X}) สูงกว่าอาหารหยาบมาก ดังนั้นการกินได้ของอาหารหยาบจึงเป็นตัวแปรที่สำคัญในการได้รับโปรตีนและพลังงานสุทธิ ซึ่งจากการทดลองครั้งนี้พบว่าการกินได้วัตถุแห้งของอาหารหยาบของโคทั้งสองกลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน จึงส่งผลให้การได้รับโปรตีนและพลังงานสุทธิไม่แตกต่างกัน

4.8.3 การประมาณค่าพลังงานของโคนมที่ได้รับจากอาหารสูตรทดลอง

การจำแนกพลังงานใช้ประโยชน์เพื่อกิจกรรมต่าง ๆ ของโคนมทั้ง 2 กลุ่มการทดลอง พบว่าการกินได้ของพลังงานสุทธิ (NE_L intake) มีค่าเท่ากับ 20.6 และ 21.39 Mcal/วัน ส่วนพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (NE_{LM}) มีค่าเท่ากับ 7.25 และ 7.13 Mcal/วัน พลังงานสุทธิเพื่อการผลิตน้ำนม (NE_{LL}) มีค่าเท่ากับ 10.75 และ 11.88 Mcal/วัน พลังงานสุทธิเพื่อการเพิ่มน้ำหนักตัว (NE_{LG}) มีค่าเท่ากับ 0.16 และ 0.11 Mcal/วัน พลังงานสุทธิสะสม (NE_{LR}) มีค่าเท่ากับ 17.83 และ 19.12 Mcal/วัน และประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของโคนมมีค่าเท่ากับ 0.88 และ 0.90 Mcal/วัน จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานจากทั้ง 2 กลุ่มการทดลองสูญเสียไปเท่ากับ 0.12 และ 0.10 Mcal/วัน ตามลำดับ ซึ่งพลังงานที่สูญเสียไปนั้นจะสูญเสียออกไปในรูปของมูล, ปัสสาวะ, แก๊สจากการหมักย่อย และความร้อน

4.8.4 น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง

การเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ร่วมกับ MINTREX® พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ของน้ำหนักตัวหลังการทดลองและการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว (Body weight change, BWC) ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากการกินได้ของอาหารข้นและอาหารหยาบของโคนมทั้งสองกลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน จึงส่งผลให้น้ำหนักตัวของโคนมหรือการเจริญเติบโตของโคนมไม่มีความแตกต่างกันตามไปด้วย

4.8.5 ปริมาณน้ำนมและปริมาณองค์ประกอบของน้ำนม

การทดลองครั้งนี้ไม่พบความแตกต่างของปริมาณน้ำนม ปริมาณไขมันนม ปริมาณโปรตีนนม ปริมาณแล็คโต๊ส ปริมาณของแข็งพร่องไขมัน และปริมาณของแข็งรวมในน้ำนม ของโคทั้งสองกลุ่มการทดลอง (ตารางที่ 4.7) และการเสริม MHA® ร่วมกับ MINTREX® ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบน้ำนม (ตารางที่ 4.8) ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Schwab, Bozak, Whitehouse, and Mesbah (1992) ที่ได้ทำการเสริมเสริม Met และ Lys เช่นเดียวกับงานทดลองของ Rulquin, Pisulewski, Ve´rite, and Guinard (1993) พบว่าการเสริม Met ไม่มีผลต่อปริมาณน้ำนม ตรงข้ามกับงานวิจัยอื่น ๆ ที่พบว่าพบว่าอาหารที่มีการเสริม methionine analog [a-hydroxy-7-

(methylmercapto) butyratecalcium] จะทำให้ผลผลิตน้ำนมและปริมาณไขมันนมเพิ่มขึ้น (Polan, Chandler, and Miller, 1970) หรือเพิ่มเปอร์เซ็นต์ไขมันนม (Bhargava, Otterby, Murphy, and Donker, 1977) แต่อย่างไรก็ตาม analog นั้นไม่ได้ไปปรับปรุงผลผลิตน้ำนม (Stokes, Clark, and Steinmetz, 1981) Lundquist, Bhargava, Linn, and Otterby (1982) ได้รายงานถึงผลของการเสริม methionine หรือ methionine hydroxyl analog ในอาหารโคนมช่วงระยะแรกของการให้นมพบว่าปริมาณน้ำนมปรับไขมัน 4% มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น ซึ่งการเสริม MHA® ร่วมกับ MINTREX® ไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตของโคนมในการทดลองครั้งนี้นั้น อาจจะมาจากหลายสาเหตุ คือ โคนมมีการกินได้ของวัตถุแห้งที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและโคนมที่เลี้ยงในประเทศไทยส่วนใหญ่แล้วให้ผลผลิตน้ำนมในระดับปานกลาง ส่วนในต่างประเทศที่พบว่าการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) มีผลต่อประสิทธิภาพในการผลิตของโคนมนั้น อาจจะเป็นผลอันเนื่องมาจากโคนมในต่างประเทศเป็นโคนมที่ให้ผลผลิตที่สูง ดังนั้นจึงทำให้การเสริม Met hydroxyl analog (MHA®) ร่วมกับ MINTREX® ในประเทศไทยไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตของโคนม ซึ่งในอดีตมีการรายงานไว้ว่าเมื่อให้อาหารที่มีโปรตีนสูงหรือฉีดกรดอะมิโนเข้าไปในกระเพาะจริงของโคนมในช่วงของการให้นมจะมีผลทำให้ผลผลิตน้ำนมและโปรตีนนมเพิ่มสูงขึ้น (Clark, 1975; Spires, Clark, Derrig, and Davis, 1975) Kaufmann and Lupping (1979) ได้ศึกษาผลของการเสริม hydroxymethylmethionine-calcium ในอาหารโคนมช่วงระยะของการให้นมพบว่ามีผลทำให้ ผลผลิตน้ำนมและโปรตีนนมเพิ่มขึ้น ในยุโรปมีการรายงานผลการวิจัยว่า methionine ที่ทำการเคลือบไขมันจะมีผลต่อการยับยั้งการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก และมีผลตอบสนองต่อผลผลิตน้ำนม (Kaufmann and Lupping, 1982)

