ผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารต่ออัตราการเจริญเติบโต อัตราการผสมติดของโคนมระยะโคสาว และการให้ผลผลิตน้ำนมของโคนมระยะกลางการให้นม

ชิดชนก นวลฉิมพลี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2548
ISBN 974-533-464-2

EFFECT OF VOLCANIC MINERAL SUPPLEMENTATION ON GROWTH AND CONCEPTION RATE OF HEIFERS AND MILK PRODUCTION OF LACTATING DAIRY COWS IN MID LACTATION

Chidchanok Nualchimplee

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 2005

ISBN 974-533-464-2

ผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารต่ออัตราการเจริญเติบโต อัตราการผสมติดของโคนมระยะโคสาว และการให้ผลผลิตน้ำนมของโคนมระยะกลางการให้นม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(รศ. ดร.พงษ์ชาญ ณ ลำปาง)
ประธานกรรมการ

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

(อ. น.สพ. ดร.ภคนิจ คุปพิทยานันท์)
กรรมการ

(อ. ดร.ปราโมทย์ แพงคำ)
กรรมการ

(รศ. ดร.เสาวณีย์ รัตนพานี)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(ผศ. ดร.สุเวทย์ นิงสานนท์)
คณบดีสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

ชิดชนก นวลฉิมพลี : ผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารต่ออัตราการเจริญเติบโต อัตราการผสมติดของโคนมระยะโคสาว และการให้ผลผลิตน้ำนมของโคนมระยะกลางการให้นม (EFFECT OF VOLCANIC MINERAL SUPPLEMENTATION ON GROWTH AND CONCEPTION RATE OF HEIFERS AND MILK PRODUCTION OF LACTATING DAIRY COWS IN MID LACTATION) อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ. ดร.วิศิษฐิพร สุขสมบัติ, 157 หน้า. ISBN 974-533-464-2

วิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาถึงผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่ออัตราการเจริญเติบโตและอัตราการผสมติดของโคนมในระยะโคสาว และการให้ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบน้ำนมของโคนมในระยะกลางการให้นม รวมทั้งเปอร์เซ็นต์ nitrogen และ phosphorus ในมูลของโคนมทั้งสองระยะดังกล่าว โดยแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่ออัตราการเจริญเติบโตและอัตราการผสมติดของโคนมในระยะโคสาว สุ่มจัดกลุ่มโคแบบ stratified random balance group โดยมีอายุเริ่มต้น 15±5 เดือน (mean±SD) และน้ำหนักตัว 250±30 กิโลกรัม (mean±SD) จำนวน 24 ตัว แบ่งเป็น 2 กลุ่มๆ ละ 12 ตัว โดยกลุ่มควบคุมได้รับอาหารข้น 16 %CP และกลุ่มทดลองได้รับอาหารข้น 16 %CP ที่เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในระดับ 3% ของอาหารข้น ซึ่งโคสาวทั้ง 2 กลุ่มการทดลองได้รับฟางข้าวราดกากน้ำตาลเป็นแหล่งอาหารหยาบ ผลการทดลองพบว่า การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารข้นที่ระดับ 3% ทำให้อัตราการเจริญเติบโต อัตราการผสมติดเปอร์เซ็นต์ nitrogen รวมทั้ง phosphorus ในมูลของโคนมระยะโคสาวทั้งสองกลุ่มมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อการให้ผลผลิตและองค์ประกอบน้ำนมของโคนมในระยะกลางของการให้นม โดยสุ่มจัดกลุ่มโคแบบ stratified random balance group ตามปริมาณน้ำนม (กิโลกรัม/วัน), จำนวนวันให้นม (วัน), จำนวนท้อง (lactation), อายุ (เดือน) และน้ำหนักตัว (กิโลกรัม) ใช้โคนมในระยะกลางของการให้นม จำนวน 24 ตัว แบ่งเป็น 2 กลุ่มๆ ละ 12 ตัว โดยกลุ่มควบคุมได้รับอาหารข้น 21 %CP และกลุ่มทดลองได้รับอาหารข้น 21 %CP ที่เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในระดับ 3 % ของอาหารข้น โคนมทั้ง 2 กลุ่มการทดลองได้รับข้าวโพดหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ ผลการทดลองพบว่า การเสริมแร่ธาตุ

จากหินภูเขาไฟในอาหารข้นที่ระดับ 3% ไม่มีผลต่อการให้ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนม ($P>0.05$) และไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ nitrogen และ phosphorus ในมูลของโคนมในระยะกลางของการให้นม ($P>0.05$)

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ ลายมือชื่อนักศึกษา.....
ปีการศึกษา 2548 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

CHIDCHANOK NUALCHIMPLEE : EFFECT OF VOLCANIC MINERAL SUPPLEMENTATION ON GROWTH AND CONCEPTION RATE OF HEIFERS AND MILK PRODUCTION OF LACTATING DAIRY COWS IN MID LACTATION. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. WISITIPORN SUKSOMBAT, Ph.D. 157 PP. ISBN 974-533-464-2

VOLCANIC MINERAL/GROWTH RATE/CONCEPTION RATE/HEIFERS/ MILK PRODUCTION/LACTATING DAIRY COWS/MID LACTATION.

The objectives of this study were to determine the effect of volcanic mineral supplementation on growth and conception rate of heifers and milk production of lactating dairy cows in mid lactation. Nitrogen and phosphorus in feces were also determined. The present research divided into 2 experiments.

The first experiment was carried out to determine the effect of volcanic mineral supplementation on growth and conception rate of heifers. Twenty four Crossbred Holstein Friesian heifers with averaging 15±5 month old and 250±30 kg BW were stratified random balanced into two dietary treatments (12 heifers in each treatment). The treatments consisted of 0% volcanic mineral (control) and 3% volcanic mineral in diets (16 %CP). All heifers were fed rice straws together with molasses as a roughage source. There were no significant differences between treatment ($P>0.05$) in growth rate, conception rate, nitrogen and phosphorus levels in feces.

The second experiment was conducted to investigate the effect of volcanic mineral supplementation on milk production and milk composition of lactating dairy cows in mid lactation. Twenty four Crossbred Holstein Friesian dairy cows in mid lactation were stratified random balanced into two groups (12 cows in each treatment) according to milk yield, days in milk, age and live weight before the start of the trial. The treatments comprised 0% volcanic mineral (control) and 3% volcanic mineral in diets (21 %CP). All cows were fed corn silage as a roughage source. There were no significant differences between treatment (P>0.05) in milk production, milk composition, nitrogen and phosphorus levels in feces.

School of Animal Production Techology

Academic Year 2005

Student's Signature N. Chm.

Advisor's Signature W Sakamit

Co-advisor's Signature P. kapitthayanand

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รศ. ดร.วิศิษฐิพร สุขสมบัติ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมการวิจัย ที่ได้กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษา แนวคิด คำแนะนำในการดำเนินการวิจัย ตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ การแก้ปัญหาต่างๆ อันเป็นประโยชน์ทั้งในด้านวิชาการและการดำเนินงานวิจัยรวมทั้งสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ อ. น.สพ. ดร.ภคนิจ คุปพิทยานันท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ได้กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำในการดำเนินการวิจัย และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ กราบขอบพระคุณ รศ. ดร.กนก ผลารักษ์ อาจารย์ผู้ให้ความรู้ และคำปรึกษาทางด้านวิธีการวางแผนการดำเนินงานวิจัย รวมทั้งแนวคิดในการทำงานและการดำเนินชีวิต และกราบขอบพระคุณอาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ ตลอดจนอาจารย์ทุกๆ ท่านที่ได้กรุณาอบรมสั่งสอนถ่ายทอดความรู้และประสบการณ์

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา ซึ่งให้การสนับสนุนงบประมาณในการทำงานวิจัย ขอขอบคุณฟาร์มมหาวิทยาลัย อาคารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 1, 2 และ 3 รวมทั้งพี่ๆ บุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ สัตว์ทดลอง เครื่องมืออุปกรณ์ และอำนวยความสะดวกต่างๆ รวมถึงบริษัท อานุภาพการเกษตร จำกัด ที่ให้การสนับสนุนแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณ พี่พิพัฒน์ เหลืองลาวัณย์, คุณสิทธิชัย เลิศวิชัย, คุณเฉลิมพล โยวะ, คุณสุรัสสา สมิตะโยธิน เพื่อนๆ และพี่ๆ น้องๆ ที่ร่วมศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ตลอดจนเพื่อนร่วมศึกษาระดับปริญญาตรีสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์รุ่น 6 ทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษา ให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และทุกๆ ท่านในครอบครัว ที่ให้การเลี้ยงดูอบรมส่งเสริมการศึกษา ให้คำปรึกษา และเป็นกำลังใจที่ดี จนทำให้ข้าพเจ้าประสบความสำเร็จในชีวิตตลอดมา

ท้ายนี้ ขอแผ่เมตตาให้แก่สัตว์ทดลองที่ใช้ในทุกๆ งานวิจัย รวมทั้งสัตว์ทดลองที่ใช้ในการศึกษามาโดยตลอด

ชิดชนก นวลฉิมพลี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....ก

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....ค

กิตติกรรมประกาศ.....จ

สารบัญ.....ฉ

สารบัญตาราง.....ญ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....ฐ

บทที่

1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....2

1.3 สมมติฐานงานวิจัย.....2

1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย.....3

1.5 ขอบเขตการวิจัย.....3

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย.....3

1.7 รายการอ้างอิง.....3

2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....5

2.1 แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ (volcanic mineral).....5

2.1.1 ซีโอไลท์.....7

2.1.2 เบนโทไนท์.....8

2.1.3 มอนท์โมริลโลไนท์.....9

2.2 การใช้แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในสัตว์เคี้ยวเอื้อง.....10

2.3 ความต้องการแร่ธาตุของโคนม.....11

2.3.1 บทบาททั่วไปของแร่ธาตุ.....11

2.3.2 แร่ธาตุที่จำเป็นต่อโคนม.....13

2.3.3 เมตาบอลิซึมของแร่ธาตุในทางเดินอาหาร.....23

2.3.4 การดูดซึมแร่ธาตุในทางเดินอาหาร.....24

2.3.5 คุณสมบัติของแร่ธาตุที่สำคัญทางโภชนศาสตร์.....25

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4 ความต้องการพลังงานในโคนม....26
2.4.1 ความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพ....26
2.4.2 ความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโต....27
2.4.3 ความต้องการพลังงานเพื่อการสร้างน้ำนม....28
2.5 การประเมินคุณค่าทางพลังงานตาม NRC (2001)....28
2.5.1 พลังงานจาก NFC....28
2.5.2 พลังงานจากโปรตีน....29
2.5.3 พลังงานจากไขมัน....29
2.5.4 พลังงานจาก NDF....30
2.5.5 การประมาณค่า DE....31
2.5.6 การประมาณค่าพลังงานสุทธิ (Net energy, NE_L)....33
2.6 ความต้องการโปรตีนในโคนม....34
2.6.1 ความต้องการโปรตีนเพื่อการดำรงชีพ....34
2.6.2 ความต้องการโปรตีนเพื่อการเจริญเติบโต....36
2.6.3 ความต้องการโปรตีนเพื่อการสร้างน้ำนม....36
2.7 การประเมินคุณค่าโปรตีน....38
2.8 รายการอ้างอิง....39
3 ศึกษาผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่ออัตราการเจริญเติบโตและอัตราการผสมติดของโคนมในระยะโคสาว....45
3.1 บทคัดย่อ....45
3.2 คำนำ....45
3.3 วัตถุประสงค์....46
3.4 อุปกรณ์และวิธีการ....46
3.4.1 การจัดการโคสาวสำหรับทดลองและการให้อาหาร....46
3.4.2 วิธีการทดลองและเก็บข้อมูล....47
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล....49
3.6 สถานที่ทำการทดลอง....49
3.7 ระยะเวลาทำการทดลอง....49

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.8 ผลการทดลองและการอภิปรายผลการทดลอง....49
3.8.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารข้นและอาหารหยาบ....49
3.8.2 ปริมาณการกินได้ของโภชนะและแร่ธาตุ....55
3.8.3 ปริมาณแร่ธาตุในพลาสมา....61
3.8.4 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวและประสิทธิภาพการใช้อาหาร....65
3.8.5 การประมาณค่าโปรตีนและพลังงาน....67
3.8.6 การเป็นสัดและการผสมติด....69
3.8.7 nitrogen และ phosphorus ในมูล....70
3.9 สรุปผลการทดลอง....72
3.10 รายการอ้างอิง....73
4 ศึกษาผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อการให้ผลผลิตและองค์ประกอบน้ำนมของโคนมในระยะกลางของการให้นม....78
4.1 บทคัดย่อ....78
4.2 คำนำ....79
4.3 วัตถุประสงค์....79
4.4 อุปกรณ์และวิธีการ....79
4.4.1 การจัดการโคนมสำหรับทดลองและการให้อาหาร....79
4.4.2 วิธีการทดลองและเก็บข้อมูล....80
4.5 การวิเคราะห์ข้อมูล....82
4.6 สถานที่ทำการทดลอง....82
4.7 ระยะเวลาทำการทดลอง....82
4.8 ผลการทดลองและการอภิปรายผลการทดลอง....82
4.8.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร....82
4.8.2 ปริมาณการกินได้โภชนะและแร่ธาตุของโคนม....87
4.8.3 ปริมาณแร่ธาตุในพลาสมา....93
4.8.4 ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม....97
4.8.5 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวของโคนม....98
4.8.6 การประมาณค่าโปรตีนและพลังงาน....99

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.8.7 nitrogen และ phosphorus ในมูลโคนม.....101
4.9 สรุปผลการทดลอง.....103
4.10 รายการอ้างอิง.....104
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....108
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก.....110
ภาคผนวก ข.....118
ภาคผนวก ค.....137
ประวัติผู้เขียน.....157

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

2.1 องค์ประกอบทางเคมีของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ....6
3.1 แสดงลักษณะที่ใช้ในการจัดกลุ่มโคก่อนการทดลอง....47
3.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของอาหารข้นและอาหารหยาบที่ใช้ในการทดลอง....54
3.3 แสดงองค์ประกอบของแร่ธาตุในอาหารข้นและอาหารหยาบที่ใช้ในการทดลอง....55
3.4 แสดงการกินได้โภชนะของโคสาว....57
3.5 แสดงปริมาณการกินได้แร่ธาตุของโคสาว....60
3.5 แสดงปริมาณการกินได้แร่ธาตุของโคสาว (ต่อ)....61
3.6 ปริมาณแร่ธาตุในพลาสมา....64
3.6 ปริมาณแร่ธาตุในพลาสมา (ต่อ)....65
3.7 แสดงน้ำหนักตัวและการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวของโคสาว....66
3.8 แสดงความต้องการโปรตีนของโคสาวและปริมาณโปรตีนที่ได้รับจากอาหาร....68
3.9 แสดงพลังงานที่โคสาวต้องการเพื่อกิจกรรมต่างๆ และประสิทธิภาพการใช้พลังงาน....69
3.10 แสดงผลการเป็นสัดและการผสมติดของโคสาว....70
3.11 แสดงผล nitrogen และ phosphorus ในมูลโคสาว....72
4.1 แสดงลักษณะที่ใช้ในการจัดกลุ่มโคก่อนการทดลอง....80
4.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของอาหารข้นและอาหารหยาบที่ใช้ในการทดลอง....85
4.3 แสดงองค์ประกอบของแร่ธาตุในอาหารข้นและอาหารหยาบที่ใช้ในการทดลอง....87
4.4 แสดงปริมาณการกินได้ของโภชนะของโคนม....89
4.5 แสดงปริมาณการกินได้แร่ธาตุของโคนม....92
4.5 แสดงปริมาณการกินได้แร่ธาตุของโคนม (ต่อ)....93
4.6 ปริมาณแร่ธาตุในพลาสมา....96
4.6 ปริมาณแร่ธาตุในพลาสมา (ต่อ)....97
4.7 แสดงเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม....98
4.8 แสดงผลผลิตและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม....98
4.9 แสดงน้ำหนักตัวและการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวของโคนม....99
4.10 แสดงความต้องการโปรตีนของโคนมและปริมาณโปรตีนที่ได้รับจากอาหาร....100

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่

4.11 แสดงพลังงานที่โคนมต้องการเพื่อกิจกรรมต่างๆ และประสิทธิภาพการใช้พลังงาน.....101

4.12 แสดงผล nitrogen และ phosphorus ในมูลโคนม.....103

1 ก. การเตรียมสารละลายมาตรฐานแคลเซียม (calcium, Ca).....113

2 ก. การเตรียมสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส (phosphorus, P).....113

3 ก. การเตรียมสารละลายมาตรฐานแมกนีเซียม (magnesium, Mg).....114

4 ก. การเตรียมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม (potassium, K).....115

5 ก. การเตรียมสารละลายมาตรฐานโซเดียม (sodium, Na).....115

6 ก. การเตรียมสารละลายมาตรฐานทองแดง (copper, Cu).....116

7 ก. การเตรียมสารละลายมาตรฐานเหล็ก (iron, Fe).....116

8 ก. การเตรียมสารละลายมาตรฐานสังกะสี (zinc, Zn).....117

9 ก. แสดงค่า molar conversion factor ในการปรับเปลี่ยนหน่วย.....117

1 ข. แสดงการจำแนกประเภทของพลังงานโดยการคำนวณจากสมการของ NRC (2001) ในอาหารข้นโคสาวและอาหารหยาบที่ใช้ในการทดลอง.....123

2 ข. แสดงการจำแนกประเภทของพลังงานโดยการคำนวณจากสมการของ NRC (2001) ในอาหารข้นโคนมและอาหารหยาบที่ใช้ในการทดลอง.....123

3 ข. แสดงการย่อยสลายได้วัตถุแห้ง และอัตราการย่อยสลายได้วัตถุแห้งของอาหารข้น 16%CP กลุ่มควบคุม กลุ่มทดลองเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ 3% และฟางข้าวราดกากน้ำตาล...124

4 ข. แสดงการย่อยสลายได้โปรตีน และอัตราการย่อยสลายได้โปรตีนของอาหารข้น 16%CP กลุ่มควบคุม กลุ่มทดลองเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ 3% และฟางข้าวราดกากน้ำตาล...125

5 ข. แสดงเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายวัตถุแห้งและการย่อยสลายโปรตีนของอาหารข้น16%CP กลุ่มควบคุม กลุ่มทดลองเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ 3% และฟางข้าวราดกากน้ำตาล...125

6 ข. แสดงการย่อยสลายได้วัตถุแห้ง และอัตราการย่อยสลายได้วัตถุแห้ง ของอาหารข้น 21 %CP กลุ่มควบคุม กลุ่มทดลองเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ ที่ระดับ 3% และข้าวโพดหมัก.....126

7 ข. แสดงการย่อยสลายได้โปรตีน และอัตราการย่อยสลายได้โปรตีน ของอาหารข้น 21 %CP กลุ่มควบคุม กลุ่มทดลองเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ ที่ระดับ 3% และข้าวโพดหมัก.....126

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่

8 ข. แสดงเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายวัตถุแห้งและการย่อยสลายโปรตีน ของอาหารข้น 21 %CP กลุ่มควบคุม กลุ่มทดลองเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ ที่ระดับ 3 % และข้าวโพดหมัก....127

1 ค. แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ขององค์ประกอบของแร่ธาตุในอาหารข้น ที่ใช้ในการทดลอง....139

2 ค. แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของการกินได้โภชนะของโคสาว....140

3 ค. แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของปริมาณการกินได้แร่ธาตุของโคสาว....141

4 ค. แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของน้ำหนักตัวและการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวของโคสาว.142

5 ค. แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของความต้องการโปรตีนของโคสาว และปริมาณโปรตีนที่ได้รับจากอาหาร....143

6 ค. แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของของพลังงานที่โคสาวต้องการเพื่อกิจกรรมต่างๆ และประสิทธิภาพการใช้พลังงาน....144

7 ค. แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของปริมาณแร่ธาตุในพลาสมาของโคสาว....145

8 ค. แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของการเป็นสัดและการผสมติดของโคสาว....146

9 ค. แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของ nitrogen และ phosphorus ในมูลโคสาว....146

10 ค. แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ขององค์ประกอบของแร่ธาตุในอาหารข้น ที่ใช้ในการทดลอง....147

11 ค. แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของการกินได้โภชนะของโคนม....148

12 ค. แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของปริมาณการกินได้แร่ธาตุของโคนม....149

13 ค. แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม....150

14 ค. แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของผลผลิตและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม....151

15 ค. แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของน้ำหนักตัวและการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวของโคนม..152

16 ค. แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของความต้องการโปรตีนของโคนม และปริมาณโปรตีนที่ได้รับจากอาหาร....153

17 ค. แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของพลังงานที่โคนมต้องการเพื่อกิจกรรมต่างๆ และประสิทธิภาพการใช้พลังงาน....154

18 ค. แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของปริมาณแร่ธาตุในพลาสมาของโคนม....155

19 ค. แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของ nitrogen และ phosphorus ในมูลโคนม....156

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ADF	=	acid detergent fiber
ADICP	=	acid detergent insoluble crude protein
ADIN	=	acid detergent insoluble nitrogen
ADL	=	acid detergent lignin
Ca	=	calcium
CF	=	crude fiber
CP	=	crude protein
Cu	=	copper
DE	=	digestible energy
*dg*CP	=	effective degradability of crude protein
*dg*DM	=	effective degradability of dry matter
Fe	=	iron
g/kg BW	=	gram per kilogram body weight
g/kg LW	=	gram per kilogram live weight
GE	=	gross energy
HF	=	holstein friesian
HSCAS	=	hydrated sodium calcium aluminosilicate
K	=	potassium
LOI	=	loss on incineration
ME	=	metabolizable energy
mEq/L	=	milliequivalent per liter
Mg	=	magnesium

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

mmol/L	=	millimole per liter
Na	=	sodium
NDF	=	neutral detergent fiber
NDICP	=	neutral detergent insoluble crude protein
NDIN	=	neutral detergent insoluble nitrogen
NE	=	net energy
NFC	=	non-fiber carbohydrate
NPN	=	non protein nitrogen
NRC	=	national research council
PAF	=	processing adjustment factor
ppb	=	part per billion
ppm	=	part per million
RDP	=	rumen degradable protein
RDP_{req}	=	rumen degradable protein requirement
RDP_{sup}	=	rumen degradable protein supplement
RUP	=	rumen undegradable protein
RUP_{req}	=	rumen undegradable protein requirement
RUP_{sup}	=	rumen undegradable protein supplement
tdCP	=	truly digestibility crude protein
tdFA	=	truly digestibility fatty acid
TDN	=	total digestible nutrient
tdNDF	=	truly digestibility neutral detergent fiber
tdNFC	=	truly digestibility non-fiber carbohydrate

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการเลี้ยงโคนมมีปัจจัยที่ต้องให้ความสำคัญ คือ พันธุ์ อาหาร และการจัดการ สำหรับอาหารนั้นนอกเหนือจากโภชนะหลักที่จำเป็นคือพลังงานและโปรตีนแล้ว แร่ธาตุและวิตามินต่างๆ ก็เป็นโภชนะที่โคนมต้องได้รับอย่างครบถ้วนเช่นกัน เพื่อทำให้กระบวนการเมตาบอลิซึม และกระบวนการทางชีวเคมี ในร่างกายเป็นไปตามปกติ ซึ่งจะทำให้การดำรงชีพ (maintenance) การเจริญเติบโต (growth) การให้ผลผลิต (production) และการสืบพันธุ์ (reproduction) เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งการที่โคนมได้รับแร่ธาตุชนิดใดชนิดหนึ่งไม่เพียงพอกับความต้องการหรือได้รับในสัดส่วนที่ไม่เหมาะสมจะทำให้แสดงอาการขาด (deficiency) หรือเกิดการเป็นพิษ (toxicity) ซึ่งส่งผลเสียต่อสุขภาพและการให้ผลผลิต (ฉลอง, 2543) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโคนมระยะให้นม และตั้งท้อง พบว่าโคนมมักเกิดโรคต่างๆ ในช่วงให้ผลผลิตสูง เช่น โรคไข้นม (milk fever หรือ hypocalcemia) โรคเต้านมอักเสบ (mastitis) และเกิดปัญหาทางระบบสืบพันธุ์ เช่น รกค้าง ผสมไม่ติด เป็นสัดเงียบ (silent heat) และมดลูกอักเสบ (metritis) (วิศิษฐิพร, 2543) ส่วนโคนมระยะโคสาวจะมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต การเข้าสู่วัยเจริญพันธุ์ (puberty) รวมทั้งความสามารถในการผสมติด ดังนั้น การจัดการให้โคได้รับแร่ธาตุอย่างเหมาะสมทั้งชนิดและปริมาณจึงเป็นสิ่งที่สำคัญ โดยปกติในอาหารโคนมจะคำนวณความต้องการแร่ธาตุไว้เพียงพอแล้ว อย่างไรก็ตามในสภาพการจัดการที่แตกต่าง เช่น การได้รับอาหารหยาบต่างชนิดกัน จะส่งผลให้ความสมดุลของแร่ธาตุที่โคได้รับเปลี่ยนแปลงไป ฟาร์มโคนมโดยทั่วไปจึงมีแร่ธาตุก้อนเพื่อเป็นแหล่งแร่ธาตุเสริม อย่างไรก็ตามแร่ธาตุส่วนมากต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งมีราคาแพงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ต้นทุนอาหารโคสูงขึ้น สำหรับในประเทศไทยมีแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ (volcanic rock) ซึ่งอาจจะเป็นแหล่งของแร่ธาตุที่จำเป็นต่อโคนมได้ ทั้งนี้เนื่องจากมีส่วนประกอบหลักได้แก่ SiO_2, K_2O, Al_2O_3, CaO, MgO, Cl, Cu และ Zn และนอกจากนั้นโครงสร้างของ SiO_2 ยังมีความสามารถในการดูดซับ ammonia ซึ่งนำมาใช้ในการลดมลภาวะทางกลิ่นจากของเสียในบ่อปลาและฟาร์มสุกร แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟแบ่งออกได้หลายชนิดตามปริมาณของแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบ Harvey et al. (1988) ศึกษาผลของการเสริม hydrated sodium calcium aluminosilicate (HSCAS) ซึ่งเป็นแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟชนิดหนึ่ง ในระดับ 1% ในอาหารโคนม

ที่มีการปนเปื้อนด้วยอะฟลาทอกซินระดับ 100 ppb พบว่า สามารถลดปริมาณอะฟลาทอกซิน M1 ในน้ำนมได้ 42% นอกจากนี้ การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟชนิดซีโอไลท์ในอาหารสัตว์กระเพาะเดี่ยว ทำให้อัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้น และปริมาณ nitrogen ในมูลลดลง (Cool and Willard, 1982; Hatieganu et al., 1983 และ Tkachrev and Ustin, 1985) ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาผลของการใช้แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ผลิตได้ในประเทศไทย เพื่อใช้เป็นแหล่งแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและอัตราการผสมติดของโคนมในระยะโคสาวและการให้ผลผลิตน้ำนมของโคนมลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชียน (Crossbred Holstein Friesian) รวมทั้งศึกษาผลของการลด nitrogen ในมูลโคนมทั้งในระยะโคสาวและระยะโครีดนม ทั้งนี้หากผลการศึกษาพบว่าแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ผลิตได้ในประเทศมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต การผสมติด และการให้ผลผลิตน้ำนมที่ดีขึ้นก็จะเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมโคนมในการเพิ่มผลผลิต ลดต้นทุนการนำเข้าแร่ธาตุจากต่างประเทศ และลดมลภาวะของเสียจากฟาร์มโคนมได้

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาถึงแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ (volcanic mineral) ที่ผลิตได้ในประเทศไทย

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารโคนมต่ออัตราการเจริญเติบโตและอัตราการผสมติดของโคนมระยะโคสาว

1.2.3 เพื่อศึกษาถึงผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารต่อการให้ผลผลิตน้ำนมของโคนม

1.2.4 เพื่อศึกษาถึงผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารโคนมต่อการลด nitrogen ในมูลโคนม

1.3 สมมติฐานงานวิจัย

1.3.1 แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟมีองค์ประกอบของแร่ธาตุที่มีความจำเป็นต่อโคนม

1.3.2 แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตและอัตราการผสมติดของโคสาว

1.3.3 แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟมีผลต่อการให้ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนมของโคนมระยะกลางการให้นม

1.3.4 การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ nitrogen และ phosphorus ในมูลโคนม

1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย

Volcanic mineral/ Crossbred Holstein Friesian/ Growth rate/ Conception rate/ Heifers/ Milk production/ Lactating dairy cows/ Mid lactation.

1.5 ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ศึกษาผลของการใช้แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ผลิตได้ในประเทศไทยจากแหล่งในจังหวัดลพบุรี เพื่อใช้เป็นแหล่งแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและอัตราการผสมติดของโคนมในระยะโคสาว และการให้ผลผลิตน้ำนมของโคนมลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชียน (Crossbred Holstein Friesian) ที่มีระดับสายเลือดมากกว่า 87.5%HF รวมทั้งศึกษาผลของการลด nitrogen ในมูลโคนมทั้งโคนมในระยะโคสาวและระยะโครีดนม

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1.6.1 ทราบถึงแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ (volcanic mineral) ที่ผลิตได้ในประเทศไทย

1.6.2 ทราบถึงผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารโคนมต่ออัตราการเจริญเติบโตและอัตราการผสมติดของโคนมระยะโคสาว

1.6.3 ทราบถึงผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารต่อการให้ผลผลิตน้ำนมของโคนม

1.6.4 ทราบถึงผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารต่อการลด nitrogen ในมูลโคนมระยะโคสาวและโครีดนม

1.7 รายการอ้างอิง

ฉลอง วชิราภากร. 2543. โภชนศาสตร์แร่ธาตุของสัตว์. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

วิศิษฐิพร สุขสมบัติ. 2543. เอกสารประกอบการเรียนการสอน รายวิชา 303 312. โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

Cool, W. M. and J. M. Willard. 1982. Effect of clinoptilolite on swine nutrition. Nutr. Abstr. Rev. (Series B) 56(3): 428. (Abstr.)

Hatieganu, V., I. Puia, O. Popa and G. Baltan. 1983. Use of natural zeolite in animal feeding (synthesis). Pig News Inform. 4(1): 79. (Abstr.)

Harvey, R. B., L. F. Kubena and T. D. Phillips. 1988. Possible methods to combat the mycotoxin problem. Cited by R. B. Harvey, L. F. Kubena, T. D. Phillips, D. E. Corrier, M. H. Elissalde and W. E. Huf. Diminution of aflatoxin toxicity to growing lambs by dietary supplementation with hydrated sodium calcium aluminosilicate. Am. J. Vet. Res 52 (1): 152-156.

Tkachrev, E. Z. and V. V. Ustin. 1985. Digestive and metabolism functions of the digestive teact of young pig given a feed mixture containing zeolites. Doklady Vaskhnil (3). 33-35.(Abtr.)

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ (volcanic mineral)

ประเทศไทยมีซากภูเขาไฟกระจายอยู่เกือบทุกภูมิภาค คือ ภาคเหนือ พบในเขตจังหวัดลำปาง แพร่ เชียงราย น่าน และอุตรดิตถ์ ภาคตะวันตกพบในเขตจังหวัดตาก และกาญจนบุรี ภาคกลาง พบในเขตจังหวัดสุโขทัย กำแพงเพชร เพชรบูรณ์ ลพบุรี และสระบุรี ภาคตะวันออก พบในเขตจังหวัดจันทบุรี ปราจีนบุรี และตราด และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบในเขตจังหวัดนครราชสีมา ศรีสะเกษ สุรินทร์ บุรีรัมย์ และอุบลราชธานี แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟเป็นแร่ธาตุที่พบในหินตะกอนจากการสลายตัวของเถ้าภูเขาไฟ (ปิยรัตน์, 2545) ซึ่งกลายเป็นแหล่งของแร่ธาตุที่อุดมสมบูรณ์ แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่เกิดจากลาวาที่เป็นหินบะซอลท์จะพบซิลิกา (silica) เป็นองค์ประกอบอยู่สูง ซึ่งเป็นสารประกอบประเภทอะลูมิโนซิลิเกต

สารประกอบประเภทอะลูมิโนซิลิเกต เป็นสารที่อยู่ในกลุ่มของแร่ทุติยภูมิ (secondary mineral) เกิดจากการสลายตัวของแร่ปฐมภูมิ (primary mineral) ที่ได้จากการเย็นตัวของของเหลวภายในใจกลางโลก หรือเป็นแร่ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นมาใหม่จากส่วนประกอบที่ได้จากการสลายตัวของแร่ธาตุต่างๆ โดยเกิดกระบวนการทางเคมีทำให้องค์ประกอบของแร่เดิมเปลี่ยนไปกลายเป็นแร่ชนิดใหม่ที่มีความคงทนต่อการสลายตัวมากขึ้น พบมากในหินตะกอน (อรประพันธ์, 2536) แร่จำพวกซิลิเกต (silicates) ในธรรมชาติพบว่ามีโครงสร้างแบบต่างๆ ซึ่งก่อให้เกิดการสลายตัวได้ไม่เหมือนกัน โครงสร้างของแร่ซิลิเกตเกิดจากการยึดกันของหน่วยเตตระฮีดรอนทำให้เกิดพันธะระหว่าง Si - O - Si ขึ้น ซึ่งโครงสร้างจะแข็งแรงและสลายตัวได้ยากขึ้น เมื่อมีพันธะดังกล่าวมากขึ้น

โครงสร้างของแร่ซิลิเกตแบ่งออกตามลักษณะการจับตัวกันของเตตระฮีดรอนซึ่งมีความทนทานต่อการสลายตัวจากน้อยไปมาก ได้ดังนี้

1) นีโซซิลลิเกต (nesosilicates) ประกอบด้วยเตตระฮีดรอน 1 หน่วย

2) โซโรซิลิเกต (sorosilicates) ประกอบด้วยเตตระฮีดรอน 2 หน่วยร่วมใช้ออกซิเจน 1 ตัว

3) อินโนซิลิเกต (inosilicates) ประกอบด้วยเตตระฮีดรอนต่อกันเป็นแถวเดี่ยว โดยร่วมใช้ออกซิเจน 2 ตัว หรือเตตระฮีดรอนต่อกันเป็นแถวคู่ โดยร่วมใช้ออกซิเจน 2 ตัว และ 3 ตัว สลับกันไป

4) ไซโคลซิลิเกต (cyclosilicates) ประกอบด้วยเตตระฮีดรอนหลายหน่วยต่อกันเป็นวง โดยร่วมใช้ออกซิเจน 2 ตัว

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ

องค์ประกอบ	แร่ธาตุ[1/]	แร่ธาตุ[2/]	แร่ธาตุ[3/]	แร่ธาตุ[4/]	แร่ธาตุ[5/]	แร่ธาตุ[6/]	แร่ธาตุ[7/]
SiO_2 (%)	65.85	69.93	68.44	71.75	70.90	70.00	70.00
Al_2O_3 (%)	10.46	11.89	11.68	12.33	12.76	14.00	13.66
K_2O (%)	9.70	3.47	2.14	4.47	3.83	-	5.39
Fe_2O_3 (%)	8.01	0.02	0.46	1.98	1.75	3.00	1.26
CaO (%)	3.19	1.07	3.26	3.59	1.36	-	1.12
MgO (%)	0.32	0.47	0.12	0.12	0.09	8.00	0.20
Na_2O (%)	-	2.96	1.51	4.47	3.23	-	1.33
MnO (%)	0.20	-	-	-	-	-	-
P_2O_5 (%)	-	-	-	0.01	0.02	-	0.02
TiO_2 (%)	-	-	-	0.11	0.14	-	-
SO_3 (%)	-	-	-	0.18	0.21	-	-
H_2O (%)	-	-	-	3.71	3.88	-	0.97
Cl (%)	0.09	-	-	-	-	-	-
Cu (%)	0.02	-	-	-	-	-	-
Zn (%)	0.02	-	-	-	-	-	-
Cr (ppm)	51	-	-	-	-	-	-
Mo (ppm)	28	-	-	-	-	-	-
LOI[8/] (%)	-	-	-	-	-	-	5.75

[1/] แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ใช้ในการทดลอง วิเคราะห์โดยศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ด้วยวิธี X-ray fluorescence analyses (Oxford:Geol. Majors+Traces)

[2/] แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ วิเคราะห์โดยกองวิเคราะห์ดิน กรมพัฒนาที่ดิน บางเขน กรุงเทพมหานคร ด้วยวิธี X-ray fluorescence analyses (อ้างโดย ผุสดี, 2537)

[3/] แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ ประเทศสหรัฐอเมริกา (Mineral Data Publishing, www., 2001)

[4/,5/] หินพัมมิซ (Anonymous,www., 2001)

[6/] หินพัมมิซ (Kyi and Chadwick, 1999)

[7/] หินพัมมิซ เขาพนมฉัตร จ.ลพบุรี (นิคม, 2547)

[8/] Loss on incineration (organic matter)

5) ฟิลโลซิลิเกต (phyllosilicates) ประกอบด้วยเตตระฮีดรอนหลายหน่วยต่อกันเป็นผืน โดยร่วมใช้ออกซิเจน 3 ตัว