เมื่อเร็ว ๆ นี้ได้มีการรายงานถึงผลในการศึกษาของ Zieminski, Korniewicz, Kinal, Tomaszewski, and Lenarska (2002); Kinal, Korniewicz, Jamroz, Zieminski, and Slupczynska (2005) กล่าวไว้ว่าโคนมที่ให้ผลผลิตน้ำนมเฉลี่ย 6,500 กิโลกรัม หรือโคนมที่ให้ผลผลิตน้ำนมเพิ่มสูงขึ้น 30% โคนมจะมีความต้องการ Zn, Cu, และ Mn รวมไปถึงกรดอะมิโนอื่น ๆ และในงานวิจัยของ Strusinska, Mierzejewska and Skok (2004) และ Iwanska, Strusinska, and Zalewski (1999) กล่าวไว้ว่าพบความแตกต่างในการปรับปรุงองค์ประกอบของน้ำนมเมื่อใช้กรดอะมิโนและแร่ธาตุอินทรีย์ ได้แก่ Zn, Cu, และ Mn เสริมในอาหารโคนม ซึ่งการทดลองในครั้งนี้พบว่าการเสริม MHA® ร่วมกับ MINTREX® ในอาหารโคนมไม่มีผลต่อผลผลิตน้ำนมและปริมาณของเซลล์เม็ดเลือดขาวในน้ำนม ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Campbell, Miller, and Schrich (1999) และ Rajcevic and Potocnik (2003) พบว่าไม่ให้ผลไปในทิศทางบวกของผลผลิตน้ำนม และองค์ประกอบของน้ำนมเมื่อทำการเสริม Zn, Cu, และ Mn แต่ตรงข้ามกับงานทดลองของ Strusinska et al. (2004), Zieminski et al. (2002) and Kinal et al. (2005) ได้พิสูจน์ให้เห็นถึงผลของการใช้ กรดอะมิโนและคีเลท

ในอาหารโคนม พบว่ามีผลทำให้เซลล์เม็ดเลือดขาวลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในการทดลองครั้งนี้ไม่พบความแตกต่างของปริมาณเซลล์เม็ดเลือดขาวอาจเป็นผลเนื่องมาจาก สัตว์ที่ใช้ในการทดลองไม่เพียงพอจึงมีผลทำให้ไม่พบความแตกต่างแม้ว่าความแตกต่างนั้นจะมีอยู่จริง ซึ่งจะเห็นได้ว่า การทดลองในต่างประเทศในหลาย ๆ การทดลองมีสัตว์ที่นำมาใช้ในการทดลองจำนวนมาก เช่น ในการทดลองของ Ballantine et al. (2002) ใช้สัตว์ในการทดลอง 300 ตัว หรือในงานทดลองของ Toni, Grigoletto, Rapp, Socha, and Tomlinson (2007) ที่ใช้สัตว์ทดลอง 180 ตัว และในงานทดลองของ Pechova, Pavlata, and Lokajova (2006) ใช้สัตว์จำนวน 500 ตัว เป็นต้น อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้มีสัตว์ที่สามารถนำมาใช้ในการทดลองได้เพียง 24 ตัว เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านทรัพยากร ดังนั้นในอนาคต หากมีการทดลองในงานลักษณะนี้ควรมีการเพิ่มจำนวนสัตว์ที่ใช้ในการทดลองเพื่อที่จะทำให้ได้ผลการทดลองที่ถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

Spain (1993) แนะนำไว้ว่า organic Zn จะเป็นประโยชน์ในการต่อต้านโรคเต้านมอักเสบ เพราะ Zn จะไปทำให้โครงสร้างของเต้ามีความแข็งแรง และเป็นตัวกระตุ้นให้มีการสร้าง keratin มาปิดบริเวณรูหัวนม (streak canal) มีการพิสูจน์ให้เห็นว่าจำนวนของเซลล์เม็ดเลือดขาวลดลงเมื่อทำการเสริม mineral proteinates ในอาหารโคนม Harris (1995) ได้รายงานถึงผลของการเสริม Zn proteinase ที่ระดับ 400 มิลลิกรัม/ตัว/วัน ในอาหาร TMR พบว่ามีผลทำให้เซลล์เม็ดเลือดขาวลดลง 24% และกลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริมเซลล์เม็ดเลือดขาวเพิ่มขึ้น 36% Boland, O'Donnell, and O'Callaghan (1996) รายงานว่าพบความแตกต่างของทั้งสามงานทดลองเมื่อทำการเสริม mineral proteinates ในอาหารโคนม ซึ่ง mineral proteinates ประกอบไปด้วย Zn, Cu, และ selenium yeast (Cu, 100 mg; Zn, 300 mg; Se, 2 mg) จากการทดลองทั้งสามงานทดลองพบว่าจำนวนเซลล์เม็ดเลือดขาวลดต่ำลง 52%, 45% และ 35% ในโคนมกลุ่มที่ได้รับ mineral proteinates และในงานทดลองครั้งหลังสุดได้ใช้ระยะเวลาในการทดลอง 4 สัปดาห์ พบว่าจำนวนเซลล์เม็ดเลือดขาวลดลง 52% Boland et al. (1996) แสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงหรือการลดจำนวนเซลล์เม็ดเลือดขาวนั้นควรกระทำอย่างต่อเนื่อง จากการศึกษาทั้งหมดที่ได้ศึกษาถึงผลของการเสริมแร่ธาตุอินทรีย์ต่อเซลล์เม็ดเลือดขาวนั้นจะเป็นประโยชน์ต่อฝูงสัตว์และสุขภาพของเต้านมของโคนม

4.9 สรุปผลการทดลอง

การทดลองเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ร่วมกับ MINTREX® พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ของการกินได้ของวัตถุแห้ง โปรตีนที่ได้รับจากอาหาร นอกจากนี้ผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมและจำนวนเซลล์เม็ดเลือดขาวไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

4.10 รายการอ้างอิง

ชิดชนก นวลฉิมพลี. (2548). ผลการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารต่ออัตราการเจริญเติบโต อัตราการผสมติด ของโคนมระยะโคสาว และการให้ผลผลิตน้ำนมในโคนมระยะกลางการให้นม. **วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.**

ชุติมา อิ่มสันเทียะ. (2544). ผลการเสริมสารโมเนนซินต่อผลผลิตน้ำนมของโคนมในช่วงต้นระยะการให้นมเมื่อเลี้ยงด้วยต้นข้าวโพดหมักช่วง 56 วันแรกและเลี้ยงด้วยฟางข้าวในช่วง 56 วันหลัง.**วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.**

ณัฐนิตย์ ป่วนปาน. (2550). การใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองทดแทนข้าวโพดบดในอาหารโคนม. **วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.**

ธีรพงศ์ ธีรภัทรสกุล. (2542). **การทบทวนเอกสารด้านสุขภาพเต้านมในโคนม โรคเต้านมอักเสบและการควบคุมคุณภาพน้ำนม.** ใน ประมวลสถานภาพองค์ความรู้ด้านสุขภาพโคนม: แนวทางการวิจัยและพัฒนาในอนาคต. กรุง-เทพฯ : สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย.