6) เทคโตซิลิเกต (tectosilicates) ประกอบด้วยเตตระฮีดรอนหลายหน่วยต่อกัน โดยร่วมใช้ออกซิเจนทั้ง 4 ตัว

สำหรับสารประเภทอะลูมิโนซิลิเกตที่สนใจทำการศึกษาทดลองในทางอาหารสัตว์นั้นเป็นแร่ซิลิเกตที่อยู่ในกลุ่มฟิลโลซิลิเกต เช่น แร่ดินขาว (kaolin หรือ kaolinite) แร่มอนท์โมริลโลไนท์ (montmorillonite) และในกลุ่มเทคโตซิลิเกต เช่น ซีโอไลท์ (zeolite) ทั้งนี้เนื่องจากมีความคงทนต่อการสลายตัวได้มาก

2.1.1 ซีโอไลท์

ซีโอไลท์ (zeolite) ถูกค้นพบในปี ค.ศ. 1756 (Mumpton and Fishman, 1977) ซึ่งมีลักษณะเป็นผลึกอยู่ในช่องว่างของหินบะซอลท์ โดยพบร่วมกับแคลไซท์ (calcite) ดาโทไลท์ (datolite) อะโพฟิลไลท์ (apophyllite) และพรีไนท์ (prenite) องค์ประกอบโดยรวมของซีโอไลท์ คล้ายคลึงกับเฟลสปาร์ (feldspars) ในส่วนที่เป็นอะลูมิโนซิลิเกตที่มีsodium calcium และpotassium มีความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.0-2.4 มีความแข็งปานกลาง คือ ประมาณ 3 ½ - 5 ½ ตาม mohs scale โดยทั่วไปซีโอไลท์มีสีขาว แต่อาจมีสีอื่นปนอยู่ด้วย เช่น ชมพู น้ำตาล แดง (Parker, 1984) โครงสร้างเป็นผลึกสามมิติแบบเปิด เกิดจากหน่วยเตตระฮีดรอนของ SiO_4 และ AlO_4 มาจับกัน และจัดเรียงตัวเป็นโครงข่าย ซีโอไลท์มีสูตรโครงสร้าง คือ $M_{x/n}[(SiO_4)_x(AlO_4)_y].wH_2O$ (กาญจนะ, 2545) ในปี ค.ศ. 1977 Mumpton และ Fishman ได้สำรวจพบซีโอไลท์ธรรมชาติชนิดต่างๆ ประมาณ 40 ชนิด และซีโอไลท์ยังสามารถสังเคราะห์ขึ้นในห้องปฏิบัติการได้อีกหลายชนิด ซีโอไลท์แต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน ซีโอไลท์แบ่งได้ 2 ประเภทคือ

2.1.1.1 ซีโอไลท์ธรรมชาติ (natural zeolite) พบบนผิวโลกและใต้สมุทร พบมากในโพรงหินบะซอลท์และหินภูเขาไฟ มีประมาณ 40 ชนิด (Mumpton and Fishman, 1977) stibite ($Ca_2NaAl_5Si_{13}O_{36}{\cdot}16H_2O$) เป็นซีโอไลท์ชนิดแรกที่ถูกค้นพบ และนำมาใช้ประโยชน์ในการก่อสร้าง และในอุตสาหกรรมกระดาษ ตัวอย่างของซีโอไลท์ธรรมชาติ เช่น clinoptilolite ($CaNa_4K_4[(AlO_2)(SiO_2)_{30}24H_2O$),faujasite$(Na_2.K_2.Ca.Mg)_{295}[(AlO_2)_{59}(SiO_2)_{133}].235H_2O$), mordenite ($Na_8[(AlO_2)_8(SiO_2)_{40}].24H_2O$) และ zar-min เป็นต้น

2.1.1.2 ซีโอไลท์สังเคราะห์ (synthetic zeolite) เป็นซีโอไลท์ที่เตรียมขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีสังเคราะห์ผ่านเจล โดยควบคุมสภาวะให้เกิดผลึกจำนวนมากขึ้นอย่างสม่ำเสมอ ได้แก่ ซีโอไลท์ เอ,

ซีโอไลท์ เอกซ์, ซีโอไลท์ วาย, ซีโอไลท์ แอล, ซีโอไลท์ เอฟ และซีโอไลท์ เอ็ม เป็นต้น ซึ่งซีโอไลท์สังเคราะห์นี้มีมากกว่า 100 ชนิด ซีโอไลท์เหล่านี้ถูกใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในอุตสาหกรรม เช่น sodium zeolite A ($Na_{12}[(AlO_2)_{12}(SiO_2)_{12}].27H_2O$) และ ethacal เป็นต้น

2.1.1.3 คุณสมบัติที่สำคัญของซีโอไลท์ ซีโอไลท์เป็นอะลูมิโนซิลิเกตที่มีโครงร่างของอะลูมิเนียมออกไซด์ และซิลิคอนออกไซด์เป็นแบบเตตระฮีดรอน การจับกันของอะลูมิเนียมออกไซด์ และซิลิคอนออกไซด์ ทำให้เกิดโครงร่างโพลีฮีดรา (polyhedra) ได้หลายรูปแบบ โดยโครงร่างผลึกที่เกิดขึ้นเป็นโครงร่างแบบเปิด มีโมเลกุลของน้ำอยู่ภายในช่องว่างของผลึก (Isaccs et al., 1988) ซึ่งทำให้เกิดคุณสมบัติที่สำคัญ (Mumpton and Fishman, 1977) คือ

1) คุณสมบัติในการดูดซับ (adsorption properties) ในสภาพปกติช่องว่างภายในของผลึกซีโอไลท์จะมีโมเลกุลของน้ำรวมกันอยู่ โดยมีประจุบวกชนิดต่างๆ ที่พร้อมจะเกิดการแลกเปลี่ยนกระจายอยู่รอบๆ เมื่อได้รับความร้อน น้ำภายในช่องว่างจะระเหยออกไป ช่องว่างภายในมีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กลง ประจุหรือโมเลกุลของสารอื่นที่มีขนาดพอดี และผ่านเข้ามาในช่องว่างจะถูกจับไว้ การที่ซีโอไลท์มีคุณสมบัติในการจับประจุ หรือโมเลกุลของสารที่มีขนาดเหมาะสมกับช่องว่างดังกล่าว จึงเรียกได้ว่าซีโอไลท์เป็นตะแกรงโมเลกุล (molecular sieves)

2) คุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนประจุ (ion-exchang properties) ในซีโอไลท์ ประจุบวกที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ จะจับที่โครงสร้างเตตระฮีดรอนด้วยพันธะหลวมๆ ถูกแทนที่ได้ง่ายด้วยการชะล้างด้วยสารละลายเข้มข้นของประจุชนิดอื่น ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุขึ้นอยู่กับจำนวนอะลูมิเนียมที่เข้ามาทดแทนซิลิคอน ซึ่งทำให้เกิดประจุลบบนโครงสร้างขึ้น จึงต้องการประจุบวกเพื่อทำให้เกิดสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า โดยประจุบวกส่วนใหญ่มักเป็นธาตุในหมู่ที่ 1 และหมู่ที่ 2 ในตารางธาตุ (alkali and alkaline earth cation) เช่น Na^+ K^+ Ca^{2+} Sr^{2+} และ Br^{2+} ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นอีกหลายประการ เช่น ชนิดของประจุบวก ความสามารถของประจุในการเข้าจับในตำแหน่งที่ถูกต้อง เป็นต้น คุณสมบัติดังกล่าวของซีโอไลท์จะแตกต่างจากตัวแลกประจุที่ไม่ใช่ผลึก เช่น organic resins หรือ inorganic aluminosillicate gals โครงสร้างที่เป็นผลึกของซีโอไลท์ทำให้เกิดการแข่งขันของประจุ

ตัวอย่างลำดับความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุของ clinoptilolite ดังนี้คือ

$Cs > Rb > K > NH_4^+ > Sr > Na > Ca > Fe > Al > Mg > Li$

ความสามารถในการเลือกจับแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในกระบวนการแลกเปลี่ยนประจุสำหรับเคลื่อนย้ายแอมโมเนียไนโตรเจนจากของเสียได้

2.1.2 เบนโทไนท์

เบนโทไนท์ เป็นแร่ซิลิเกตในกลุ่มดินเหนียว ที่มีคุณสมบัติเป็นคอลลอยด์ และเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ ประกอบด้วยแร่มอนท์โมริลโลไนท์เป็นส่วนใหญ่ และเกิดขึ้นจากการ

เปลี่ยนแปลงของเถ้าภูเขาไฟ เบนโทไนท์พบได้ในเกือบทุกประเทศและพบในหินที่มีอายุแตกต่างกัน เป็นแร่ที่มีคุณค่ามากในทางอุตสาหกรรม ใช้ในการฟอกสีน้ำมัน ใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างและเซรามิค (ceramic) ใช้ทำตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี และใช้ในงานอื่นๆ อีกมากมาย (Parker, 1984) เนื่องจากเบนโทไนท์มีส่วนประกอบหลักไม่ต่ำกว่า 90% เป็นแร่มอนท์โมริลโลไนท์ (Collings et al., 1980) ซึ่งลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบของมอนท์โมริลโลไนท์อาจมีความผันแปรจากปัจจัยต่างๆ จึงทำให้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกผันแปรตามไปด้วย ดังนั้นคุณสมบัติทางกายภาพของเบนโทไนท์จึงมีความผันแปรตามไป ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของมอนท์โมริลโลไนท์และการแลกเปลี่ยนไอออนบวก นอกจากนั้นยังพบแร่ซิลิเกตในกลุ่มดินเหนียวชนิดอื่นๆ เป็นองค์ประกอบของเบนโทไนท์อยู่ด้วยเล็กน้อย เช่น อิลไลท์ (illite) หรือแร่ดินขาว (kaolinite) แร่เฟลสปาร์ (feldspar) ไบโอไทท์ (biotite) และซีลีไนท์ (selenite)

2.1.3 มอนท์โมริลโลไนท์

มอนท์โมริลโลไนท์ (montmorillonite) เป็นผลึกของแร่ทุติยภูมิ ในกลุ่มของแร่ซิลิเกตที่เป็นแผ่น (phyllosillicate) อยู่ในสภาพคอลลอยด์ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 2 μ ซึ่งแร่ซิลิเกตในกลุ่มดินเหนียวนี้สามารถแบ่งออกเป็นแร่ชนิดต่างๆ มากมายตามองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างที่แตกต่างกัน แต่หน่วยพื้นฐานที่สำคัญของแร่ดินเหนียวซิลิเกตมี 2 หน่วย คือ หน่วยเตตระฮี ดรอน (tetrahedron) ซึ่งเกิดจากการเกาะตัวของออกซิเจน 4 อะตอม เกิดเป็นรูปที่มี 4 ด้าน ภายในมีช่องว่างซึ่งไอออนบวกจะเข้าไปเกาะอยู่ และหน่วยออกตะฮีดรอน (octahedron) เกิดจากการเกาะตัวของออกซิเจน 6 อะตอม เกิดเป็นรูปที่มี 8 ด้าน ภายในมีช่องว่างซึ่งไอออนบวกจะเข้าไปเกาะอยู่ ไอออนบวก ที่มักพบในหน่วยโครงสร้างนี้ของแร่ดินเหนียวซิลิเกต ได้แก่ Al^{3+}, Mg^{2+}, และ Fe^{2+}

หน่วยโครงสร้างพื้นฐานแต่ละชนิดจะต่อเข้าด้วยกัน เกิดมีลักษณะเป็นแผ่น (sheet) หน่วยเตตระฮีดรอนมักจะมี Si^{4+} เป็นไอออนบวกอยู่ภายในช่องว่างภายในของหน่วย เมื่อต่อเข้าเป็นแผ่นเรียกว่า ซิลิกาเตตระฮีดรัลชีท (silica tetrahedral sheet) ส่วนหน่วยออกตะฮีดรอนเมื่อต่อกันเป็นแผ่นเรียกว่า ออกตะฮีดรัลชีท (octahedral sheet) ซึ่งจะมีโครงสร้างต่างกันไปตามชนิดของไอออนบวกที่อยู่ภายใน

สำหรับมอนท์โมริลโลไนท์มีโครงสร้างประกอบด้วย เตตระฮีดรัลชีท 2 แผ่น และมีออกตะฮีดรัลชีท 1 แผ่นอยู่ตรงกลางระหว่างเตตระฮีดรัลชีททั้งสองแผ่น ซึ่งเรียกแร่ดินเหนียวซิลิเกตที่มีโครงสร้างลักษณะนี้ว่า แร่ประเภท 2:1 ด้านนอกสุดของชั้นโครงสร้างประกอบด้วยออกซิเจนทั้งหมด เมื่อชั้นแร่วางซ้อนกันจึงมีแรงยึดน้อยมาก โมเลกุลของน้ำและไอออนต่างๆ สามารถเข้าไปอยู่ในระหว่างชั้นของโครงสร้าง ทำให้โครงสร้างมีการขยายตัวออกทางตั้งเมื่ออยู่ในสภาพเปียก

และหดตัวลงเมื่ออยู่ในสภาพแห้ง ซึ่งจากคุณสมบัติข้อนี้จึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ทางอาหารสัตว์ได้ โดยการเสริมมอนท์โมริลโลไนท์ในอาหารสัตว์ในระดับที่เหมาะสม เมื่อมอนท์โมริลโลไนท์อยู่ในทางเดินอาหารจะเกิดการพองตัวเนื่องจากการดูดซึมน้ำ (osmotic swelling) ทำให้การไหลผ่านของอาหารในลำไส้ช้าลง จึงทำให้อาหารมีโอกาสที่จะถูกย่อยและดูดซึมได้ได้เพิ่มขึ้น (Van Olphen, 1963)

จากตารางที่ 2.1 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบของแร่ธาตุที่ใช้ในการทดลอง เปรียบเทียบกับสารประกอบประเภทอะลูมิโนซิลิเกตอื่นๆ จากแหล่งที่เคยเกิดภูเขาไฟ พบว่าแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ใช้ในการทดลองนี้ มีองค์ประกอบของแร่ธาตุใกล้เคียงกับแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟชนิดอื่นๆ ซึ่งเป็นแร่ธาตุประเภทอะลูมิโนซิลิเกต ดังนั้นแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ใช้ในการทดลองจึงจัดเป็นสารประกอบประเภทอะลูมิโนซิลิเกต

2.2 การใช้แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ในปัจจุบันได้มีการนำแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ ทั้งชนิดที่เกิดเองตามธรรมชาติและเกิดจากการสังเคราะห์มาใช้ประโยชน์ในแง่ของการเลี้ยงสัตว์กันมาก เช่น ซีโอไลท์ชนิดต่างๆ และเบนโทไนท์ เนื่องจากคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออนและการดูดซับสาร ช่วยทำให้สัตว์มีประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนในอาหารดีขึ้น ช่วยลดปัญหาเกี่ยวกับการเกิดโรคทางเดินอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้องและลูกสุกร ควบคุมปริมาณความชื้นและแอมโมเนียในมูลสัตว์ ทำความสะอาดน้ำที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์น้ำ การที่แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟสามารถช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพในการเพิ่มน้ำหนักของสัตว์ได้ เนื่องมาจากช่วยลดการดูดซึมแอมโมเนียซึ่งเกิดจากการสลายตัวของโปรตีนระหว่างขบวนการย่อยอาหารในทางเดินอาหาร (Visek, 1978) หรืออาจช่วยลดการดูดซึมของสารพิษที่เกิดจากการสลายตัวของจุลินทรีย์ในลำไส้ (Yokoyama et al., 1982)

Thomas (www, 2002) รายงานว่า การใช้ซีโอไลท์ ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง ช่วยในแง่ของเป็นแหล่งปลดปล่อยไนโตรเจนให้กับจุลินทรีย์ในรูเมน ซึ่งจากการทดลอง พบว่า โค แพะ และแกะ ที่ได้รับสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้ (NPN) ซีโอไลท์ จะจับ NH_4^+ ไว้ประมาณ 15% เป็นเวลาหลายชั่วโมง ต่อเมื่อ Na^+ เข้าสู่กระเพาะรูเมนขณะที่สัตว์กำลังเคี้ยวเอื้องก็จะค่อยๆ ถูกปลดปล่อยออกมาทำให้จุลินทรีย์นำไปใช้ประโยชน์ในการสังเคราะห์โปรตีนมากขึ้นและใช้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น และยังช่วยป้องกันอันตรายจากการได้รับแอมโมเนียสูงอันเนื่องมาจากการใช้ NPN ได้ด้วย นอกจากนี้ซีโอไลท์ยังช่วยกระตุ้นผนังกระเพาะและลำไส้ให้ผลิต antibiotic เพื่อต้านทานโรคทางเดินอาหารได้ดีขึ้น โดยเฉพาะสารพิษที่เกิดจากเชื้อรา

Harvey et al. (1991) ได้ทดลองเสริม HSCAS ระดับ 2% ลงในอาหารข้นที่มีอะฟลาทอกซินระดับ 2.6 ppm ให้แกะเพศผู้ตอน (น้ำหนักประมาณ 34 กิโลกรัม) กินอาหารทดลองเป็น

ระยะเวลา 42 วัน พบว่าแกะที่กินอาหารข้นที่มีอะฟลาทอกซินแต่ไม่มีการเสริม HSCAS จะมีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในขณะที่แกะกลุ่มที่กินอาหารที่มีสารพิษแต่เสริม HSCAS มีน้ำหนักตัวไม่แตกต่างจากกลุ่มเปรียบเทียบที่กินอาหารปราศจากสารพิษ แสดงให้เห็นว่า HSCAS ในระดับ 2% สามารถช่วยลดความเป็นพิษของอะฟลาทอกซินในระดับ 2.6 ppm ในแกะได้

จากการศึกษาในโคนมพบว่า การเสริม HSCAS ระดับ 1% ในอาหารโคนมที่มีการปนเปื้อนด้วยอะฟลาทอกซินในระดับ 100 ppb ในอาหารข้น สามารถช่วยลดปริมาณอะฟลาทอกซิน M_1 ในน้ำนมโคลงได้ถึง 42% (Harvey et al., 1988) และจากการศึกษาในห้องปฏิบัติการของ Phillips et al. (1992) พบว่า HSCAS สามารถดูดซับสารพิษอะฟลาทอกซินที่มีอยู่ในน้ำนมลงได้

2.3 ความต้องการแร่ธาตุของโคนม

โคนมมีความต้องการแร่ธาตุเพื่อใช้ในการดำรงชีพ การเจริญเติบโต การให้ผลผลิตและการสืบพันธุ์เช่นเดียวกับโภชนะอื่นๆ โดยมีแร่ธาตุสำคัญที่เกิดขึ้นในกระบวนการชีวเคมี 15 ชนิด เนื่องจากมีงานวิจัยยืนยันถึงความเป็นโภชนะ และมีความจำเป็น (essential elements) ซึ่งแร่ธาตุเหล่านี้จะขาดไม่ได้ในอาหารสัตว์ มีข้อสังเกตในการจัดแบ่งแร่ธาตุที่จำเป็นต่อสัตว์ ดังนี้คือ ความเข้มข้นของแร่ธาตุที่พบในสัตว์จะต้องไม่มีความแตกต่างในระหว่างสัตว์แต่ละตัว มีลำดับของแร่ธาตุเหมือนกันในเนื้อเยื่อที่ต่างกัน และสัตว์จะแสดงอาการขาดแร่ธาตุทั้งทางร่างกายและมีการเปลี่ยนแปลงทางชีววิทยาในระดับเนื้อเยื่อ เมื่อได้รับอาหารสังเคราะห์ที่มีแร่ธาตุชนิดนั้นขาดไป

2.3.1 บทบาททั่วไปของแร่ธาตุ (ฉลอง, 2543)

บทบาททั่วไปของแร่ธาตุในสิ่งมีชีวิต มีความแปรปรวนและมีความสัมพันธ์กับรูป (form)และ เงื่อนไข (condition) ของแร่ธาตุ แต่อย่างไรก็ตาม บทบาทของแร่ธาตุที่พบในร่างกายของสัตว์โดยทั่วไป มีดังนี้

2.3.1.1 แร่ธาตุมีบทบาทหน้าที่เกี่ยวกับโครงร่าง

โครงร่างของสิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่จะเป็นเนื้อเยื่อกระดูก ซึ่งมีเกลืออนินทรีย์หรือแร่ธาตุสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อกระดูกประมาณ 80% มีลักษณะโครงสร้างทางเคมีของเซลล์ดังนี้

$$[Ca_9^{2+}(H_3O^+)_2(PO_4^{3-})(OH^-)_2][Ca^{2+}Mg_{0.3}^{2+}Na_{0.3}^{2+}CO_3^{2-}(C_6O_7H_5^{3-})_{0.3}]$$

พื้นที่ผิวของกระดูกจะเป็นผลึกของ hydroxyapatite cells ซึ่งเป็นแหล่งสะสมสำรองสำหรับไอออนอิสระที่สำคัญที่ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนแร่ธาตุกับส่วนที่เป็นของเหลวในร่างกาย ที่มีความสำคัญในสัตว์โดยเฉพาะในช่วงที่กระบวนการเมตาบอลิซึมที่มีความต้องการแร่ธาตุมากๆ

เช่น ในช่วงตั้งท้องและ ช่วงให้นม ดังนั้นกระดูกจึงเป็นแหล่งสะสมสำหรับแร่ธาตุที่มีความต้องการโดยตัวอ่อนในท้องและสำหรับการให้ผลผลิต นอกจากนี้ยังช่วยเป็นแหล่งของแร่ธาตุใน buffer system เช่น Na^+, CO_3^{2-} และ Mg^{2+} และมีส่วนในการควบคุมระดับความเข้มข้นของ Ca^{2+} และ PO_4^{2-} รวมทั้งควบคุมความเป็นกรด-ด่าง (pH) ด้วย

2.3.1.2 แร่ธาตุกับความสมดุล

แร่ธาตุส่วนมากจะอยู่ในรูปเกลือในตัวกลางของเซลล์ (cell medium) ในของเหลวระหว่างเซลล์ ในเลือดและในน้ำเหลืองซึ่งมีส่วนช่วยทั้งทางตรงและทางอ้อมในการรักษาความสมดุลของกระบวนการการต่างๆในร่างกาย เช่น อุณหภูมิของร่างกาย ความดันออสโมซีสของของเหลว (osmotic pressure) ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน (H^+) และความเข้มข้นของโปรตีนและน้ำตาล ให้เป็นปกติ

1) การรักษาความสมดุลของไอออน ในภาวะปกติ แร่ธาตุซึ่งอยู่ในรูปของไอออนในของเหลวของร่างกาย จะรักษาสมดุลของประจุเพื่อให้เกิดความสมบูรณ์ในการทำหน้าที่ที่ของไอออนแต่ละตัวเพื่อการเคลื่อนย้ายไปยังเซลล์เป้าหมาย แร่ธาตุดังกล่าวจะมีประจุทางไฟฟ้า คือ ประจุบวก ได้แก่ Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} และ NH_4^+ ส่วนประจุลบ ได้จากองค์ประกอบของกรดต่างๆ เช่น Cl^-, HCO_3^-, HPO_4^{2-}, $H_2PO_4^-$ และ SO_4^{2-}

2) การรักษาความดันออสโมซีส ความดันออสโมซีสเป็นปัจจัยทางสรีรวิทยาที่สำคัญที่ทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายของน้ำและสารละลายในเนื้อเยื่อ ซึ่งแร่ธาตุที่มีผลต่อการรักษาความดันออสโมซีส ได้แก่ Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, HCO_3^-, Cl^-, HPO_4^{2-}, $H_2PO_4^-$ และ SO_4^{2-}

3) การรักษาสมดุลกรด-ด่าง ระบบการการปรับความเป็นกรด-ด่างในร่างกายมีสารประกอบที่มีความสำคัญ คือ โปรตีน (haemoglobin), carbonate และphosphate สารที่มีบทบาทในการปรับ pH ในเลือดและของเหลวทั่วไป คือ โปรตีน ส่วน carbonate และ phosphate มีบทบาทน้อยกว่ามาก ส่วนในเนื้อเยื่อ โปรตีนและ phosphate จะมีบทบาทมาก

3.1) Protein buffer system เป็นระบบที่ปรับความสมดุล pH ในเลือด โดยสารที่ช่วยในการปรับสมดุลนี้คือ $KHbO_2$ (potassium salts of oxyhaemoglobin)

3.2) Phosphate buffer system phosphate มีบทบาทที่ช่วยปรับ pH ทั้งในเนื้อเยื่อและเลือด แต่ส่วนมากจะมีบทบาทที่สำคัญในปัสสาวะ สารประกอบที่ช่วยในการปรับสมดุลในระบบ phosphate คือ Na_2HPO_4 (disubstituted sodium phosphate)

3.3) Carbonate buffer system มีบทบาทสำคัญต่อการรักษาสภาพความเป็นกรดในร่างกายโดยเฉพาะกรณีที่เกิดกรดแลคติคในร่างกายสูง สารประกอบที่ช่วยในการปรับสมดุล คือ $NaHCO_3$ (sodium bicarbonate)

4) แร่ธาตุกับระบบเอนไซม์ แร่ธาตุมีบทบาทในการเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของ enzyme โดยเพิ่มความสามารถในการเลือกจับกันของ enzyme กับสารตั้งต้น และมีผลโดยตรงกับกระบวนการขนถ่ายอิเลคตรอนของปฏิกิริยาออกซิเดชั่นในระหว่างการย่อย แร่ธาตุที่เกี่ยวข้องกับระบบ enzyme แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ metalloenzymes และ metal-activated enzyme โดยที่ metalloenzymes จะมี transition metals เป็นองค์ประกอบ ได้แก่ copper, iron และ zinc เป็นต้น ซึ่งมีความเสถียรสูงและอยู่ในส่วนสำคัญของการเกิดกิจกรรมของ enzyme และสำหรับ metal-activated enzyme จะทำหน้าที่ในการกระตุ้นการทำงานของ enzyme ตัวใดตัวหนึ่ง แร่ธาตุที่อยู่ในกลุ่มนี้จะเป็นแร่ธาตุประจุบวก มีประมาณ 15 แร่ธาตุ เช่น Na^{+}, Mg^{2+}, Cu^{2+}, Fe^{2+} เป็นต้น

5) แร่ธาตุกับฮอร์โมน แร่ธาตุมีความสัมพันธ์กับฮอร์โมนในหลายลักษณะทั้งโดยตรงและโดยอ้อม โดยแร่ธาตุจะเป็นส่วนประกอบในโครงสร้างของฮอร์โมน แร่ธาตุบางชนิดจะจับกับฮอร์โมนเพื่อทำให้เกิดการสร้างโมเลกุลและยืดอายุการทำงานของฮอร์โมน และฮอร์โมนอาจเป็นตัวพา (carrier) แร่ธาตุไปยังอวัยวะเป้าหมาย

6) แร่ธาตุกับจุลินทรีย์ จุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารมีความต้องการแร่ธาตุเพื่อกิจกรรมของจุลินทรย์เอง เช่น potassium มีความจำเป็นต่อการเจริญของแบคทีเรียบางกลุ่มเช่น Bacteriodes succinogenes phosphorus จำเป็นต่อกระบวนการใช้พลังงานและการเพิ่มจำนวนเซลล์ magnesium, iron, zinc และ molybdenum เป็นองค์ประกอบหรือเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของ enzyme ของแบคทีเรีย cobalt เป็นอาหารสำหรับจุลินทรีย์กลุ่มที่สังเคราะห์ vitamin B12 นอกจากนี้ potassium, sodium, chlorine และphosphorus ยังมีความจำเป็นต่อการปรับสมดุลของสิ่งแวดล้อมในกระเพาะรูเมนมีความเหมาะสมต่อจุลินทรีย์

2.3.2 แร่ธาตุที่จำเป็นต่อโคนม (ฉลอง, 2543)

แร่ธาตุที่จำเป็นต่อโคนมแบ่งตามปริมาณความต้องการและหน้าที่ของแร่ธาตุในร่างกายได้ 2 กลุ่ม คือ แร่ธาตุหลัก (macro minerals) และแร่ธาตุรอง (minor or trace minerals) ดังนี้

2.3.2.1 แร่ธาตุหลัก (macro mineral) เป็นแร่ธาตุที่สัตว์มีความต้องการในปริมาณกรัมต่อวัน หรือเป็นเปอร์เซ็นต์ของความต้องการของร่างกาย ได้แก่ calcium (Ca), phosphorus (P), sodium (Na),chlorine (Cl), magnesium (Mg), potassium (K), และ sulphur (S) ซึ่งแร่ธาตุดังกล่าวจะต้องอยู่ในรูป Ca^{+2}, PO_4^{-2}, Na^{+}, Cl^{-}, Mg^{+2}, K^{+}, และ SO_4^{-2} ตามลำดับ จึงจะทำให้สัตว์ดูดซึมและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดี แร่ธาตุหลักมีความสำคัญดังนี้

1.1) Calcium (Ca) เป็นแร่ธาตุที่มีความสำคัญในร่างกายสัตว์ สัตว์ที่โตเต็มที่มี calcium 3.5-4% ของน้ำหนักแห้งของเนื้อเยื่อทั้งหมด คิดเป็น 26-30%ในเถ้า (ash) การกระจายตัวของ

calcium ในร่างกายสัตว์ พบว่า 99% อยู่ในกระดูกในรูปของ hydroxyappatite crystals การสะสม calcium ในโครงร่างมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอายุสัตว์ โดยจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการเจริญเติบโต และเมื่อสัตว์โตเต็มที่แล้วอัตราการสะสม calcium จะลดลง calcium ที่สะสมอยู่ในกระดูกจะถูกนำมาใช้ในกระบวนการทางสรีรวิทยา เช่น การผลิตน้ำนม การสร้างโครงร่างใน fetus และใช้ในการรักษาสภาวะที่สมดุลในร่างกาย (homeostasis) ที่ผิวของกระดูกจะมีกระบวนการแลกเปลี่ยน calcium เกิดขึ้นตลอดเวลา calcium ที่มีอยู่ในกระดูกสามารถสูญเสียได้มากถึง 30-35% โดยไม่ทำให้สัตว์ตาย calcium ที่พบในเลือดส่วนมากจะอยู่ใน serum ประมาณ 10-12 mg/g ซึ่ง calcium ใน serum แบ่งออกเป็นส่วนที่สามารถซึมผ่านได้ประมาณ 65% และ 35%เป็นส่วนที่ไม่สามารถซึมผ่านได้ ในส่วนที่สามารถผ่านได้ส่วนมาก (≈ 85%) อยู่ในรูป Ca^{2+} ที่เหลือ (≈ 15%) จับอยู่กับ bicarbonate, phosphate และ citrate ส่วนในเม็ดเลือดแดงพบ calcium อยู่น้อยมาก ประมาณ 0.14-0.22 mg/g ในส่วนที่เป็นของเหลว สำหรับใน plasma โค มี calcium อยู่ระหว่าง 2.0-3.0 mmol/L (80-120 mg/L) สำหรับการขาด calcium แสดงออกมาในลักษณะที่เรียกว่า osteomalacia (ไม่มีการสร้าง แต่มีการดึง calcium ออกจากกระดูก) และ/หรือ osteoporosis (กระดูกมีรูพรุน เนื่องจากมีการดึงส่วนที่เป็น calcium และส่วนที่เป็นสารอินทรีย์) การพัฒนาของอาการจะค่อยๆ เกิด และทำให้ผลผลิต ความต้องการอาหารและการย่อยได้ลดลง และมีการยับยั้งการทำงานในการย่อยอาหาร ในกรณีที่มีปริมาณ calcium มากในอาหาร ผลที่เกิดขึ้นอาจเหมือนกับการขาด calcium ซึ่งโดยปกติไม่ค่อยเกิดมากนักในทางปฏิบัติ อัตราส่วน Ca:P ในอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้องที่มีมาก เช่น ถั่วอาหารสัตว์ ยอดอ้อย ชานอ้อย เป็นต้น อาจเพิ่มขึ้นจากระดับที่เหมาะสม 1.5 ถึง 2.1 เป็น 3:1 หรือ 5:1 ถึงแม้มี phosphorus อย่างเพียงพอในอาหาร

1.2) Phosphorus (P) เป็นแร่ธาตุที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการสร้างโครงร่างต่างๆ ในร่างกาย รวมทั้งในการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิต ซึ่งเกี่ยวข้องกับสารประกอบ phosphoric acid และมีผลต่อคุณภาพเนื้อ โดย phosphorus เป็นส่วนหนึ่งของ nucleiec acids ซึ่งเป็นตัวส่งผ่านรหัสพันธุกรรมที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการสังเคราะห์โปรตีนและภูมิคุ้มกัน phosphorus เป็นแหล่งประจุลบที่สำคัญในของเหลวภายในเซลล์ (intracellular anion) กระจายอยู่ทั่วไปในร่างกายในรูป inorganic P และรูปของสารประกอบอินทรีย์ เช่น phospholipid และ nucleiec acids ระดับของ phosphorus ในรูป inorganic P มีค่าปกติอยู่ระหว่าง 1.3-2.1 mmol/L (40-65mg/L) phosphorus ที่สัตว์ได้รับจากอาหารอยู่ในรูป mono-,di-, tri-substituted inorganicphosphates และสารประกอบอินทรีย์ เช่น phytates, phospholipids, phosphoproteins เป็นต้น สัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถละลาย phytates ได้จากการทำงานของ

phytases จากจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน ความเข้มข้นของ phosphorus ในของเหลวในกระเพาะรูเมนมีค่าอยู่ระหว่าง 30-40 mg% ส่วนมากอยู่ในรูปสารประกอบอนินทรีย์ ที่ได้จากการสลายสารประกอบอินทรีย์จากอาหารและจากน้ำลายที่หลั่งเข้ามา phosphorus มีความจำเป็นต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ ซึ่งในจุลินทรีย์มี phosphorus ที่รวมอยู่ในโปรตีนคิดเป็น 15 mg% phosphorus มีการดูดซึมที่กระเพาะรูเมนน้อยมาก ซึ่งการดูดซึมส่วนใหญ่เกิดที่ลำไส้เล็กตอนต้น และบางส่วนในลำไส้ใหญ่ การดูดซึม phosphorus จะลดลงถ้าในทางเดินอาหารมี iron, aluminium, lead, magnesium และ calcium เนื่องจากมีการรวมตัวกันเป็น insoluble phosphates การดูดซึมของ phosphorus ที่มีประสิทธิภาพควรมีปริมาณ calcium และ phosphorus ที่เหมาะสม ซึ่งควรมีสัดส่วน Ca:P ที่ 1:1 และ 2:1 และต้องมี vitamin D อย่างเพียงพอ เนื่องจาก vitamin D เป็นตัวกระตุ้นการดูดซึม phosphorus สำหรับการแสดงอาการขาด phosphorus ในสัตว์ที่เกิดใหม่ถ้าได้รับอาหารที่ไม่มี phosphorus หรือมีน้อยมาก ลูกสัตว์อาจตายได้ในเวลาไม่กี่สัปดาห์หลังคลอด แต่ถ้าได้รับในระดับค่อนข้างต่ำ ในลูกสัตว์จะแสดงอาการที่เรียกว่า rickets ซึ่งจะชะงักการเจริญเติบโต การสะสมแร่ธาตุในกระดูกลดลง และมีอัตราการตายสูง ระดับของ inorganic และ lipid phosphorus และ cholesterol ต่ำ ลดการเปลี่ยน carotene เป็น vitamin A ในโครีดนมที่ได้รับอาหารที่มี phosphorus ต่ำมีโอกาสแสดงอาการขาดได้ง่ายกว่าโคพักรีดนม ส่วนการได้รับ phosphorus มากเกินไปในลูกสัตว์ มีการแสดงออกคล้ายกับการได้รับ calcium ต่ำ ในสัตว์ที่โตเต็มที่เกิดขึ้นได้ยาก นอกจากการได้รับ phosphate ในระดับที่สูงมากๆ ผลที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะเกิดกับสัตว์ที่มีลูกดก โดยไปมีผลต่อการดูดซึม manganese

1.3) Potassium (K) เป็นแร่ธาตุประจุบวกที่สำคัญของของเหลวภายในเซลล์ ทำหน้าที่ในการรักษาสภาวะสมดุลของไอออนของของเหลวระหว่างภายในและภายนอกเซลล์รวมทั้งความเป็นกรดด่าง และความดันออสโมซีส potassium มีการกระจายตัวอยู่ทั่วร่างกายและเป็นหนึ่งในแร่ธาตุที่มีปริมาณสูงในร่างกาย คือ มี potassium ประมาณ 1.8-2.0 g/kg BW ใน plasma มีความเข้มข้นระดับปกติอยู่ระหว่าง 4.5-5.5 mmol/L (0.18-0.22 g/L) ในกระเพาะรูเมน potassium มีบทบาทในการรักษาสภาวะความเป็นกรดด่าง และรักษาความชื้นของของเหลวในกระเพาะรูเมน ที่มีผลทำให้กระบวนการหมักโดยจุลินทรีย์เป็นไปอย่างปกติ และมีความจำเป็นต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในกลุ่ม celluolytic bacteria potassium ที่อยู่ในอาหารจะอยู่ในรูปที่ง่ายต่อการละลายในระบบทางเดินอาหารของสัตว์ potassium สามารถถูกดูดซึมได้ตลอดทางเดินอาหาร โดยลำไส้เล็กเป็นแหล่งหลักที่มีการดูดซึมและสามารถดูดซึมได้ทั้งที่กระเพาะรูเมนและในลำไส้ใหญ่ โดยมีค่าการดูดซึมสูงเกือบ 100% นอกจากการนำไปใช้ในการให้ผลผลิตน้ำนมแล้ว จะถูกขับออกผ่านทางปัสสาวะประมาณ 75-86% สัตว์ที่ได้รับ potassium ไม่เพียงพอจะพบลักษณะอาการคือ ชะงักการ