พิมลทิพย์ จันทร์พานิชเจริญ. (2546). การใช้ต้นอ้อยหมักและต้นอ้อยสดเป็นแหล่งอาหารหยาบสำหรับโคนมในช่วงฤดูแล้ง. **วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.**

เพลิน เมินกระโทก. (2545). การนำใช้ประโยชน์ต้นอ้อยเป็นอาหารสำหรับโคนม. **วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.**

เมธา วรรณพัฒน์. (2533). **โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง.** ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

Association of Official Analytical Chemists. (1990)**. Official Method of Analysis.** Washington D. C. p. 1298.

Ballantine, H. T., Socha, M. T., Tomlinson, D. J., Johnson, A. B., Fielding, A. S., Shearer, J. K., and Van amstel, S. R. (2002). Effects of feeding complexed zinc, manganese, copper, and cobalt to late gestation and lactating dairy cows on claw integrity, reproduction,and lactation performance. Prof. **Anim. Sci.** 18:211-218.

Bhargava, P. K., Otterby, D. E., Murphy, J. M., and Donker, J. D. (1977). Methionine hydroxyl analog in diets for lactating cows. **J. Dairy Sci.** 60: 1594-1604.

Boland, M. P., O'Donnell, G. and O'Callaghan, D. (1996). **The contribution of mineral proteinates to production and reproduction in dairy cattle**. Page 95 in Biotechnology in the Feed Industry. T.P. Lyons and K. Jacques, ed. Nottingham University Press, Nottingham, UK

Campbell, M. H., Miller, J. K., and Schrich, F. N. (1999). Effect of additional cobalt, manganese and zinc on reproduction and milk yield of lactating dairy cows receiving bovine somatotropin**. J Dairy Sci**. 82: 1019-1029.

Clark, J. I. L (1975). Lactational responses to postruminal administration of proteins and amino acids. **J. Dairy Sci**. 58: 1178.

DeFrain, J. M., Socha, M. T., Tomlinson, D. J., and Kluth, D. (2009). Effect of complexed trace minerals on the performance of lactating dairy cows on a commercial dairy. Prof. **Anim. Sci.** 25:709-715.

Garthwaite, B. D., Schwab, C. G., and Sloan, B. K. (1998). **Amino acid nutrition of the** transition **and early lactation cow**. Proc. Cornell Nutr. Conf. pp. 38-50, Ithaca, NY.

Georing, H. K., and Van Soest, P. J. (1970). **Forage Fiber Analysis**. Agricultural Handbook, Agricultural Research Council. Jacket No. 379. Washington, D. C. USDA.

Harris, B. (1995). **The effect of feeding zinc proteinate to lactating dairy cows**. Page 299 inBiotechnology in the Feed Industry. T.P. Lyons and K. Jacques, ed. Nottingham University Press, Nottingham, UK.

Iwanska, S., Strusinska, D., and Zalewski, W. (1999). The use of *Saccharomyces cerevisiae* 1026 used alone or with tannin-mineral premix on biochemical parameters of blood and milk in dairy cows. **Acta Vet Hung**. 47: 53-63.

Kaufmann, V. W. and Lupping, W. (1979). The effect of protected protein and HMM-Ca on milk yield of dairy cows. **J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.** 41: 202-217.

Kaufmann, W. and Lupping, W. (1982). **Protected proteins and protected amino acids for ruminants**. In: Protein Contribution of Feedstuffs for Ruminants: Application to Feed Formulation (Miller, E. L., Pike, I. H. & Van Es, A. J. H., eds.), pp. 36-75, Studies in the Agricultural and Food Sciences, Butterworth Scientific, Washington, DC.

Kinal S., Korniewicz, A., Jamroz, D., Zieminski, R., and Slupczynska, M. (2005). Dietary effects of zinc, copper and manganese chelates and sulphates on dairy cows. **J Food Agric Environ**. 3: 168-172.

Lundquist, R., Bhargava, P. K., Linn, J. G., and Otterby, D. E. (1982). **Methionine hydroxyl analog for lactating dairy cattle.** Proc. 43rd Minnesota Nutr. Conference, pp. 31-45, University of Minnesota Extension Service, Minneapolis, MN.

National Research Council. (2001). **Nutrient requirements of dairy cattle**. National Academy Press, Washington, D.C.

Pechova, A., Pavlata, L., and Lokajova, E. (2006). Zinc Supplementation and Somatic Cell Count in Milk of Dairy Cows. **Acta Vet Brno**. 75: 355-361.

Philpot W. N. (2001). **Increasing profits by improving milk quality and reducing mastitis**. A manuscripfor seminar at Faculty of Veterinary Medicine Chiangmai University. Chiangmai.

Polan, C. E., Chandler, P. T., and Miller, C. N. (1970). Methionine hydroxy analog: varyios levels for lactating cows. **J. Dairy Sci.** 53:607.

Rajcevic, M. and Potocnik, K. (2003). **Influence of some factors on the number of somatic cells in milk**. Proceedings "Krmiva", Croatia, pp.78-84.

Robinson, P. H., Fredeen, A. H., Chalupa, W., Julien, W. E., Sato, H., Fujieda, T., and Suzuki, H. (1995). Ruminally protected lysine and methionine for lactating dairy cows fed a diet designed to meet requirements for microbial and postruminal protein**. J. Dairy Sci**. 78: 582-594.

Rulquin, H., Pisulewski, P. M., Ve´rite, R., and Guinard, J. (1993). Milk production and composition as a function of postruminal lysine and methionine supply: a nutrientresponse approach**. Livest. Prod. Sci**. 37: 69-90.

Schukken, Y. H., Lam T. J., Nielen, M., Hegeveen, H., Barkema, H. W., and Grommers, F. J. (1995). Subclinical mastitis on dairy farms in the Netherlands: epidemiological developments. **Tijdschrift v. Diergen**. 120:208-13.

Schwab, C. G., Satter L. D., and Clay, A. B. (1976). Response of lactating cows to abomasal infusion of amino acids. **J. Dairy Sci**. 59: 1254.

Schwab, C. G., Bozak, C. K., Whitehouse, N. L., and Mesbah, M. M. A. (1992). Amino acid limitation and flow to duodenum at four stages of lactation. 1. Sequence of lysine and methionine limitation. **J. Dairy Sci**. 75: 3486-3502.

Spain, J. (1993). **Tissue integrity: A key defense against mastitis infection: The role of zinc proteinates and a theory for mode of action**. Page 53 in Biotechnology in the Feed Industry. T.P. Lyons, ed. Alltech Technical Publications, Nicholasville, KY.

Spires, H. R., Clark, J. H., Derrig, R. G., and Davis, C. L. (1975). Milk production and nitrogen utilization in response to postruminal infusion of sodium caseinate in lactating cows. **J. Nutr.** 105: 1111-1121.

Stokes, M. R., Clark, J. H., and Steinmetz, L. M. (1981). Performance of lactating dairy cows fed methionine or methionine analog at two concen trations of dietary crude protein**. J. Dairy Sci.** 64: 1686-1694.

Strusinska, D., Mierzejewska, J., and Skok, A. (2004). Concentration of mineral components, β-carotene, vitamins A and E in cow colostrums and milk when using mineral-vitamin supplements. **Medycyna Wet**. 60: 202-206.

Statistical Analysis System. (1996). **SAS User' Guide: Statistics**. NC: SAS Institute.

Steel, R. G. D., and Torrie, J. H. (1980). **Principles and Procedures of Statistics**: a biometeric approach (2nd Ed). McGrowhill: New York.

Suksombat, W. and Chullanandana, K. (2008). Effects of soybean oil or rumen protected conjugated linoleic acid supplementation on accumulation of conjugated linoleic acid in dairy cows' milk. Asian-Aust. **J. Anim. Sci.** 21(9): 1271-1277.

Toni, F., Grigoletto, L., Rapp, C. J., Socha, M. T., and Tomlinson, D. J. (2007). Effect of replacing dietary inorganic forms of zinc, manganese, and copper with complexed sources on lactation and reproductive performance of dairy cows. **J. Anim. Sci.** 23 : 409-416

Trináctý J., Krížová L., Hadrová S., Hanuš O., Janštová B., Vorlová L., and Dracková M., (2006). Effect of rumen-protected supplement with three amino acids on milk yield, composition and fatty acids profile in dairy cows. **J. Anim.Sci.** 15:3-15

Vanhatalo, A., Huhtanen, P., Toivonen, V., and Varvikko, T. (1999). Response of dairy cows fed grass silage diets to abomasal infusions of histidine alone or in combinations with methionine and lysine. **J. Dairy Sci.** 82:2674-2685.

Zieminski R., Korniewicz, A., Kinal, S., Tomaszewski, A., and Lenarska, M. (2002). Effect of Chelates addition on colostrums quality and rearing results. **Chem Agricul**. 3: 319-3

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

จากการศึกษาผลของการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ระดับ 11 และ 22 กรัม/ตัว/วัน และการศึกษาผลของการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ที่ระดับ 22 กรัม/ตัว/วัน ร่วมกับแร่ธาตุอินทรีย์ (MINTREX®) ที่ระดับ 14 กรัม/ตัว/วัน ต่อผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมและเซลล์เม็ดเลือดขาวในน้ำนม รวมถึงการเปลี่ยนแปลงระดับความเป็นกรด-ด่าง ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนและกรดไขมันระเหยได้ (VFAs) ในกระเพาะหมักของโคนม โดยทำการทดลองในโคนมลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชียนช่วงระยะต้นและระยะกลางของการให้นม

1. การเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ระดับ 11 และ 22 กรัม/ตัว/วัน ไม่มีผลต่อผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม ระดับของ pH ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตเจน (NH_3-N) และกรดไขมันระเหยได้ในกระเพาะหมัก (Volatile fatty acids, VFAs) และไม่มีผลต่อความต้องการโปรตีนทั้งหมด ความต้องการ RDP และ RUP รวมไปถึงความต้องการพลังงานเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ ของโคนม อย่างไรก็ตามการเสริม MHA® ที่ระดับ 11 กรัม/ตัว/วัน จะมีผลทำให้สัดส่วนของกรดไขมันในน้ำนม ได้แก่ C4:0, C18:1n9c, C21:0 และ UFA (unsaturated fatty acid) เพิ่มขึ้น ส่วน C18:3n3 และ SFA (saturated fatty acid) ลดต่ำลง และการเสริม MHA® ที่ระดับ 22 กรัม/ตัว/วัน ไม่มีผลต่อ C18:1n9c, C18:3n3, UFA และ SFA แต่มีผลทำให้ C4:0 และ C21:0 เพิ่มสูงขึ้น

2. การเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ที่ระดับ 22 กรัม/ตัว/วัน ร่วมกับแร่ธาตุอินทรีย์ (MINTREX®) ที่ระดับ 14 กรัม/ตัว/วัน ไม่มีผลต่อการกินได้ของวัตถุแห้งอาหารข้น อาหารหยาบ และวัตถุแห้งรวม ซึ่งโคทั้งสองกลุ่มการทดลองได้รับอาหารข้นและอาหารหยาบชนิดเดียวกัน และการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ร่วมกับแร่ธาตุอินทรีย์ (MINTREX®) ไม่มีผลต่อผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม (โปรตีน ไขมัน แล็คโตส ของแข็งรวมในน้ำนม และของแข็งพร่องไขมัน) รวมไปถึงจำนวนเซลล์เม็ดเลือดขาวด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ในการทดลองนี้พบว่าไม่ส่งผลต่อผลผลิตน้ำนม และองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม อาจจะเกิดจากโคนมที่ใช้ในการทดลองได้รับ methionine จากจุลินทรีย์และจากอาหารที่เพียงพออยู่แล้ว รวมไปถึงโคนมที่ใช้ในการทดลองมีผลผลิตน้ำนมที่ต่ำ ซึ่งในกรณีที่โคนมให้ผลผลิตค่อนข้างต่ำ (< 15 กิโลกรัม/ตัว/วัน) เช่นเดียวกันกับที่ใช้ในการทดลองนี้ และถ้าจุดประสงค์ของการเสริมเพื่อเพิ่มผลผลิตน้ำนม หรือองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม ผู้วิจัยมีความเห็นว่ายังไม่ควรเสริม Met hydroxy analog (MHA®) อย่างไรก็ตาม การเสริม MHA®ที่ระดับ 11 กรัม/ตัว/วัน พบว่ามีผลทำให้สัดส่วนของกรดไขมันในน้ำนม ได้แก่ C4:0, C18:1n9c, C21:0 และ UFA (unsaturated fatty acid) เพิ่มขึ้น ส่วน C18:3n3 และ SFA (saturated fatty acid) ลดต่ำลง และการเสริม MHA®ที่ระดับ 22 กรัม/ตัว/วัน ไม่มีผลต่อ C18:1n9c, C18:3n3, UFA และ SFA แต่มีผลทำให้ C4:0 และ C21:0 เพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นถ้าจุดประสงค์ของการเสริมเพื่อต้องการเพิ่ม UFA ควรจะทำการเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ที่ระดับ 11 กรัม/ตัว/วัน และจากการทดลองในครั้งนี้จะเห็นได้ว่า อาหารที่ใช้ในการทดลองนั้นมีโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{req}) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP_{req}) ต่ำกว่าความต้องการของโคนม ซึ่งอาจแก้ปัญหานี้ได้โดยการเพิ่มปริมาณกากถั่วเหลืองในสูตรอาหาร ซึ่งโปรตีนในกากถั่วเหลืองมีคุณสมบัติในการย่อยสลายในกระเพาะหมักค่อนข้างสูง นอกจากนี้การแก้ไขความต้องการโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP_{req}) ให้เพียงพอต่อความต้องการของโคนมสามารถทำได้โดยการใช้วัตถุดิบประเภทที่มีค่าการย่อยสลาย (degradability) ในกระเพาะหมักที่ต่ำ เช่น กากเมล็ดฝ้าย กากถั่วเขียว หรือเมล็ดถั่วเหลืองที่ผ่านความร้อน (heat treat soybean) เป็นต้น รวมไปถึงการใช้โปรตีนไหลผ่านชนิดต่าง ๆ (By-pass protein) โปรตีนชนิดนี้จะถูกย่อยสลายที่กระเพาะจริงและดูดซึมที่ลำไส้เล็ก ดังนั้นในการทำสูตรอาหารโคนมแต่ละครั้งควรคำนึงถึงปริมาณของโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{req}) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP_{req}) ด้วย ซึ่งโปรตีนที่ถูกย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักนั้น ควรจะมีอยู่ในสูตรอาหารประมาณ 60-65% ส่วนโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก ควรมีในสูตรอาหารประมาณ 35-40%