เจริญเติบโต เบื่ออาหาร ซึ่งอาจเกิดจากการไม่สมดุลของแร่ธาตุประจุบวกภายในเซลล์และเกิดความผิดปกติของระบบประสาทและการทำงานของกล้ามเนื้อ การได้รับ potassium มากเป็นเวลานานในลูกโคจะแสดงอาการกล้ามเนื้ออ่อนแรง (muscular weakness) ลดการหมุนเวียนของเลือด บวมน้ำและตายในที่สุด

1.4) Sodium (Na) เป็นแร่ธาตุที่มีความจำเป็นในการรักษากิจกรรมของเนื้อเยื่อให้เป็นไปตามปกติ sodium เป็นแร่ธาตุประจุบวกใน plasma มีสัดส่วนสูงถึง 90% มีส่วนในการรักษาสมดุลของความดันออสโมซีส และระบบการรักษาความเป็นกรดด่าง มีความสำคัญต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน และการให้ sodium ในรูปของ sodium bicabonate จะทำหน้าที่เป็น buffer ในกระเพาะรูเมน ช่วยให้การดูดซึมของ fatty acid ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในสัตว์มีปริมาณของ sodium ประมาณ 1.1-1.4 g/kg BW และประมาณ 1 ใน 3 จะอยู่ในโครงร่างซึ่งจะช่วยให้เกิดการแข็งตัวของกระดูก (bone hardening) และที่เหลือจะอยู่ภายนอกเซลล์ ความเข้มข้นของ sodium ในเลือดมีค่าอยู่ระหว่าง 140-150 mmol/L (3.2-3.5 g/L) ซึ่งมีค่าความแปรปรวนที่แคบ ทั้งนี้เนื่องจาก sodium มีความสำคัญในกระบวนการส่งผ่านกระแสประสาท sodium มีการละลายได้จากอาหารค่อนข้างสูง จึงง่ายต่อการดูดซึม ความเข้มข้นของ sodium ในของเหลวในกระเพาะรูเมนมีค่าอยู่ระหว่าง 35-85 mEq/L ส่วนมากได้จากการหลั่งออกมากับน้ำลาย การดูดซึมของ sodium เป็นแบบ active transport ผ่านผนังกระเพาะและลำไส้ และมีการขับออกมากับมูลน้อย เนื่องจากมีการดูดซึมได้สูงมากกว่า 85% ซึ่งมีการขับออกกับมูลประมาณ 1.3 g/kg LW ในสัตว์ที่มีการขาด sodium จะมีการแสดงอาการกัดแทะก้อนแร่ธาตุ ซึ่งเป็นลักษณะการเลียแบบผิดปกติ หรือการเคี้ยวไม้ ดิน และเลียเหงื่อของสัตว์ตัวอื่น และอาจเกิดการให้ผลผลิตลดลงทั้งการให้นมหรือการเพิ่มน้ำหนักตัวลดลงอย่างรวดเร็ว

1.5) Magnesium (Mg) เป็นแร่ธาตุที่สำคัญในของเหลวภายในเซลล์ การกระจายตัวของ magnesium อยู่ในโครงร่างประมาณ 70% กล้ามเนื้อประมาณ 25% และอยู่ในของเหลวภายนอกเซลล์ประมาณ 1% ความเข้มข้นปกติของ magnesium ใน plasma มีค่าอยู่ระหว่าง 0.75-1.3 mmol/L (18-30 mg/L) magnesium ที่อยู่ในอาหารส่วนมากจะรวมตัวอยู่กับโปรตีน, organic acid anions เป็นส่วนประกอบของ chlorophyll และ phytin บริเวณที่มีการดูดซึมหลักคือที่กระเพาะรูเมน และดูดซึมได้บ้างที่ลำไส้ใหญ่ ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซึม ได้แก่ กรดอินทรีย์ คาร์โบไฮเดรต โปรตีนหรือไนโตรเจน กรดไขมันสายยาว ระดับของ potassium, calcium และ sodium โดยการดูดซึมของ magnesium ในลำไส้จะลดลงเมื่อมีระดับของ potassium, calcium, sulphate, phosphate ions, phytic และ oxalic acids สูงหรือมีระดับ sodium ในอาหารต่ำ magnesium ที่ได้รับจะถูกดูดซึมประมาณ 10-25% โดยกระจายไปยังเนื้อเยื่อกระดูกและกล้ามเนื้อ

เป็นส่วนใหญ่ ถูกขับออกทางมูลสูงและขับออกมาทางปัสสาวะเล็กน้อย สัตว์ที่ได้รับอาหารที่ขาด magnesium ความเข้มข้นของ magnesium ในเลือดจะลดลง เรียกว่า hypomagnesaemia ทำให้การเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตลดลง เมื่อระดับ magnesium ลดต่ำลงอีกอาจนำไปสู่การแสดงอาการ สั่นกระตุก และตายในที่สุด อย่างไรก็ตาม การแสดงอาการขาด magnesium อย่างเฉียบพลันที่นำไปสู่การแสดงอาการทางประสาท อาจเกิดขึ้นพร้อมๆ กับการเกิดการขาด calcium หรือไข้นม โดยเฉพาะโคนมที่ให้ผลผลิตน้ำนมสูงในช่วงต้นของการให้นม ซึ่งการแสดงอาการนี้มีความสัมพันธ์กับระดับ magnesium ในเลือด โดยปกติ magnesium ในเลือดมีความเข้มข้น 0.74-1 mmol/L (18-25 mg/L) แต่ในกรณีที่โคแสดงอาการ hypomagnesaemia มี magnesium ในเลือดเพียง 0.2 mmol/L (0.5 mg/L) ผลที่เกิดขึ้นอาจเป็นผลมาจากอาหารหยาบที่มี potassium สูง การมีแอมโมเนียไนโตรเจนสูงในกระเพาะรูเมน และการรบกวนระบบฮอร์โมนที่อาจมีส่วนควบคุมความสมดุลของ magnesium ในร่างกาย

1.6) Chlorine (Cl) เป็นแร่ธาตุประจุลบที่สำคัญในส่วนของของเหลวในร่างกาย มีส่วนร่วมในการรักษาสมดุลความดันออสโมซีส และการรักษาสมดุลของความเป็นกรด-ด่าง การกระจายของ chlorine ในร่างกายส่วนมากอยู่ในของเหลวภายนอกเซลล์ เช่น plasma, cerebrospinal fluid และในของเหลวที่ปกป้องและบำรุงเลี้ยงของระบบประสาทส่วนกลาง ระดับ chlorine ใน plasma มีค่าแคบๆ อยู่ระหว่าง 95-110 mmol/L (3.3-3.9g/L) ความเป็นประโยชน์ของ chlorine ในอาหารค่อนข้างสูง และในสัตว์เคี้ยวเอื้องพบว่า ความเข้มข้นของ chlorine ในของเหลวในกระเพาะรูเมนประมาณ 20-40 mEq/L มีการดูดซึม chlorine ผ่านผนังกระเพาะรูเมนแบบต่อต้านความเข้มข้น การดูดซึมจะเกิดขึ้นเมื่อระดับความเข้มข้นของ chlorine อยู่ในระดับต่ำสุด (35-40 mEq/L) ที่จะทำให้เกิดสภาวะการดูดซึมที่เป็นแบบต่อต้านความเข้มข้นและกระแสไฟฟ้า การดูดซึมของ chlorine แบบนี้ พบว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการดูดซึมแร่ธาตุประจุบวก คือ sodium, calcium และ magnesium ที่เป็นแบบคู่ขนานจากกระเพาะรูเมนไปสู่เลือด นอกจากนี้ chlorine ถูกขับออกมากับทางเดินอาหารส่วนมากขับออกมาจากส่วนของกระเพาะอะโบมาซัม chlorine มีการดูดซึมได้มากที่ลำไส้เล็ก การดูดซึม chlorine ที่ปรากฏพบว่าค่อนข้างสูง คือประมาณ 95% ของ chlorine ที่ได้รับจากอาหาร chlorine ที่มากเกินความต้องการจะถูกขับออกทางปัสสาวะ ส่วนน้อยออกมากับมูลหรือเหงื่อ ในกรณีที่สัตว์ได้รับ chlorine น้อยกว่าปกติ พบว่า การขับออกทางปัสสาวะจะลดลงมามากถึง 95% ขณะที่การขับออกมากับมูลลดลง 30% สำหรับการสูญเสีย chlorine จากภายในประมาณ 2.5 g/kg LW สำหรับการแสดงอาการขาด chlorine นั้นยังไม่เป็นที่แน่ชัด อย่างไรก็ตามจากการศึกษาในโคนมที่ได้รับอาหารสังเคราะห์ที่ขาด chlorine พบว่า โคนมแสดงอาการ เซื่องซึม ซูบผอม การกินอาหารลดลง การให้ผลผลิตน้ำนมลดลง

1.7) Sulphur (S) เป็นแร่ธาตุที่จำเป็นสำหรับจุลินทรีย์ในการใช้ประโยชน์จากแหล่งไนโตรเจนจากโปรตีนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้ (NPN) การย่อยเซลลูโลส และการสังเคราะห์กลุ่ม vitamin B ในกระเพาะรูเมนมี sulphur ค่อนข้างแปรปรวนขึ้นอยู่กับปริมาณที่ได้รับจากอาหาร และการหลั่งของน้ำลาย ซึ่งมีการดูดซึม sulphur ในรูปของ sulphide-S บางส่วนในกระเพาะรูเมนและ sulphur มีการหลั่งกลับคืนเข้ามาในกระเพาะรูเมนโดยผ่านทางน้ำลายในรูป SO_4^{2-} แต่หลั่งออกมากับน้ำดี และน้ำย่อยจากตับอ่อนจำนวนน้อย sulphur ที่ลำไส้เล็กอยู่ในรูปของ amino acid เป็นองค์ประกอบ และมีการดูดซึมที่ลำไส้เล็ก sulphur ที่อยู่ในรูป amino acid, sulphatifes, thiamine, pyrioxine และ biotin สามารถดูดซึมได้เลย แต่ sulphur ที่อยู่ในรูปที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีนจะถูกย่อยก่อนที่จะดูดซึม ส่วน inoganic sulphide-S ถูกดูดซึมได้เพียงเล็กน้อย หลังจากการใช้ประโยชน์จาก sulphur ในร่างกาย ส่วนมากจะได้สารประกอบ เช่น free or esterified sulphates, taurine, thiosulphates, sulphocyanates สารเหล่านี้ถูกขับออกมากับปัสสาวะ ซึ่งมีสัดส่วนของ mineral sulphur อยู่ประมาณ 80-85% esterified sulphur ประมาณ 5-8% และ neutral sulphur ประมาณ 10-14% สำหรับความเข้มข้นของ sulphur ใน plasma ระดับปกติมีค่าอยู่ระหว่าง 1.25-1.56 mmol/L (40-50 mg/L) การแสดงอาการขาด sulphur ไม่เจาะจงนัก มีการศึกษาในแกะที่ได้รับอาหารที่ sulphur ต่ำๆ พบว่า แกะมีการกินได้ที่ลดลงอย่างมาก รวมทั้งการย่อยได้ การเจริญเติบโตลดลง เนื่องจาก methionine ซึ่งมี sulphur เป็นองค์ประกอบและเป็นกรดอะมิโนที่จำกัดในอาหาร (ฉลอง, 2543)

2.3.2.2 แร่ธาตุรอง (minor or trace minerals) ได้แก่ cobalt (Co), chromium (Cr), copper (Cu), iodine (I), iron (Fe), manganese (Mn), selenium (Se) และ zinc (Zn) ซึ่งเวเลนซีที่สัตว์นำไปใช้ได้ดีคือ Co^{2+}, Cr^{2+}, Cu^{2+}, I^-, Fe^{2+}, Mn^{2+}, SeO_3^{2-} และ Zn^{2+} ตามลำดับ โดยมีความสำคัญดังนี้

2.1) Copper (Cu) ปริมาณการกระจายตัวของ copper ในร่างกายระหว่างเนื้อเยื่อจะแตกต่างกันตามอายุและสถานะของสัตว์ โดยตับถือว่าเป็นอวัยวะที่เป็นแหล่งสะสมของ copper ในร่างกาย พบว่ามี copper ประมาณ 40-70% ของ copper ทั้งหมดในร่างกายสัตว์ ในภาวะปกติ copper ใน plasma มีค่าอยู่ระหว่าง 12.6-18.9 µmol/L (0.8-1.2 mg/L) copper มีความสำคัญต่อการสร้างเม็ดเลือดแดง มีผลต่อการนำ iron ไปเป็นโครงสร้างของ heme และช่วยให้เม็ดเลือดแดงเจริญเต็มที่ นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับกระบวนการ osteogenesis, กระบวนการปกป้องต่างๆ ในร่างกาย เกี่ยวข้องกับ pigmentation และ keratinization ของขน และการสร้างโปรตีนที่มี copper เป็นองค์ประกอบคือ enzyme ต่างๆ ได้แก่ cytochrom oxidase, tyrosinase, ceruloplasmin, galactose oxidase และอื่นๆ ในระบบ enzyme โดย enzyme เหล่านี้เกี่ยวข้อง

กับกระบวนการ redox ในช่วงต้นของกระบวนการหายใจของเนื้อเยื่อ ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซึมของ copper ที่มีผลกระทบจากแร่ธาตุด้วยกัน คือ molybdenum และ sulphur ระดับของ molybdenum และ sulphur ที่มีอยู่ในอาหารมีผลต่อการดูดซึมของ copper โดย molybdenum และ sulphur ลดความเป็นประโยชน์ของ copper ในทางเดินอาหาร โดยจับกับ copper เป็นสารประกอบที่ไม่ละลายในทางเดินอาหาร คือ Cu-thiomolybdates ทำให้การดูดซึมของ copper ลดลง (Grace, 1983) การดูดซึม copper ในสัตว์ที่โตเต็มที่อยู่ระหว่าง 5-10% แต่ในลูกสัตว์ถูกดูดซึมประมาณ 15-30% การได้รับ copper ไม่เพียงพอ ในโคมีทำให้อาการ unthrifty การเจริญเติบโตลดลงและมีปัญหาทางระบบสืบพันธุ์ ลูกโคมีการเพิ่มน้ำหนักตัวน้อยและกระดูกแตกหักง่าย การทำงานของกระดูกสันหลังส่วนท้ายผิดปกติ ขนมีสีซีดจาง มีมูลเหลว ส่วนการได้รับ copper มากเกินไปเป็นเวลานาน จะทำให้เกิดดีซ่าน ไม่อยากกินอาหาร และนำไปสู่การตายเนื่องจากตับถูกทำลาย

2.2) Iron (Fe) สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมมี iron สะสมอยู่ในร่างกายประมาณ 0.9-1.3 mmol/kgBW (50-70mg/kg) โดยอยู่ในรูป hemoglobin ในรูป myoglobin 65% ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดสีแดงในเลือดและกล้ามเนื้อ 3% และเก็บสะสมอยู่ในรูปของสารประกอบและบางส่วนเกี่ยวข้องกับการส่งผ่านโปรตีน และ enzyme อีกประมาณ 30% hemoglobin และ myoglobin สามารถที่จะจับกับ O_2 และ CO_2 ที่ช่วยในการส่งผ่าน O_2 เข้าสู่เนื้อเยื่อและนำ CO_2 ออกจากเนื้อเยื่อ นอกจากนี้ iron ยังเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่มี heam ประกอบอยู่ (heam-containing complexes) เช่น cytochrome ที่มีความสำคัญในกระบวนการหายใจของเซลล์ และเป็นองค์ประกอบของ enzyme หลายชนิด การสะสม iron ในร่างกายอยู่ในรูป ferritin พบมากในตับ ม้าม และไขกระดูก (bone marrow) โดยปกติ iron ใน plasma มีค่าอยู่ระหว่าง 20-40 µmol/L (1.1-2.2 mg/L) ในน้ำนมมี iron ประมาณ 6-11 µmol/L (0.3-0.6 mg/L) ส่วนในนมน้ำเหลืองมี iron มากกว่า 3-5 เท่าของน้ำนม การสูญเสีย iron จากภายในส่วนมากมากับการหลั่งของน้ำดี และการหลุดลอกของเนื้อเยื่อในทางเดินอาหาร iron ในร่างกายจะอยู่ใน 2 รูป คือ Fe^{3+} (ferritin) อยู่ในเนื้อเยื่อ และ Fe^{2+} (transferring) อยู่ในเลือด โดยทั่วไปสัตว์ที่โตเต็มที่การดูดซึมของ iron อยู่ระหว่าง 5-10% ในอาหารที่มี iron อย่างเพียงพอ แต่อาจมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 15-20% ได้ในสัตว์ที่ได้รับอาหารที่มี iron ต่ำหรือในช่วงที่มี iron ในแหล่งสะสมต่ำส่วนในลูกโคมีการดูดซึม iron ได้ 15-20% ของ iron ที่มีอยู่ในน้ำนม แต่การดูดซึมของ iron ที่อยู่ในรูป iron sulphates หรือ oxides พบว่าการดูดซึมได้ไม่สูงนัก iron ที่สัตว์ได้รับจะถูกขับออกมากับมูลเป็นส่วนใหญ่และมีส่วนน้อยที่ขับออกมากับปัสสาวะ ภาวะการขาด iron จะทำให้สัตว์แสดงอาการ anorexia (ไม่อยากกินอาหาร)การเจริญเติบโตลดลง และมีอาการเหนื่อยล้า และเมื่อ iron ที่สะสมไว้ลดลงจะทำให้เกิด

โรคโลหิตจาง ในกรณีที่สัตว์ได้รับ iron มากเกินไป (500-600 mg Fe/kg DM) พบว่ามีผลต่อเมตาบอลิซึมของ copper ในลูกสัตว์ ผลผลิตน้ำนมลดลง น้ำหนักตัวลดลง และเกิดอาหารท้องร่วง

2.3) Zinc (Zn) มีปริมาณค่อนข้างสูงในร่างกาย ในเนื้อเยื่อมี zinc ประมาณ 0.23-0.8 mmol/kg (15-45 mg/kg) และมีอยู่มากในผิวหนัง ขน และเขา (1.5-4.5 mmol/kg หรือ 100-300 mg/kg) นอกจากนี้ยังพบ zinc มากในอวัยวะเพศผู้รวมทั้งในน้ำเชื้อ ความเข้มข้นของ zinc ในเลือดของโคมีค่าอยู่ระหว่าง 12-18.5 µmol/L (0.8-1.2 mg/L) ส่วนในน้ำนมมี zinc ประมาณ 0.05-1 µmol/L (3.2-6.5 mg/L) แต่ปริมาณ zinc ในน้ำนมเปลี่ยนแปลงได้ง่ายตามปริมาณ zinc ที่ได้รับ ระยะของช่วงการให้นม และนมน้ำเหลือง ซึ่งในนมน้ำเหลืองมีปริมาณ zinc มากกว่าน้ำนมปกติถึง 5 เท่า zinc มีการดูดซึมที่ลำไส้เล็กตอนต้นเป็นส่วนใหญ่ ปริมาณการดูดซึมของ zinc ในสัตว์เคี้ยวเอื้องที่โตเต็มที่มีค่าอยู่ระหว่าง 20-40% ส่วนในช่วงลูกสัตว์มีการดูดซึมที่สูงกว่า ในอาหารที่มีcalcium, phytic acid, phosphorus, cadmium, copper, vitamin D และ chelating agents เช่น EDTA จะมีผลต่อการลดการดูดซึม zinc ในลำไส้เล็กด้วย zinc มีบทบาทที่สำคัญในกระบวนการทางชีวเคมีในร่างกายที่มีผลต่อการเจริญเติบโตการเจริญพัฒนาหน้าที่ทางระบบสืบพันธุ์ การสร้างกระดูกและเลือด รวมทั้งกระบวนการเมตาบอลิซึมของกรดนิวคลีอิก โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต การขาด zinc ในโคจะแสดงลักษณะทางคลินิก คือ มีการหลั่งน้ำลายออกมามาก ขนแข็งกระด้างไม่มีความยืดหยุ่น และเกิดลักษณะของ parakeratosis อาการเหล่านี้มีผลทำให้การเจริญเติบโตลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าบาดแผลหายยากและมีความไวต่อการติดเชื้อโรค รวมทั้งการพัฒนาและการสร้าง sperm ลดลง ซึ่งความต้องการ zinc เพื่อการสืบพันธุ์พบว่ามีปริมาณมากกว่าเพื่อการเจริญเติบโต

2.4) Selenium (Se) ในสัตว์เลี้ยงมี selenium ประมาณ 20-25 µg/kg LW แต่ค่านี้อาจเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับปริมาณ selenium ในอาหาร นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับอายุสัตว์ด้วย selenium พบอยู่ทั่วไปในเนื้อเยื่อ, เซลล์ และของเหลวในร่างกาย แต่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน ความเข้มข้นของ selenium ในเลือดมีค่าอยู่ระหว่าง 50-180 µg/L ซึ่งความเข้มข้นของ selenium ในเม็ดเลือดแดงมีสัดส่วนเป็น 70% ของเลือดทั้งหมด selenium เป็นแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต และความสมบูรณ์พันธุ์ในสัตว์ มีผลต่อการป้องกันโรคหลายชนิดที่มีความเกี่ยวข้องกับ vitamin E เช่น การป้องกันเซลล์ถูกทำลาย selenium ที่ทำหน้าที่นี้จะอยู่ในรูป glutathione peroxidase (GSH-Px) นอกจากนี้ selenium สามารถที่จะจับกับโลหะหนัก เช่น cadmium และ mercury ซึ่งช่วยป้องกันความเป็นพิษของโลหะหนักได้ selenium ที่ได้รับจากอาหารจะถูกดูดซึมอย่างรวดเร็วที่บริเวณส่วนปลายของลำไส้เล็กจะเกิดการดูดซึมขึ้นมากที่สุด ส่วนการขับออกของ selenium จากภายในเข้ามาทางเดินอาหารจากส่วน duodenum โดยมากับน้ำดีในรูป taurine และน้ำย่อยจากตับอ่อน

ปริมาณการดูดซึมของ selenium ในสัตว์เคี้ยวเอื้องประมาณ 35% และการดูดซึม selenium จะสูงขึ้นในสัตว์ที่ได้รับอาหารที่มี selenium น้อย selenium ในอาหารที่อยู่ในรูป selenium-amino acid จะสูงกว่าในรูป selenite โคที่ได้รับ selenium ไม่เพียงพอจะเกิดอาการของ white muscle disease ส่วนการได้รับมากเกินไปอาจทำให้เกิดความเป็นพิษทั้งแบบฉับพลันและแบบเรื้อรัง เช่น การเกิด alkaline disease

2.5) Manganese (Mn) มีบทบาทสำคัญในการทำหน้าที่เป็น co-factor ของ enzyme หลายๆ ตัว และเป็นองค์ประกอบของ enzyme ที่สำคัญในกระบวนการทางชีวเคมีหลายกระบวนการ โดยเฉพาะ redox processes คือ การสังเคราะห์ mucopolysaccharides, การสังเคราะห์ cholesterol, การสังเคราะห์กลูโคส (gluconeogenesis) โดยเฉพาะการสังเคราะห์กลูโคสจากสารตั้งต้นที่เป็น amino acid และการใช้ประโยชน์ของกลูโคส manganese มีการขับออกมากับมูลสูงประมาณ 94% ของ manganese ที่ได้รับ และขับออกมากับปัสสาวะน้อยมากคือประมาณ 1.6% ของ manganese ที่ได้รับ manganese มีการดูดซึมที่ลำไส้เล็กและลำไส้ใหญ่ และมีการควบคุมภาวะสมดุลของร่างกายของ manganese โดยเพิ่มการหลั่ง manganese กลับเข้ามาในทางเดินอาหาร ผ่านทางน้ำดีและมีบ้างจากน้ำย่อยจากตับอ่อนและจากทางเดินอาหาร มีการดูดซึมที่บริเวณ duodenum สัตว์เคี้ยวเอื้องอาจดูดซึมได้สูงถึง 10-18% manganese ถือว่ามีความสำคัญยิ่งต่อจุลินทรีย์ที่อยู่ในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้อง ช่วยในกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมนซึ่งจะส่งเสริมการทำงานของ bacterial deaminase และกระบวนการหมักของคาร์โบไฮเดรต molybdenum มีผลทำให้การทำงานของ manganese ลดลง ในสัตว์ที่อายุน้อยที่ได้รับอาหารที่มีmanganese ต่ำ จะเกิดความผิดปกติในการสร้างกระดูก ส่วนในสัตว์ที่โตเต็มที่มีปัญหาทางด้านการสืบพันธุ์ เช่น ทำให้เกิดการเป็นสัดช้าหรือขยายช่วงของการแสดงอาการเป็นสัด (oestrous) มีอัตราการผสมติดต่ำในโค

2.6) Iodine (I) สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมมีปริมาณ iodine สะสมอยู่ในร่างกายประมาณ 50-200 µg/kg BW แต่ค่านี้มีความแปรปรวนสูงขึ้นอยู่กับปริมาณ iodine ในอาหารที่สัตว์ได้รับ อย่างไรก็ตามปริมาณ iodine จะลดลงตามอายุ เนื่องจากมีการลดลงของกิจกรรมของต่อมไธรอยด์ โดยปกติ iodine มีอยู่มากในต่อมไธรอยด์ประมาณ 70-80% กล้ามเนื้อ 10-12% สันหลัง 3-4% โครงร่าง 3% และอวัยวะอื่นๆ 5-10% สำหรับในเลือดทั้งหมด (whole blood) มี 50-150 µg/L ส่วน plasma มีเพียง 50-70 µg/L iodine ที่พบอยู่ใน plasma อยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ที่ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของฮอร์โมนที่จับอยู่กับโกลบูลินเป็นส่วนใหญ่ และจับกับอัลบูมินอีกเล็กน้อย iodine ที่ได้รับจากอาหาร น้ำ และแร่ธาตุเสริมจะถูกย่อยสลายให้เป็น iodides และถูกดูดซึมที่กระเพาะรูเมนและลำไส้เล็ก ซึ่งมีค่าการดูดซึมประมาณ 60% จากนั้นจะถูกนำไปเก็บไว้ที่

ต่อมไธรอยด์ทันที แล้วเกิดการเมตาบอไลซ์เป็นไธรอยด์ฮอร์โมนกลับออกมาในเลือด และถูกนำไปใช้สังเคราะห์น้ำนมเป็นปริมาณมาก ส่วนในช่วงที่มีการเจริญของ follicle ในรังไข่ รังไข่สามารถนำ iodine มาใช้ได้ในสัดส่วนเดียวกับต่อมไธรอยด์ และในช่วงตั้งท้อง iodine จะถูกดูดซึมผ่านรกเพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของ fetus การขาด iodine มีผลต่อการสังเคราะห์ thyroxin และ triiodotyronine ในต่อมไธรอยด์ ทำให้มีการขยายขนาดเนื้อเยื่อเกี่ยวพันของต่อมไธรอยด์ ในลูกโคและโคที่โตเต็มที่ ถ้าขาด iodine เป็นเวลานาน อาจมีผลต่อการทำงานของรังไข่ ในบางกรณี การแสดงอาการขาด iodine อาจเนื่องจากสาเหตุอื่น เช่น การได้รับสารที่เป็น goitrogens ที่มีอยู่ในกากถั่วเหลืองและถั่วอาหารสัตว์ ซึ่งมีสาร thioglucoside, thiocyanate และ perchlorate groups โดยสารเหล่านี้ไปขัดขวางการดึง iodine อิสระเข้าไปในต่อมไธรอยด์ ส่วนการเกิดการเป็นพิษเนื่องจาก iodine ที่มีอยู่ในอาหารปกติ มีโอกาสเกิดขึ้นน้อยมาก เนื่องจากสัตว์มีความทนต่อแร่ธาตุ iodine ในระดับที่สูง ความเป็นพิษในระดับที่สูงเกินไป ในโคอาจมีผลให้อัตราการเจริญเติบโตหรือน้ำหนักเพิ่มลดลง มีอาการไอ ขับของเสียผ่านทางจมูก และมีระดับฮีโมโกลบินลดลง

2.7) Chromium (Cr) พบในเนื้อเยื่อในรูปของ organometalic molecule ที่มี Cr^{3+}, niconitic acid, glutamic acid, glycine และ cysteine เป็นองค์ประกอบ chromium ในรูป Cr^{3+} เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของ glucose tolerance factor (GTF) ที่มีความสำคัญต่อ insulin hormone ในเนื้อเยื่อ โดยทำให้เกิดการจับตัวของ insulin hormone กับ receptor ที่เนื้อเยื่อได้ง่าย ทำให้ insulin hormone มีความเสถียรขึ้น (Toepfer et al., 1977) อย่างไรก็ตามความต้องการของ chromium ที่มีการตอบสนองที่ดีนั้น ก็ต่อเมื่อสัตว์อยู่ในสภาวะที่เกิดความเครียด Yang et al. (1996) พบว่าการเสริม chromium ในโคนมที่อยู่ในสภาวะ peripaturient สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบภูมิคุ้มกัน ปรับปรุงสภาวะของพลังงาน (reduced liver triglyceride accumulation) เพิ่มการกินได้ เพิ่มผลผลิตน้ำนม และยังเพิ่มการให้ผลผลิตในโคสาว (primiparous cows) มากกว่าในโคนมที่ให้นมมาแล้ว (multiparous cows) สำหรับความเป็นพิษของ chromium อาจเกิดขึ้นได้โดยเฉพาะในรูป Cr^{6+} (chromium trioxide, chromates, bichromates) โดย Cr^{6+} จะถูกดูดซึมผ่านเข้าสู่เซลล์ได้ง่ายกว่า Cr^{3+} และจะไปกดการใช้ oxygen ของ mitochondria โดยจะไปยับยั้งการใช้ enzyme alpha-ketoglutarate dehydrogenase (Ryberg and Alexsandra, 1990) สำหรับปศุสัตว์ สามารถทนต่อสภาวะที่มี chromium โดยไม่แสดงอาการเป็นพิษในระดับ 3,000 mg/kg อาหารในรูป chromium oxide หรือ 1,000 mg/kg อาหารในรูป chromium chloride ส่วนในรูป Cr^{6+} ปริมาณที่ทำให้เป็นพิษประมาณ 5 เท่า

2.8) Cobalt (Co) ถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์ vitamin B12 และ vitamin ตัวอื่นๆ โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน ดังนั้นหน้าที่และบทบาทของ cobalt สามารถดูได้จากหน้าที่ของ vitamin B12 ซึ่ง vitamin B12 ในร่างกายมีส่วนในการควบคุมกระบวนการ hemopoiesis (กระตุ้นการสังเคราะห์การสังเคราะห์ protoporphyrin) และเกี่ยวข้องกับกระบวนการเมตาบอลิซึมของไนโตรเจน กรดนิวคลีอิก คาร์โบไฮเดรต และแร่ธาตุ รวมทั้งมีความสำคัญต่อการใช้ประโยชน์ของกรดโพรพิโอนิก ในปฏิกิริยาของ mutase ในการเปลี่ยน methylmalonyl-CoA เป็น succinyl-CoA การดูดซึมของ vitamin B12 เกิดขึ้นที่ลำไส้เล็ก และการไหลผ่านของอาหารในทางเดินอาหารที่ช้าสามารถเพิ่มการดูดซึมของ vitamin B12 โดย มีปริมาณการดูดซึม ประมาณ 3-33% cobalt มีอยู่ในร่างกายประมาณ 30-60 μg/kg LW cobalt จากอาหารจะอยู่ในรูป vitamin B12 , cobalt-protein complexes และเกลืออนินทรีย์ การดูดซึมของ cobalt เกิดขึ้นที่ลำไส้เล็กเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากผนังกระเพาะรูเมนไม่ยอมให้ cobalt ซึมผ่านได้ การขับออกของ cobalt จากภายในทางเดินอาหารส่วนใหญ่มาจากน้ำดี และขับออกผ่านทางไต ในโครีดนมที่ได้รับ cobalt จากอาหารในระดับปกติมีการขับ cobalt ออกมากับมูล 86-87.5% ของ cobalt ที่ขับออกจากร่างกายทั้งหมด โดย 0.9-1.0% ขับออกมาทางปัสสาวะและ 11.5-12.5% ออกมาทางน้ำนม ในขณะที่โคไม่รีดนมจะขับ cobalt ออกมากับมูล 98-98.5% และปัสสาวะ 1.5-2.0% ในสัตว์ที่ขาด cobalt มีลักษณะอาการของ hypocobaltoses คือ anaemia, ไม่อยากอาหาร ลักษณะของขนเปลี่ยนแปลง และปริมาณ vitamin B12 ลดลง ส่วนการได้รับ cobalt มากเกินไปทำให้เกิด polycytaemia ไม่อยากอาหารและชะงักการเจริญเติบโต

2.3.3 เมตาบอลิซึมของแร่ธาตุในทางเดินอาหาร

แร่ธาตุที่พบในทางเดินอาหารและในน้ำย่อยจากทางเดินอาหารที่อยู่ใน chyme จะอยู่ในรูปของ ion และจับอยู่กับสารประกอบอินทรีย์ และในบางสภาวะจะอยู่ในรูปของเกลือที่ละลายได้ต่ำ ซึ่งจะทำให้แร่ธาตุไม่สามารถดูดซึมได้ดี

การหลั่งน้ำย่อยเข้ามาในทางเดินอาหารและการดูดซึมแร่ธาตุจะเกิดขึ้นพร้อมๆ กันตลอดทางเดินอาหาร ซึ่งเป็นการแลกเปลี่ยนแร่ธาตุระหว่างทางเดินอาหารและเลือด แต่ปริมาณการหลั่งและการดูดซึมจะแตกต่างกันไปในแต่ละตำแหน่งของทางเดินอาหาร

แร่ธาตุในระบบทางเดินอาหารมาจาก 2 แหล่งคือ จากภายนอก (exogenous) และจากภายในตัวสัตว์เอง (endogenous)

แร่ธาตุจากภายนอก ได้รับมาจากอาหาร น้ำ และสัตว์ที่เลี้ยงแบบปล่อยแปลงอาจได้รับแร่ธาตุจากดินซึ่งคิดเป็น 10-14% ของวัตถุแห้งของอาหาร แร่ธาตุเหล่านี้อาจอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ เช่น ในรูป oxalates, chlorophyll หรืออาจอยู่ในรูปของสารอนินทรีย์ เช่น เกลือของ

phosphoric sulphuric และกรดต่างๆ ปริมาณแร่ธาตุที่ได้รับจากภายนอกมีความแปรปรวนขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ อายุและชนิดของสัตว์ รูปแบบการให้อาหาร ความเข้มข้นของแร่ธาตุในอาหาร รวมทั้งชนิดของแร่ธาตุที่เสริมในอาหาร

แร่ธาตุจากภายใน ได้รับจากน้ำลายและน้ำย่อยต่างๆ ซึ่งเป็นปริมาณค่อนข้างมาก วิธีการวัดและปริมาณแร่ธาตุที่หลั่งออกมานั้นไม่สามารถวัดค่าที่แน่นอนได้ เนื่องจากกระบวนการหลั่งและการดูดซึมเกิดขึ้นพร้อมกันตลอดเวลา

2.3.4 การดูดซึมแร่ธาตุในทางเดินอาหาร

การดูดซึมแร่ธาตุในระบบทางเดินอาหารของสัตว์นั้น แร่ธาตุแต่ละตัวมีบริเวณที่เกิดการดูดซึมหลัก (site of major absorption) และบริเวณที่เกิดการดูดซึมรอง (site of minor absorption) นอกจากนี้ แร่ธาตุแต่ละตัวจะมีการดูดซึมได้มากกว่า 1 แบบ ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะทางเคมีของแร่ธาตุนั้นๆ ซึ่งลักษณะการดูดซึมของแร่ธาตุที่เกิดขึ้นในทางเดินอาหารอาจเกิดขึ้นได้ 2 แบบ (ชุมพล, 2542) คือ

2.3.4.1 การดูดซึมโดยไม่ใช้พลังงาน (passive transport)

1) simple diffusion คือการเคลื่อนที่ของสารจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า เพื่อให้มีการกระจายตัวของสารอย่างสม่ำเสมอ การแพร่สุทธิของสารจากบริเวณหนึ่งไปยังอีกบริเวณหนึ่งจะยุติลงเมื่อความเข้มข้นของสารทั้งสองบริเวณนั้นเท่ากัน แร่ธาตุที่มีการดูดซึมโดยกระบวนการ simple diffusion ได้แก่ KCl, P และ Ca (Pond et al., 1995)

2) facilitated diffusion คือ การเคลื่อนที่ของสารเมื่อมีความแตกต่างของความเข้มข้นของสารระหว่างเยื่อเซลล์เช่นเดียวกับ simple diffusion แต่จะมีอัตราการแพร่เร็วกว่า การดูดซึมแบบนี้เกิดขึ้นกับแร่ธาตุที่มีความจำเพาะเจาะจงกับสารตัวพา ซึ่งอาจจะเป็นสารคีเลต หรือ bind protein โดยการดูดซึมแบบนี้จะเกิดขึ้นในบริเวณที่เฉพาะที่ (channel) ของแร่ธาตุนั้นๆ แร่ธาตุที่มีการดูดซึมแบบจำเพาะเจาะจงกับสารตัวพา ได้แก่ Ca, Fe, Cu และ Zn (Pond et al., 1995)