2. การเสริม Met hydroxy analog (MHA®) ร่วมกับแร่ธาตุอินทรีย์ (MINTREX®) ในโคนมช่วงระยะแรกของการให้นมไม่มีผลทำให้ผลผลิตน้ำนม และองค์ประกอบของน้ำนมเพิ่มขึ้น และไม่มีผลต่อจำนวนเซลล์เม็ดเลือดขาวในน้ำนมนั้น น่าจะเป็นผลอันเนื่องมาจากโคนมที่ใช้ในการทดลองมีผลผลิตน้ำนมที่ต่ำ ซึ่งโปรตีนในอาหารอาจจะเพียงพอต่อการสร้างผลผลิตน้ำนม แต่โคนมที่ให้ผลผลิตน้ำนมสูง ๆ แหล่งโปรตีนจากอาหารเพียงอย่างเดียวคงไม่เพียงพอต่อการสร้างผลผลิตน้ำนม ดังนั้น การเสริม Met hydroxy analog (MHA®) มักจะให้ผลไปในทิศทางบวกในโคนมที่ให้

ผลผลิตสูง ส่วนการเสริม MHA® ร่วมกับ MINTREX® ที่ไม่มีผลต่อจำนวนเซลล์เม็ดเลือดขาวในน้ำนมนั้น อาจเป็นผลเนื่องมาจากโคนมบางตัวที่ใช้ในการทดลองเป็นโรคเต้านมอักเสบแบบเรื้อรัง จึงทำให้การเสริม MHA® ร่วมกับ MINTREX® ไม่มีผลต่อจำนวนเซลล์เม็ดเลือดขาว เนื่องจากเซลล์เต้านมถูกทำลายมากจนเกินไป ซึ่งแร่ธาตุอินทรีย์ หรือ MINTREX® จะมีประสิทธิภาพในการป้องกันโรคเต้านมอักเสบ ไม่มีประสิทธิภาพในการรักษาโรคเต้านมอักเสบ เนื่องจาก MINTREX® จะไปช่วยทำให้โครงสร้างหรือสรีระของเต้านมของโคนมมีความแข็งแรง เมื่อเต้านมมีความแข็งแรงแล้วก็จะสามารถลดปัญหาเต้านมอักเสบนี้ได้ ดังนั้นถ้าหากจะนำ MINTREX® ไปใช้เสริมในอาหารโคนม จะต้องทำการรักษาโคนมให้หายจากอาการเต้านมอักเสบเสียก่อน การเสริมแร่ธาตุอินทรีย์ให้กับโคนมจึงจะส่งผลไปในทิศทางบวก

ภาคผนวก ก

การประเมินพลังงานและโปรตีน

1. การคำนวณพลังงานในอาหาร (Energy from feed) (NRC, 2001)

พลังงานจาก NFC

Truly digestible NFC (tdNFC) (อาหาร TMR) = 0.98(100-[NDF_N + CP + EE + Ash]) x PAF
= 0.98(100-[56.12+12.20+3.14+10.29]) x 1
= 17.90%

Truly digestible NFC (tdNFC) (อาหารข้น) = 0.98(100-[NDF_N + CP + EE + Ash]) x PAF
= 0.98(100-[28.23+19.90+4.06+6.40]) x 1
= 40.58%

Truly digestible NFC (tdNFC) (หญ้าสด) = 0.98(100-[NDF_N + CP + EE + Ash]) x PAF
= 0.98(100-[65.00+6.10+2.30+9.50]) x 1
= 16.75%

หมายเหตุ: ค่า PAF มีค่าเท่ากับ 1

พลังงานจากโปรตีน

True digestible CP for Concentrate (tdCPc) (อาหาร TMR) = [1 – (0.4 x (ADICP/CP))] x CP
= [1- (0.4 x (3.29/12.20))] x 12.20
= 10.88%

True digestible CP for Concentrate (tdCPc) (อาหารข้น) = [1 – (0.4 x (ADICP/CP))] x CP
= [1- (0.4 x (2.43/19.90))] x 19.90
= 18.93%

True digestible CP for Concentrate (tdCPc) (หญ้าสด) = [1 – (0.4 x (ADICP/CP))] x CP
= [1- (0.4 x (1.41/6.10))] x 6.10
= 5.64%

พลังงานจากไขมัน

True digestible FA (tdFA) (อาหาร TMR) = EE – 1.0
= 3.14 – 1.0
= 2.14 %

True digestible FA (tdFA) (อาหารข้น) = EE – 1.0
= 4.06 – 1.0
= 3.06 %

True digestible FA (tdFA) (หญ้าสด) = EE – 1.0

= 2.30 – 1.0

= 1.30 %

หมายเหตุ: ถ้า EE<1, FA=0

พลังงานจาก NDF

True digestible NDF (tdNDF)(อาหารTMR)= $0.75x\ (NDF_N - Lignin)\ [1-(Lignin/NDF_N)^{0.667}]$

$= 0.75x\ (56.12-6.04)\ [1-(6.04/56.12)^{0.667})$

= 29.07%

True digestible NDF (tdNDF) (อาหารข้น) = $0.75x\ (NDF_N - Lignin)\ [1-(Lignin/NDF_N)^{0.667}]$

$= 0.75x\ (28.23-4.56)\ [1-(4.56/28.23)^{0.667})$

= 12.49 %

True digestible NDF (tdNDF) (หญ้าสด) = $0.75x\ (NDFN - Lignin)\ [1-(Lignin/NDFN)^{0.667}]$