2.3.4.2 การดูดซึมโดยใช้พลังงาน (active transport)

การดูดซึมโดยใช้พลังงาน (active transport) คือ การดูดซึมที่เกิดจากของเหลวที่มีไอออนที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า ซึมผ่านเมมเบรนไปยังของเหลวที่มีความเข้มข้นที่สูงกว่า (against concentration gradients) การดูดซึมแบบนี้จำเป็นต้องใช้พลังงานจากเมตาบอลิซึมของเซลล์ในรูปของ ATP (adenosintriphosphate) หรืออาจจะไม่ใช้พลังงานจากเมตาบอลิซึมของเซลล์โดยตรงโดยใช้พลังงานจาก concentration gradient และ electrochemical gradient แร่ธาตุที่มีการดูดซึมโดยใช้พลังงาน ได้แก่ Na, K และ Mg (Pond et al., 1995)

2.3.5 คุณสมบัติของแร่ธาตุที่สำคัญทางโภชนศาสตร์ (นัยนา, 2546)

1) การละลายน้ำ แร่ธาตุที่ละลายน้ำได้ดีจะดูดซึมที่ลำไส้เล็กได้ดี ซึ่งธาตุที่มีวาเลนซี 1 เช่น Na^+ และ K^+ เมื่ออยู่ในรูปเกลือจะละลายน้ำได้ดีกว่าธาตุที่มีวาเลนซีมากกว่า 1 เช่น Ca^{2+} และ Mg^{2+}

2) วาเลนซี (valency) ธาตุที่มีวาเลนซีมากกว่าหนึ่งรูปจะมีความสามารถในการละลายต่างกัน เช่น iron มีวาเลนซี 2 และ 3 (ferrous, Fe^{2+} และ ferric, Fe^{3+}) จะเปลี่ยนกลับไปมาได้ในร่างกายโดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน (redox) ซึ่ง Fe^{2+} ในน้ำที่ pH ประมาณ 7 จะอยู่ในรูป $Fe(OH)_2$ ละลายน้ำได้ 0.1M ในขณะที่ Fe^{3+} อยู่ในรูป $Fe(OH)_3$ ละลายน้ำได้เพียง 10^{-8}M ในลำไส้เล็ก (pH ประมาณ 8) Fe^{2+}ละลายน้ำได้ดีกว่า Fe^{3+}

3) ปฏิสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุและกับโภชนะอื่นๆ ซึ่งอาจจะเป็นในลักษณะที่ต่อต้านหรือขัดขวางหรือยับยั้งการใช้ประโยชน์ของแร่ธาตุ (antagonism) หรือเป็นลักษณะส่งเสริมหรือช่วยเหลือซึ่งกันและกัน (synergistic) โดยอาจเกิดขึ้นทั้งในอาหารสัตว์ ในทางเดินอาหารและในระหว่างการเกิดกระบวนการเมตาบอลิซึมในเนื้อเยื่อและเซลล์

3.1) ปฏิสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุกับแร่ธาตุ แร่ธาตุที่มีประจุเหมือนกัน วาเลนซีเท่ากัน จะแข่งขันการดูดซึมที่ลำไส้เล็ก เช่น Mg^{2+} Ca^{2+} Fe^{2+} Zn^{2+} และ Cu^{2+} มีประจุบวกและวาเลนซี 2 เท่ากัน การได้รับชนิดใดชนิดหนึ่งมากเกินไปในมื้อเดียวกันจะมีผลลดการดูดซึมของอีกชนิดหนึ่ง

3.2) ปฏิสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุกับโปรตีน ความเข้มข้นและส่วนประกอบของโปรตีนในอาหาร มีผลต่อการใช้ประโยชน์ของ phosphorus, magnesium, zinc และcopper

3.3) ปฏิสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุกับไขมัน ปริมาณไขมันมีผลต่อการดูดซึมของ magnesium และ calcium และ vitamin D มีผลต่อการดูดซึมของ calcium, phosphorus, magnesium และ zinc

3.4) ปฏิสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุกับวิตามิน วิตามินบางชนิดมีผลต่อการดูดซึมแร่ธาตุที่จำเป็นบางชนิด เช่น vitamin D ช่วยในการดูดซึม calcium, vitamin C ช่วยในการดูดซึมของiron, วิตามินบางชนิดจำเป็นต้องใช้แร่ธาตุบางชนิดเพื่อการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การทำงานของ coenzyme vitamin B1 จะต้องใช้ magnesium หรือ manganese ร่วมด้วย เป็นต้น

3.5) ปฏิสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุกับเยื่อใย อาหารที่มีเยื่อใยสูงจะลดการดูดซึมของแร่ธาตุโดยเฉพาะแร่ธาตุที่มีวาเลนซีมากกว่า 1 เช่น Fe^{2+} Ca^{2+} และ Mg^{2+}

4) สารประกอบในอาหาร บางชนิดขัดขวางการดูดซึมของแร่ธาตุที่มีวาเลนซีมากกว่า 1 (multivalent elements) สารประกอบเหล่านี้ได้แก่ phytate, oxalate และ tannin จะจับกับแร่ธาตุได้เป็นเกลือไฟเตท เกลือออกซาเลท และสารประกอบเชิงซ้อนของแทนนินซึ่งไม่ละลายน้ำและไม่ดูดซึมในลำไส้เล็ก

5) ความเป็นพิษของแร่ธาตุ การได้รับแร่ธาตุโดยเฉพาะ trace minerals มากเกินความต้องการของร่างกายสัตว์ จะทำให้เกิดภาวะเป็นพิษ

2.4 ความต้องการพลังงานในโคนม

ในสัตว์ทุกชนิดรวมทั้งสัตว์เคี้ยวเอื้อง มีความต้องการพลังงานระดับหนึ่ง เพื่อการดำรงชีพ (requirement for maintenance) เพื่อการเจริญเติบโต (requirement for growth) เพื่อสร้างผลผลิต (requirement for production) และเพื่อการสืบพันธุ์ (requirement for reproduction) โดยพลังงานดังกล่าวอยู่ในรูปของพลังงานใช้ประโยชน์ (metabolisable energy, ME) และพลังงานสุทธิ (net energy, NE)

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

$$NE_{LR} = NE_{LM} \pm NE_{LG} + NE_{LL}$$

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

2.4.1 ความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพ (net energy lactation requirement for maintenance)

ความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพขึ้นอยู่กับกิจกรรมของตัวสัตว์ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับขนาดรูปร่างและพันธุ์ การหา NE_M ของโคนมที่ให้นมสามารถหาได้จากสมการ $0.073LW^{0.75}$ (NRC, 1988) อย่างไรก็ตามในสมการดังกล่าวได้มีการเผื่อในกิจกรรมบางส่วนอีก 10 % ซึ่งจะได้สมการที่ใช้ในการหา NE_M คือ $0.08LW^{0.75}$ (NRC, 1988) มีการศึกษากับการเลี้ยงโคนมโดยการปล่อยเลี้ยงในทุ่งหญ้าโดยการเพิ่มระยะทางในการเดินของโคนมและพบว่าในทุ่งหญ้าที่มีหญ้าไม่สมบูรณ์อาจจะมีการเผื่อในการคำนวณต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพจาก 10% เป็น 20% ก็ได้

นอกจากกิจกรรมของตัวโคนมเองแล้วสิ่งแวดล้อมรอบตัวของโคนมนั้นก็มีผลต่อความต้องการพลังงานด้วยเช่นกัน

ในขณะที่โคสาวนั้นจะมีสมการในการหาความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพคือ

$$NE_M = 0.086LW^{0.75} \text{ (NRC, 1988)}$$

2.4.2 ความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโต (net energy lactation requirement for growth)

ความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโต ในการเจริญเติบโตของสัตว์นั้นดัชนีที่บ่งบอกได้อย่างชัดเจนก็คือน้ำหนักตัวของตัวสัตว์ Moe and Tyrrell (1974) พบว่าพลังงานที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว 1 kg นั้นมีค่าพลังงานเท่ากับ 6 Mcal ซึ่ง Moe and Tyrrell (1972) ได้ประมาณการใช้พลังงานเพื่อการเจริญเติบโตไว้ว่า การสร้างน้ำนม 1 kg นั้น จะมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานจากน้ำหนักตัว 82% ดังนั้นในการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวที่ลดลง 1 กิโลกรัมของโคนมในระยะการให้นม นั้นจะต้องการพลังงานเท่ากับ (6.00)(0.82) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.92 Mcal ในขณะที่การเพิ่มน้ำหนักตัว 1 kg นั้นของโคนมในระยะการให้นม ประสิทธิภาพของการใช้ ME ในการสร้างน้ำนม 1 kg มีค่าเท่ากับ 64% และประสิทธิภาพของการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 kg ของโคนมในระยะให้นมนั้นมีค่าเท่ากับ 75% ดังนั้นในการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 kg ของโคนมในระยะให้นมนั้นจะต้องการพลังงานเท่ากับ (6.00)(0.64/0.75) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.12 Mcal ซึ่งการคำนวณความต้องการสำหรับการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวของโคนมนั้นเพื่อที่จะช่วยในการ ป้องกันการขาดพลังงานของโคนมในระยะให้นมในระยะต่างๆ (NRC, 1988)

ในขณะที่โคสาวจะมีความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโต

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

อย่างไรก็ตาม NRC (2001) ได้ปรับปรุงการประเมินความต้องการพลังงาน โดยยึดหลักการที่ว่าดัชนีบ่งชี้ถึงความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตควรจะเป็น body condition score มากกว่าการใช้น้ำหนักตัวตาม NRC (1988) ฉะนั้นจึงควรใช้สมการดังต่อไปนี้ในการประเมินความต้องการพลังงานเพื่อการเพิ่มหรือลดน้ำหนักตัว ทั้งนี้เพราะ ประสิทธิภาพของการใช้ NE ในการสร้างน้ำนม 1 kg มีค่าเท่ากับ 64% ประสิทธิภาพของการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 kg ของโคนมในระยะให้น้ำนมนั้นมีค่าเท่ากับ 75% และการสร้างน้ำนม 1 kg จะมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานจากน้ำหนักตัว 82%

$$NE_{L(Gain)} = \text{reserve energy} \times (0.64/0.75)$$

$$NE_{L(Loss)} = \text{reserve energy} \times (0.82)$$

เมื่อ

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

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

proportion of empty body protein = 0.200886 – [0.0066762 x BCS (9)]

BCS (9) = [(dairy BCS – 1) x 2] + 1

2.4.3 ความต้องการพลังงานเพื่อการสร้างน้ำนม (net energy lactation requirement for lactation)

ความต้องการพลังงานเพื่อการสร้างน้ำนมสามารถใช้สมการที่ดัดแปลงจาก Tyrell and Reid (1965) ซึ่งแนะนำไว้ใน NRC (2001) ดังนี้

คำนวณเฉพาะ เปอร์เซ็นต์ไขมัน

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

คำนวณจากเปอร์เซ็นต์ไขมัน และ โปรตีน

NE_{LL} (Mcal/kg of Milk) = (0.0929 x %Fat) + (0.0547 x %Protein) + 0.192

คำนวณจากเปอร์เซ็นต์ไขมัน โปรตีน และแลคโตส

NE_{LL} (Mcal/kg of Milk) = (0.0929x %Fat)+(0.0547 x %Protein+(0.0395 x %Lact.)

2.5 การประเมินคุณค่าทางพลังงานตาม NRC (2001)

การประเมินคุณค่าทางพลังงานในอาหารสัตว์ตามระบบ NRC (2001) คือ ส่วนประกอบของโภชนะใดๆ ในอาหารที่ให้พลังงานต้องนำมาคำนวณทั้งหมด โดยคำนวณออกมาในรูปของโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (total digestible nutrient, TDN) ดังสมการ

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

เมื่อ td = truly digestible

2.5.1 พลังงานจาก NFC

โดยปกติ NFC เป็น uniform feed fraction ที่มีค่า td ประมาณ 0.98 ถ้าสัตว์ได้รับอาหารที่ระดับ maintenance NFC คำนวณได้โดยการหักลบค่า ash, CP, NDF_N และ EE จาก 100 ที่

ต้องใช้ค่า NDF_N แทนค่า NDF ก็เพื่อไม่ให้ CP ถูกหักออกซ้ำกันถึง 2 ครั้ง มิฉะนั้นจะทำให้ค่า NFC ต่ำไป การคำนวณพลังงานจาก NFC คำนวณได้ดังสมการ

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

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

$$NDF_N = NDF – NDICP$$

$$NDICP = NDIN \times 6.2$$

2.5.2 พลังงานจากโปรตีน

โปรตีนเป็น uniform feed fraction เพราะค่า true digestibility (td) ของ crude protein (CP) เป็นค่าที่ค่อนข้างคงที่ ในพืชมีค่าผันแปรระหว่าง 0.9-1.0 เฉลี่ย 0.93 สำหรับอาหารข้นที่ไม่ได้ผ่านความร้อน (unheated concentrate) ค่า td_{CP} จะมีค่าประมาณ 1.0 (Fonnesbeck et al., 1984) อาหารที่ถูกความร้อน ค่า td_{CP} จะมีค่าลดลง เนื่องจากการย่อยได้ของ CP และอัตราการถูกทำลายด้วยความร้อน (heat damage) มีความสัมพันธ์กับ acid detergent insoluble nitrogen (ADIN) ดังนั้นจึงคำนวณค่า td_{CP} ได้จากค่า ADIN แต่เนื่องจากความสัมพันธ์นี้ในอาหารข้นและอาหารหยาบมีไม่เท่ากัน จึงต้องอาศัยสมการคำนวณที่แตกต่างกันดังนี้

Truly digestible CP for forages ($tdCP_f$)

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

Truly digestible CP for concentrates ($tdCP_c$)

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

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

2.5.3 พลังงานจากไขมัน

ค่า ether extract (EE) ในอาหารประกอบด้วยกรดไขมัน (รวมทั้ง triglycerides), waxes, pigments และอื่นๆ 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 ทั้งนี้เพราะไขมันที่ไม่ใช่ 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 พลังงานจาก NDF

NDF เป็นค่าที่ไม่ uniform แต่ NDF ส่วนที่อาจย่อยได้ (potential digestible NDF หรือ pdNDF) เป็นค่าที่ uniform โดยมีการย่อยได้เท่ากับ 1.0 นอกจากนี้ Conrad et al., (1984) ได้สร้าง สมการประเมินค่า pdNDF โดยอาศัย lignified surface area ทั้งนี้เพราะ lignin ย่อยไม่ได้ จึงควรนำมาหักลบออกจาก NDF เพื่อให้ได้ค่า lignin-free NDF นอกจากนี้ lignin ยังไปขัดขวางการย่อยได้ของ cellulose และ hemicellulose จึงควรคำนวณหาค่าสัดส่วนของพื้นที่ผิว NDF ที่ถูกปกคลุมด้วย lignin เพื่อนำมาหักลบออก ดังนี้ค่า pdNDF คำนวณได้จากสมการ

pdNDF = (NDF – Lignin) $[1 – (Lignin/NDF)^{0.667}]$

ค่าทุกตัวมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ของ DM และ lignin วิเคราะห์โดยวิธี ADF - sulphuric สมการข้างต้นนี้ใช้ได้กับพืชแทบทุกชนิด แต่ใน by-product หลายชนิด อาจมีส่วนของ CP ปนมาในค่า NDF มาก ทำให้มีค่า NDF สูงเกินไป ดังนั้นจึงควรวิเคราะห์ neutral detergent insoluble nitrogen (NDIN) ด้วยเพื่อคำนวณหาค่า NDF ที่ปราศจาก N แล้ว (NDF_N) ดังนี้

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 ในกรณีที่อาหารสัตว์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มากจากสัตว์จะไม่มีส่วนของ structural carbohydrates แต่จะมีส่วนของ neutral detergent insoluble residue แต่ไม่ใช่ส่วนของ cellulose, hemicellulose หรือ lignin ดังนั้นสมการข้างต้นจะใช้ไม่ได้ จึงใช้สมการดังนี้

TDN_{1X} = (CPdigest x CP) + (FA x 2.25) + (0.98x (100 – CP – Ash - EE)) - 7

เมื่อ CPdigest = estimated true digestibility of CP

สำหรับแหล่งไขมันที่มีองค์ประกอบของ glycerol:

TDN_{1X} (%) = (EE x 0.1) + [FAdigest x (EE x 0.9) x 2.25]

สำหรับแหล่งไขมันที่ไม่มีองค์ประกอบของ glycerol:

TDN_{1X} (%) = (EE x FAdigest) x 2.25

2.5.5 การประมาณค่า DE

2.5.5.1 การประมาณค่า DE ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Maintenance

Crampton et al., (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 และ 4.3 Mcal/kg for glycerol (Manynard et al., 1979) จากการที่ GE value of TDN ในอาหารแต่ละชนิดมีค่าไม่เท่ากัน อาหารที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ใน TDN จะมีค่า GE value of TDN มากกว่า 4.409 Mcal/kg ในทางกลับกันอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ใน TDN จะมีค่า GE value of TDN น้อยกว่า 4.409 Mcal/kg ดังนั้นการคำนวณค่า DE จาก 0.4409 x TDN (%) ตามที่แนะนำไว้ใน NRC (1988) นั้น ปัจจุบันได้ยกเลิกแล้ว NRC (2001) ได้พัฒนาการคำนวณค่า DE โดยคำนวณจาก estimated digestible nutrient concentration คูณด้วย heat of combustion ของโภชนะนั้นๆ และเนื่องจาก DE คำนวณจาก apparent digestibility แต่สมการคำนวณ TDN จากโภชนะต่างๆ 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

สำหรับอาหารสัตว์ทั่วๆ ไป

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

สำหรับอาหารโปรตีนจากสัตว์

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

สำหรับอาหารไขมันที่มีองค์ประกอบของ glycerol:

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

สำหรับอาหารไขมันที่ไม่มีองค์ประกอบของ glycerol:

DE_{1X} (Mcal/kg) = [9.4 x (FAdigest x 0.9 x (EE/100))]

tdNFC, tdNDF, tdCP และ FA มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

2.5.5.2 การประมาณค่า DE ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Actual Intake