$= 0.75x\ (65.00-4.98)\ [1-(4.98/65.00)^{0.667})]$

= 36.91%

พลังงานโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด

TDN_{1X} (%) (อาหาร TMR) = tdNFC + tdCP + (tdFA x 2.25) + tdNDF – 7

= 17.90+10.88+ (2.14 x 2.25) + 29.07 – 7

= 50.93%

TDN_{1X} (%) (อาหารข้น) = tdNFC + tdCP + (tdFA x 2.25) + tdNDF – 7

= 40.58+18.93+ (3.06 x 2.25) + 12.49 – 7

= 66.31%

TDN_{1X} (%) (หญ้าสด) = tdNFC + tdCP + (tdFA x 2.25) + tdNDF – 7

= 16.75+5.64+ (1.30 x 2.25) + 36.91– 7

= 52.61%

การประมาณค่า DE ของอาหารที่ระดับดำรงชีพ

DE_{1X} (อาหาร TMR) = [(tdNFC/100) x 4.2] + [(tdNDF/100) x 4.2] + [(tdCP/100) x 5.6] + [(FA/100) x 9.4] –0.3

= [(17.90/100) x 4.2] + [(29.07/100) x 4.2] + [(10.88/100) x 5.6] + [(2.14/100) x 9.4] – 0.3

= 2.48

DE_{1X} (อาหารข้น) = [(tdNFC/100) x 4.2] + [(tdNDF/100) x 4.2] + [(tdCP/100) x 5.6] + [(FA/100) x 9.4] –0.3

= [(40.58/100) x 4.2] + [(12.49/100) x 4.2] + [(18.93/100) x 5.6] + [(3.06/100) x 9.4] – 0.3

= 3.28

DE_{1X} (หญ้าสด) = [(tdNFC/100) x 4.2] + [(tdNDF/100) x 4.2] + [(tdCP/100) x 5.6] + [(FA/100) x 9.4] –0.3

= [(16.75/100) x 4.2] + [(36.91/100) x 4.2] + [(5.64/100) x 5.6] + [(1.03/100) x 9.4] – 0.3

= 2.39

Discount = [TDN_{1X} - ([(0.18 x TDN_{1X}) – 10.3] x Intake)] / TDN_{1X}

Discount (อาหาร TMR) = [50.93-([(0.18 x 50.93) – 10.3] x 2)] /50.93

= 1.05

Discount (อาหารข้น) = [66.31 -([(0.18 x 66.31) – 10.3] x 2)] /66.31

= 0.95

Discount (หญ้าสด) = [52.61 -([(0.18 x 52.61) – 10.3] x 2)] /52.61

= 1.03

DE_P (Mcal/kg) = DE_{1X} x Discount

DE_P (อาหาร TMR) = 2.48 x 1.05

= 2.59 Mcal/kg

DE_P (อาหารข้น) = 3.28 x 0.95

= 3.11 Mcal/kg

DE_P (หญ้าสด) = 2.39 x 1.03

= 2.46 Mcal/kg

ME_P (Mcal/kg) = [(1.01 x DE_P) - 0.45] + [0.0046 x (EE - 3)]

ME_P (อาหาร TMR) = [(1.01x 2.59)-0.45] + [0.0046 x (3.14-3)]

= 2.17 Mcal/kg

ME_P (อาหารข้น) = [(1.01x 3.11)-0.45] + [0.0046 x (4.06-3)]

= 2.70 Mcal/kg

ME_P (หญ้าสด) = [(1.01x2.46)-0.45] + [0.0046 x (2.30-3)]

= 2.03 Mcal/kg

ดังนั้น

NE_{Lp} (Mcal/kg) = [(0.703 x ME_P) – 0.19] + [((0.0097 x ME_P) + 0.19)/97) x (EE - 3)]

NE_{Lp} (อาหาร TMR) = [(0.703 x 2.17) – 0.19] + [((0.0097 x 2.17) + 0.19)/97] x (3.14 - 3)]

= 1.34 Mcal/kg

NE_{Lp} (อาหารข้น) = [(0.703 x 2.70) – 0.19] + [((0.0097 x 2.70) + 0.19)/97] x (4.06 - 3)]

= 1.71 Mcal/kg

NE_{Lp} (หญ้าสด) = [(0.703 x 2.03) – 0.19] + [((0.0097 x 2.03) + 0.19)/97) x (2.30 - 3)]

= 1.24 Mcal/kg

2. การคำนวณความต้องการพลังงาน (Energy Requirement) ของโครีดนม (NRC, 2001) โครีดนมที่ได้รับหญ้าอาหาร TMR (ตัวอย่าง)

โครีดนมมีน้ำหนักเฉลี่ย 401 kgLW ให้นมเฉลี่ยวันละ11.60 kg น้ำนมมีไขมัน 4.22% โปรตีน 2.07% และแล็คโตส 4.2% โครีดนมมีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นวันละ 0.80 กิโลกรัม

NELR = NELM+NELG+NELL

NELM (Mcal/kg) = 0.08 x (Live Weight)$^{0.75}$

= 0.08 x (401)$^{0.75}$

= 7.17 Mcal/day

NELGain (Mcal/kg) = Reserve Energy x (0.64/0.75) x [Loss or Gain (kg/d)]

NELLoss (Mcal/kg = Reserve Energy x 0.82 x [Loss or Gain (kg/d)]

Reserve Energy = (Proportion of empty body fat x 9.4) + (Proportion of empty Body protein x 5.5)

Proportion of empty body fat = 0.037683 x BCS (9)

Proportion of empty body protein = 0.20086 – [0.0066762 x BCS(9)]

BCS (9) = ((Dairy BCS – 1) x 2) + 1

= ((3.5 – 1) x 2) + 1

= 6

Proportion of empty body fat = 0.037683 x 6

= 0.23

Proportion of empty body protein = 0.20086 – (0.0066762 x 6)

= 0.16

Reserve Energy = (0.23 x 9.4) + (0.16 x 5.5)

= 3.04

NELG (Mcal/Kg) = 3.04 x (0.64 /0.75) Mcal/day

= 2.57 x 0.80

= 2.05

NELL(Mcal/kg) = (0.0929 xFat%) + (0.0547 x Protein%) + (0.0395 x Lactose%) x kg of milk

= [(0.0929 x 4.22) + (0.0547 x 2.07) + (0.0395 x 4.20) x 11.60 (kg milk/d)

= 7.79 Mcal/day

NELR **= 7.17 + 2.05+ 7.79**

= **17.01 Mcal/day**

ดังนั้นโครีดนมซึ่งได้รับอาหาร TMR จะมีความต้องการพลังงานในรูปของNE ทั้งหมดเท่ากับ 17.01 Mcal/day

3. ความต้องการโปรตีน (Protein Requirement) ของโครีดนม (NRC, 2001) โครีดนมได้รับอาหาร TMR (ตัวอย่าง)

โครีดนมมีน้ำหนักเฉลี่ย 401 kgLW ให้นมเฉลี่ยวันละ11.60 kg น้ำนมมีไขมัน 4.22% โปรตีน 2.70% และแล็คโตส 4.20% โครีดนมมีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นวันละ 0.80 กิโลกรัม

$\mathbf{MP_R}$ $\mathbf{= MP_M + MP_G + MP_L}$

MP_M (g/d) $= MP_u + MP_{sh} + MP_{MFP}$

MP_u $= UPN/0.67$

UPN (g/d) $= 2.75 \times (\text{Live weight})^{0.5}$

MP_u $= [2.75 \times (401^{-5})]/0.67$

$= 82.19$

MP_{sh} $= SPN/0.67$

SPN $= 0.2 \times (\text{Live weight})^{0.6}$

MP_{sh} $= [0.2 \times (401^{0.6})]/0.67$

$= 10.89$

MP_{MFP} = MFP – (bacteria + bacterial debris in cecum large intestine + keratinized Cell + others)

MFP (g/d) = 30 x Dry matter intake (kg.)

MP_{MFP} = [(DMI (kg) x 30) – 0.50 ((Bact MP/0.8) – Bact MP)] + EndoMP/0.67

เมื่อ Endo MP (g/d) $= 0.4 \times 1.9 \times \text{DMI (kg)} \times 6.25$

$= 0.4 \times 1.9 \times 13.85 \times 6.25$

$= 65.79$

Bact MP(g/d) $= 0.64$ MCP

MCP $= 0.85$ g RDP_{req}

RDP_{req} (อาหาร TMR) $= 0.15294 \times TDN_{Actual}$

$TDN_{Act\ Total}$ (อาหาร TMR) = DMI (kg.) x (%TDN/100) x 1000

RDP_{req} (อาหาร TMR) $= 0.15294 \times (13.85 \times (50.93/1000) \times 1000)$

$= 1078.81$ g/d

MCP $= 0.85 \times 1078.81$

$= 916.99$

MP_{Bact} (g/d) = 916.99 x 0.64

= 586.87

MP_{End} (g/d) = 0.4 x (1.9 x 13.85 x 6.25)

= 65.79

MP_{MFP} (g/d) = [(DMI(kg) x 30) – 0.50((Bact MP/0.8) – Bact MP)]

+ Endo MP/0.67

= [(13.85 x 30) – 0.50((586.87/0.8) –586.87)] + 65.79/0.67

= 440.33

MP_M (g/d) = $MP_u + MP_{sh} + MP_{MFP}$

= 82.19 + 10.89 + 440.33

= 553.41 g/d

PG (g/d) = NPg/EffMP_NPg

NPg (g/d) = SWG x (268 – (29.4 x (RE/SWG)))

SWG = ADG (average daily gain)

= 0.6

โดย RE (Mcal) = $0.0635 \times EQEBW^{0.75} \times EQEBG^{1.097}$

EQEBW = 0.891 x EQSBW

EQSBW = SBW x (478/MSBW)

SBW = Shrunk body weight

= 0.96 x BW

= 0.96 x 401 kgLW

= 384.96 kgLW

MSBW = Mature shrunk body weight

= 500 kgLW (โคนมลูกผสมHolstein friesianในประเทศไทย)

EQSBW = 365.57 x (478/500)

= 349.48 kgLW

EQEBW = 0.891 x 349.48

= 311.38 kgLW

EQEBG = 0.956 x SWG

= 0.956 x 0.8

= 0.76 kgLW

RE (Mcal/d) = $0.0635 \times 311.38^{0.75} \times 0.76^{1.097}$

= 3.65 Mcal/d

NPg = 0.80 x (268 – (29.4 x (3.65/0.80)))

= 107.20 g/d

EffMP_NPg = (83.4 – (0.114 x EQSBW))/100

= (83.4 – (0.114 x 368.02))/100

= 0.41

MP_G (g/d) = 107.20/0.41

= 258.66 g/d

MPL (g/d) = (Yprotn/0.67) x 1000

Yprotn (kg/d) = Milk production (kg/d) x (Milk true protein/100)

= 11.60 (kg/d) x (2.70/100)

= 0.31 kg/d

MP_L (g/d) = (0.31/0.67) x 1000

= 467.46 g/d

MP_R (g/d) = 530.18 + 258.66 + 467.46

= 1259.53 g/d

MP_{req} = $MP_{Bact} + MP_{RUP} + MP_{Endo}$

MP_{RUP} = $MP_{req} – (MP_{Bact} + MP_{End})$

= 1259.53 – (586.87 + 65.79)

= 606.87 g/d

0.8RUPreq = total digest RUP

0.66 x total digest RUP = MP_{RUP}

total digest RUP = 606.87/0.66

= 919.50

total digest RUP = 0.8RUPreq

RUPreq = 919.50/0.8

= 1149.40

CPreq = RDPreq + RUPreq

= 1078.81 + 1149.40

= 2228.21 g

ซึ่งในอาหาร RDP_{sup} (TMR) = Total DMFed x 1000 x Diet CP x CP_RDP

= 13.85 x 1000 x 0.122 x 0.606

= 1023.95 g/d

CP_{Total} (TMR) = Total DMFed x 1000 x Diet CP

= 13.85 x 1000 x 0.122

= 1689.70 g/d

RUP_{sup} = CPTotal – RDPsup

= 168970 – 1030.72

= 665.75 g/d

ภาคผนวก ข

ตารางวิเคราะห์วาเรียนซ์

การวิเคราะห์วาเรียนซ์ของการกินได้ ปริมาณโปรตีนที่ได้รับจากอาหาร ความต้องการพลังงาน การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว ผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบน้ำนม และองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำนม

การกินได้ของวัตถุแห้งอาหาร TMR

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.55	0.27	0.73	0.50
Block	1	0.64	0.64	1.69	0.21
Treatment* Block	2	1.52	0.76	1.99	0.17
Error	20	5.75	0.38		
Total	23	8.49			

R^2 = 0.32 %CV = 4.54

การกินได้ของวัตถุ g/Kg $W^{0.75}$

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	842.97	421.48	3.86	0.046
Block	1	979.26	979.26	8.96	0.009
Treatment* Block	2	669.50	334.75	3.06	0.078
Error	14	1530.45	109.31		
Total	19	4022.20			

R^2 = 0.61 %CV = 7.02

การกินได้ของโปรตีนอาหาร TMR

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	8375.06	4187.53	0.73	0.49
Block	1	9579.05	9579.05	1.68	0.21
Treatment* Block	2	22697.14	11348.57	1.98	0.17
Error	15	85772.25	5718.15		
Total	20	126423.51			

R^2 = 0.32 %CV = 4.54

การกินได้ของโปรตีน g/Kg $W^{0.75}$

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	12.57	6.28	3.86	0.0461
Block	1	14.60	14.60	8.97	0.0096
Treatment* Block	2	9.95	4.97	3.06	0.0790
Error	14	22.78	1.62		
Total	19	59.92			

$R^2 = 0.6$ %CV = 7.02

การกินได้ของพลังงานสุทธิ

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	1.01	0.5050	0.74	0.49
Block	1	1.15	1.1508	1.68	0.21
Treatment* Block	2	2.72	1.3600	1.98	0.17
Error	15	10.29	0.6861		
Total	20	15.17			

$R^2 = 0.32$ %CV = 4.55

การกินได้ของพลังงานสุทธิ g/Kg $W^{0.75}$

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.0014	0.0007	3.56	0.0562
Block	1	0.0018	0.0018	9.24	0.0088
Treatment* Block	2	0.0012	0.0006	3.22	0.0706
Error	14	0.0027	0.0001		
Total	19	0.0072			

$R^2 = 0.61$ %CV = 7.05

ความต้องการโปรตีนทั้งหมด (MP_R)

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	47345.93	23672.96	1.19	0.33
Block	1	535.15	535.15	0.03	0.87
Treatment* Block	2	8589.77	4294.88	0.22	0.80
Error	14	278099.33	19864.23		
Total	19	334570.20			

$R^2 = 0.16$ %CV = 11.71

โปรตีนที่ได้รับจากจุลินทรีย์โปรตีน (MCP)

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	2481.51	1240.75	0.71	0.50
Block	1	2852.58	2852.58	1.63	0.22
Treatment* Block	2	7344.94	3672.47	2.09	0.16
Error	14	24568.75	1754.91		
Total	19	37247.80			

$R^2 = 0.34$ %CV = 4.64

ความต้องการโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{req})

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	1	3451.58	1725.79	0.71	0.50
Block	2	3836.05	3836.05	1.59	0.22
Treatment* Block	1	10325.66	5162.83	2.14	0.15
Error	14	33825.50	2416.10		
Total	19	51438.80			

$R^2 = 0.34$ %CV = 4.63

โปรตีนที่ย่อยสลายในกระเพาะหมักจากอาหาร (RUP_{sup})

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	119440.23	59720.11	0.79	0.47
Block	1	827.36	827.36	0.01	0.91
Treatment* Block	2	23539.64	11769.82	0.15	0.85
Error	14	1064185.75	76013.26		
Total	19	1207993.00			

$R^2 = 0.11$ %CV = 25.97

โปรตีนที่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก ขาด/เกิน

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	10.58	5.29	0.86	0.44
Block	1	11.19	11.19	1.81	0.19
Treatment* Block	2	28.00	14.00	2.27	0.14
Error	14	86.41	6.17		
Total	19	136.20			

$R^2 = 0.36$ %CV = -4.57

ความต้องการโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RDP_{req})

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	3451.58	1725.79	0.71	0.50
Block	1	3836.05	3836.05	1.59	0.22
Treatment* Block	2	10325.66	5162.83	2.14	0.15
Error	14	33825.50	2416.10		
Total	19	51438.80			

$R^2 = 0.34$ %CV = 4.63

โปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมักจากอาหาร (RUP_{sup})

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	119440.23	59720.11	0.79	0.47
Block	1	827.36	827.36	0.01	0.91
Treatment* Block	2	23539.64	11769.82	0.15	0.85
Error	14	1064185.75	76013.26		
Total	19	1207993.00			

$R^2 = 0.12$ %CV = 25.97

โปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก ขาด/เกิน

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	96116.07	48058.03	0.59	0.56
Block	1	4435.71	4435.71	0.05	0.81
Treatment* Block	2	30501.42	15250.71	0.19	0.83
Error	14	1137357.33	81239.80		
Total	19	1268410.55			

$R^2 = 0.10$ %CV = -70.17

พลังงานสุทธิสะสม (NE_{LR})

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	1.32	0.66	0.33	0.72
Block	1	4.02	4.025	1.99	0.18
Treatment* Block	2	2.70	1.35	0.67	0.52
Error	14	28.29	2.02		
Total	19	36.35			

$R^2 = 0.22$ %CV = 8.29

น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง (กรัม/วัน)

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	383076.95	191538.47	1.17	0.33
Block	1	5319.23	5319.23	0.03	0.85
Treatment* Block	2	3490.54	1745.27	0.01	0.98
Error	14	2292788.72	163770.62		
Total	19	2684675.46			

R^2 = 0.145 %CV = 62.90

ผลผลิตน้ำนม

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	3.19	1.59	0.33	0.72
Block	1	0.40	0.40	0.08	0.77
Treatment* Block	2	7.12	3.56	0.73	0.50
Error	15	73.67	4.91		
Total	20	84.40			

R^2 = 0.12 %CV = 19.38

ปริมาณไขมันนม

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	2200.09	1100.04	0.20	0.82
Block	1	333.73	333.73	0.06	0.81
Treatment* Block	2	27913.96	13956.98	2.48	0.11
Error	15	84585.16	5639.01		
Total	20	115032.95			

R^2 = 0.26 %CV = 15.74

เปอร์เซ็นต์ไขมันนม

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.07	0.03	0.11	0.89
Block	1	0.23	0.23	0.72	0.41
Treatment* Block	2	0.96	0.48	1.46	0.26
Error	15	4.94	0.32		
Total	20	6.21			

R^2 = 0.20 %CV = 13.60

C4:0

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	5.80	2.90	4.08	0.03
Block	1	0.52	0.52	0.74	0.40
Treatment* Block	2	2.13	1.06	1.50	0.25
Error	15	10.65	0.71		
Total	20	19.11			

R^2 = 0.44 %CV = 64.40

การวิเคราะห์วาเรียนซ์โดยวิธี Least Squares Means ของระดับ pH ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) และระดับกรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acids, VFAs)

ค่า pH

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.04	0.02	0.72	0.51
pH	1	0.10	0.10	4.12	0.08
Error	8	0.19	0.02		
Total	11	0.33			

R^2 = 0.41 %CV = 2.35

ค่า NH_3-N

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	53.87	26.93	2.07	0.19
NH_3-N	1	26.71	26.71	2.05	0.19
Error	8	104.17	13.02		
Total	11	184.75			

R^2 = 0.44 %CV = 9.17

Acetate

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	4.49	2.25	0.51	0.62
Acetate	1	39.71	39.71	9.00	0.02
Error	8	35.29			
Total	11	79.50			

R^2 = 0.41 %CV = 2.35

ประวัติผู้เขียน

นายปกรณ์ กลางนอก เกิดวันที่ 24 มีนาคม พ.ศ. 2529 ที่จังหวัดนครราชสีมา เริ่มศึกษาระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนบ้านหนองหลักสามัคคี สำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2542 จากนั้นเข้าศึกษาต่อระดับมัธยมศึกษา 1-6 ที่โรงเรียนชุมพวงศึกษา และสำเร็จการศึกษาในปี พ. ศ. 2548 ศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา และสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2549 และได้ศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ในปี พ. ศ. 2552