การย่อยได้อาหารของโคนมจะลดลงเมื่อระดับการกินได้เพิ่มขึ้น (Tyrell and Moe, 1975) ซึ่งจะมีผลทำให้ค่าพลังงานของอาหารนั้นๆ ลดลงเมื่อการกินได้เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในโครีดนมที่ให้น้ำนมมากๆ อย่างเช่นในปัจจุบัน ซึ่งอาจกินอาหารได้มากถึง 4 เท่าของการกินได้ที่ระดับ maintenance การลดลงของ digestibility เมื่อ intake เพิ่มขึ้น จะมีความสัมพันธ์กับ digestibility of diet at maintenance (Wagner and Loosli, 1967) เมื่อการกินได้อาหารเพิ่มขึ้น อาหารที่มีค่า digestibility at maintenance สูง จะมีอัตราการลดลงของ digestibility มากกว่าอาหารที่มีค่า digestibility at maintenance ต่ำ NRC (1988) ใช้ค่าคงที่ 4% ในการปรับ energy value at 1X to 3X maintenance ถ้าใช้วิธีการเดิมนี้ในการคำนวณ อาหารที่มี 75%TDN_{1X} จะมีค่า discount 3%/unit multiple of 1X ในขณะที่ อาหารที่มี 60%TDN_{1X} จะมีค่า discount เท่ากับ 2.4% ถ้าอาหารมีค่า TDN_{1X} เท่ากับ หรือ น้อยกว่า 60% ค่า discount จะมีค่าค่อนข้างน้อย NRC (2001) แนะนำให้ใช้ สมการนี้ในการคำนวณ % discount

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

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

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

หน่วยของ TDN_{1X} เป็น %of DM และ intake หมายถึงจำนวนเท่าของการกินได้ที่เพิ่มขึ้นมากกว่าการกินได้ที่ระดับ daintenance เช่น การกินได้เท่ากับ 3X maintenance, intake above maintenance = 2 ตัวอย่างเช่นโครีดนมกินอาหารที่มี 74%TDN_{1X} ได้เป็น 3X maintenance ฉะนั้น digestibility ควรจะเท่ากับ 0.918 เท่าของ digestibility ที่ 1X maintenance

2.5.5.3 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% และเนื่องจากประสิทธิภาพ

การเปลี่ยน DE จากไขมันเป็น ME นั้นมีค่าเกือบ 100% (Andrews et al., 1991; Romo et al., 1996) ดังนั้นสมการข้างต้นจะประมาณค่า ME ของอาหารที่มีไขมันสูงต่ำไป NRC (2001) แนะนำให้ใช้ สมการนี้แทน

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

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

ME_P ของอาหารที่ไขมันมากกว่า 3% จะเพิ่มขึ้น 0.0046 ทุกๆ % unit increase in EE above 3% ในกรณีที่อาหารมีไขมันเท่ากับ หรือน้อยกว่า 3% ให้ใช้สมการเดิมที่แนะนำใน NRC (1988)

สำหรับ Fat supplements, ME_P (Mcal/kg) = DE_P(Mcal/kg)

2.5.6 การประมาณค่าพลังงานสุทธิ (Net energy, NE_L)

2.5.6.1 การประมาณค่า NE_L ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Actual Intake

NRC (2001) ใช้สมการที่เสนอโดย Moe and Tyrell (1972)

$$NE_{LP} = [0.703 \times ME_P \text{ (Mcal/kg)}] - 0.19$$

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) เช่นเดียวกับ การปรับค่า 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% ฉะนั้นสมการที่ใช้คือ

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

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)

2.5.6.2 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

$$NE_M = 137\ ME - 0.138\ ME^2 + 0.0105\ ME^3 - 1.12$$

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

เมื่อ ME, NE_M และ NE_G มีหน่วยเป็น Mcal/kg

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

2.6 ความต้องการโปรตีนในโคนม

สัตว์เคี้ยวเอื้องมีความต้องการโปรตีนเพื่อเสริมสร้างส่วนต่างๆ ของร่างกายและเพื่อการเจริญเติบโต การให้ผลผลิตในรูปของเนื้อและนม ความต้องการโปรตีนเพื่อการต่างๆ มีลักษณะคล้ายกับความต้องการพลังงาน คือ ความต้องการโปรตีนเพื่อการดำรงชีพ ความต้องการโปรตีนเพื่อการเจริญเติบโต และความต้องการโปรตีนเพื่อการให้นม

NRC (2001) ได้ปรับเปลี่ยนการประเมินความต้องการโปรตีนของโคนม โดยนำเสนอในรูปของ metabolizable protein (MP_R) ดังสมการ

$$MP_R = MP_M \pm MP_G + MP_L$$

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

2.6.1 ความต้องการโปรตีนเพื่อการดำรงชีพ (protein requirements for maintenance)

$$MP_M\ (g/d) = MP_U + MP_{SH} + MP_{MFP}$$

MP_u คือ ความต้องการ MP สำหรับ endogenous urinary protein (UPN)

$$MP_U = UPN/0.67$$

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

MP_U = 4.1 x (live weight)$^{0.5}$

MP_{SH}คือ ความต้องการ MP สำหรับ scurf and hair (SPN; skin, skin secretion, hair)

MP_{SH} = SPN/0.67

SPN = 0.2 x (live weight)$^{0.60}$

MP_{SH} = 0.3 x (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/d) = 30 x dry matter intake (DMI) (kg.)

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

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

MP_{Bact} = 0.64 MCP

MCP = 0.85 RDP (NRC, 2001)

MTP = 0.8 MCP

DMTP หรือ MP_{RDP} = 0.8 MTP

การคำนวณหาความต้องการ MCP ในโคนมสามารถหาได้จากสมการ NRC (2001)

โดยที่ MCP = 0.85 RDP (NRC, 2001)

RDP_R = MCP/0.85

RDP_R = 0.15294 x TDN_{Actual}

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

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

$MP_{Bact} = 0.64\ MCP$

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

2.6.2 ความต้องการโปรตีนเพื่อการเจริญเติบโต (protein requirements for growth)

$MP_G = NP_G/EffMP_NP_G$

เมื่อ $NP_G = SWG \times (268-(29.4 \times (RE/SWG)))$

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

$EQEBW = 0.891 \times EQSBW$

$EQEBG = 0.956 \times SWG$

$EQSBW = SBW \times (478/MSBW)$

MSBW = 500 kg (โคนมลูกผสม Holstein Friesianในประเทศไทย)

$SBW = 0.96\ BW$

ถ้าน้ำหนักโค EQSBW (equivalent shrunk BW) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 478 kg ใช้

$EffMP_NP_G = (83.4-(0.114 \times EQSBW))/100$

ถ้าน้ำหนักโค EQSBW (equivalent shrunk BW) มากกว่า 478 kg ใช้

$EffMP_NP_G = 0.28908$

2.6.3 ความต้องการโปรตีนเพื่อการสร้างน้ำนม (protein requirements for lactation)

$MP_L\ (g/d) = (Y\ Protein/0.67) \times 1{,}000$

การคำนวณความต้องการโปรตีนในรูปของ metabolizable protein (MP_R) ไม่สะดวกใน การจัดการด้านอาหารจึงได้มีการแสดงในรูปของ crude protein requirement (CP_R) ฉะนั้นจึงต้องคำนวณจาก MP_R เป็น CP_R

MP_R จะได้จากโปรตีนที่โคนมได้รับซึ่งโปรตีนที่ได้รับนั้นประกอบด้วย โปรตีนที่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (rumen degradable protein, RDP) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (rumen undegradable protein, RUP)

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

การคำนวณหาความต้องการ RUP

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

0.8 RUP = total digest RUP

0.66 x 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

EQEBW = Equivalent empty body weight

EQSBW = Equivalent shrunk body weight

SBW = Shrunk body weight

WG = Weight gain

2.7 การประเมินคุณค่าของโปรตีนในอาหาร

การประเมินคุณค่าของโปรตีนในอาหารสามารถทำได้โดย คำนวณโปรตีนจากการหาประสิทธิภาพการย่อยได้ของอาหารจากวิธีการ nylon bag technique (Ørskov and Mehrez, 1977)

โดยบดตัวอย่างอาหารด้วยเครื่องบดผ่านตะแกรงขนาด 2.0 mm. และใช้ถุงไนล่อนที่มีขนาดรูพรุนของถุง 47 μm และความกว้างยาวขนาด 8 x 10 cm นำถุงไนลอนและตัวอย่างอาหารที่บดแล้วไปอบที่อุณหภูมิ 60 ºC เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้นและชั่งน้ำหนักตัวอย่างอาหารแต่ละชนิดประมาณ 5-6 g ใส่ลงในถุงไนล่อนที่ชั่งและบันทึกน้ำหนักไว้แล้ว จากนั้นนำถุงไนล่อนที่ใส่ตัวอย่างอาหารแล้วมาร้อยติดกับสายพลาสติกยาวประมาณ 90 cm นำไปจุ่มแช่ในกระเพาะหมัก โดยให้สายพลาสติกอยู่ในส่วนที่ลึกที่สุดของกระเพาะหมัก ในแต่ละถุงมีระยะเวลาการแช่อยู่ในกระเพาะหมักต่างกันดังนี้คือ อาหารหยาบ 0, 4, 8, 12, 24, 48 และ 72 ชั่วโมง และอาหารข้น 0, 4, 8, 12, 24 และ 48 ชั่วโมงโดยแต่ละตัวอย่างทำ 3 ซ้ำ ใช้โคเจาะกระเพาะ 3 ตัว และให้ถุงที่จุ่มแช่ในโคแต่ละตัวเป็น 1 ซ้ำ เมื่อแช่ถุงไนล่อนในกระเพาะหมักของโคได้ตามเวลาที่กำหนดแล้ว นำถุงทั้งหมดออกจากกระเพาะหมัก และล้างเพื่อเศษอาหารที่ติดจากกระเพาะหมักออก แล้วนำไปแช่แข็งเพื่อหยุดการทำงานของจุลินทรีย์ เมื่อได้ตัวอย่างครบตามเวลาแล้ว นำถุงไนล่อนทั้งหมดมาล้างจนน้ำที่ล้างใส และบีบน้ำออกจากถุงไนล่อนจนค่อนข้างแห้ง หลังจากนั้นนำถุงไนล่อนทั้งหมดมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 ºC 36 ชั่วโมง และนำไปชั่งเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณวัตถุแห้ง และนำอาหารที่เหลือจากการย่อยสลายในถุงไนล่อนไปวิเคราะห์หา %N โดยรวมตัวอย่างจากโคทั้ง 3 ตัวเข้าด้วยกัน

นำค่าสัดส่วนโปรตีนที่สูญหายไปในระยะเวลาต่างๆ ที่นำถุงออกมาจากระเพาะหมักมาคำนวณโดยใช้สมการ

$$dg = a + b\,(1-\exp^{-ct})$$

เมื่อ *dg* = degradability of protein

a = water soluble N extracted by cold water rinsing (0 hr bag)

b = potentially degrade N, other than water soluble N

c = fraction rate of degradation of feed N per hour

การคำนวณค่าปริมาณการย่อยสลายของโปรตีนที่ทิ้งไว้ในช่วงระยะเวลาต่างๆ มาคำนวณอัตราการย่อยสลายในกระเพาะหมักโดยใช้โปรแกรมของ Chen (2003) ตามสมการดังนี้

$$dg = a + (bc) / (c + k)$$

เมื่อ *dg* = effective protein degradability

a = water soluble N extracted by cold water rinsing (0 hr bag)

b = potentially degrade N, other than water soluble N

c = fraction rate of degradation of feed N per hour

k = Fractional outflow rate of digesta per hour

เมื่อคำนวณได้ค่า *dg* แล้วสามารถนำไปประมาณค่าโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (rumen degradable protein, RDP) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (rumen undegradable protein, RUP) ได้ตามสมการดังนี้

$$RDP = CP \times dg$$

$$CP = RDP + RUP$$

หรือ $$RUP = CP - RDP$$

2.8 รายการอ้างอิง

กาญจนะ แก้วกำเนิด. 2545. สารดูดจับซีโอไลท์. รายงานการประชุมวิชาการสาขาสัตวบาล/สัตวศาสตร์/สัตวแพทยศาสตร์ ครั้งที่ 3 “การประกันคุณภาพการผลิต: จากฟาร์มสู่ผู้บริโภค”. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. หน้า 63-77.

ฉลอง วชิราภากร. 2543. โภชนศาสตร์แร่ธาตุของสัตว์. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 188 หน้า.

ชุมพล ผลประมูล. 2542. สรีรวิทยา. ภาควิชาสรีรวิทยา คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยมหิดล.

นัยนา บุญทวียุวัฒน์. 2546. ชีวเคมีทางโภชนาการ. ภาควิชาโภชนวิทยา คณะสาธารณะสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. 410 หน้า.

นิคม ชนะหาญ. 2547. การใช้พัมมิซในอาหารเพื่อดูดซับอะฟลาทอกซินและลดปริมาณแก๊สแอมโมเนียในคอกสัตว์ปีก. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ปิยรัตน์ สาระวงศ์. 2545. การกำจัดกรดฮิวมิกในน้ำดิบเพื่อการผลิตน้ำประปาโดยกระบวนการโคแอกกูเลชั่นด้วยไคโตแซนและเบนโตไนต์. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ผุสดี คำวงศ์ปิน. 2537. สมรรถภาพการผลิตของไก่กระทงที่ได้รับอาหารที่เสริมด้วยซีโอไลท์ธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรประพันธ์ พุ่มอินทร์. 2536. ผลของการใช้สารประเภทอะลูมิโนซิลิเกตต่อการลดความเป็นพิษของอะฟลาทอกซินในลูกสุกรระยะเจริญเติบโต. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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

Anonymous. 2001. Pumice.[Online]. Available http://www.pumex.co.uklwebsite.html. [2001, Novermber 1].

Collings, G. F., S. A. Thomasson, P. K. Ku and E. R. Miller. 1980. Sodiumbentonite in swine diets. J. Anim. Sci. 50(2): 272-277. Crampton, E.W., L.E. Lloy and V.G. Mackay. 1957. The calorie value of TDN. J. Anim. Sci. 16: 541-552.Conrad, H. R., W. P. Weiss, W. O. Odwongo and W. L. Shockey. 1984. Estimating net energy lactation from components of cell solubles and cell walls. J. Dairy Sci. 67: 427-437.

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

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

Grace, N. D. 1983. The Mineral Requirements of Grazing Ruminants. Occasional Publication No. 9. New Zealand Society of Animal Production, Keeling and Mundy Limited, Palmerston North, New Zealand.

Harvey, R. B., L. F. Kubena and T. D. Phillips. 1988. Possible methods to combat the mycotoxin problem. Cited by R. B. Harvey, L. F. Kubena, T. D. Phillips, D. E. Corrier, M. H. Elissalde and W. E. Huf. Diminution of aflatoxin toxicity to growing lambs by dietary supplementation with hydrated sodium calcium aluminosilicate. Am. J. Vet. Res 52(1): 152-156.

Harvey, R. B., L. F. Kubena, T. D. Phillips, D. E. Corrier, M. H. Elissalde and W. E. Huff. 1991. Diminution of aflatoxin toxicity to growing lamb by dietary supplementation with hydrated sodium calcium aluminosilicate. Am. J. Vet. Res. 52(1): 152-156.

Isaccs, A., J. Daintith and E. Martin. 1988. Concise Science Dictionary. Oxford University Press, Oxford. 758 p.

Kyi, S. and B. L. Chadwick. 1999. Screening of potential mineral additive for use as fouling preventatives in victorian brown cocal combustion. Fuel, 78: 845-855.

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

Mineral Data Publishing, Version 1.2. 2001. Clinoptilolite (Na, K, Ca)$_{2-3}$Al$_3$(Al, Si) Si$_{13}$O$_{36}$.12H$_2$O. [On-line]. Available: http://www.minsocam.org/msa/Handbook/Clinoptilolite.PDF

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

Moe, P. W. and H. F. Tyrrell. 1972. The net energy value of feeds for lactation. J. Dairy Sci. 55: 945-985.

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

Mumpton, F. A. and P. H. Fishman. 1977. The application of natural zeolites in animal science and aquaculture. J. Anim. Sci. 45(5): 118-1203.

National Research Council. 1988. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 6th Ed. National Academic Press. Washington D. C. 157 p.

National Research Council. 1996. Nutrients Requirements of Beef Cattle. 7th Ed. National Academy Press. Washington D. C. 234 p.

National Research Council. 2001. Nutrients Requirements of Dairy Cattle. 7th Ed. National Academy Press. Washington D. C. 340 p.

Ørskov, E. R. and Mehrez, A. Z. 1977. Estimation of extent of protein degradation from basal feeds in the ruminant of sheep. Proceeding of Nutrition Society. 36: 78A.

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

Parker, S. P. 1984. McGraw-Hill Concise Encyclopedia of Science Technology. McGraw-Hill Book company. New York. 2065 p.

Phillips, T. D., B. A. Clement, L. F. Kubena and R. B. Harvey. 1992. Selective chemisorption of aflatoxin by hydrated sodium calcium aluminosilicate: prevention of aflatoxicosis in animals and reduction of aflatoxin residues in food of animal origin. Nutr. Abstr. Rev. (Series B) 62(5): 290. (Abstr.)

Pond, W. G., D. C. Church and K. R. Pond. 1995. Basic Animal Nutrition. 4th Edition. John Willey & Son, New York, USA.

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

Ryberg, D. and J. Alexsandra. 1990. Mechanism of chromium toxicity in mitochondria. Chemic-Biol. Interact. 75: 141-151.

Swift, B.W. 1957. The caloric value of TDN. J. Anim. Sci. 16: 1055-1059.

Thomas, A. 2002. Nutrition and health. http://www.krist.unibe.ch/pdf/ clinoptiotite /pdf.

Toepfer, E., W. Mertz, M. Polansky, E. Roginski and W. Wolf. 1977. Preparation of chromium-containing material of glucose tolerance factor activity from brewer's yeast extracts and by synthesis. J. Arg. Food Chem. 25: 162-166.

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

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

Van Olphen, H. 1963. An introduction to clay colloid chemistry. Cited by R. S. Sellers, G. C. Harris, Jr. and P. W. Waldroup. The effects of various dietary clays and fillers on the performance of broilers and laying hens. Poult. Sci. 59(8): 1901-1906.

Visek, W. J. 1978. The modle of growth promotion by antibiotics. J. Anim. Sci. 46(5): 1447-1469.

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

Yang, W., D. Mowat, A. Subiyano and R. Liptrap. 1996. Effect of chromium supplementation on early lactation performance of Holstein cows. Can. J. Anim. Sci. 76: 221-230.

Yokoyama, M. T., C. Tarborri, E. R. Miller and M. G. Hogberg. 1982. The effect of antibiotics in the weanling pig diet on growth and the excretion of volatile and aromatic bacterial metabolites Am. J. Clin. Nutr. 35-1417.

บทที่ 3
การศึกษาผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่ออัตราการเจริญเติบโตและอัตราการผสมติดของโคนมในระยะโคสาว

3.1 บทคัดย่อ

ศึกษาผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่ออัตราการเจริญเติบโตและอัตราการผสมติดของโคนมในระยะโคสาว โดยใช้โคนมลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชียน (Crossbred Holstein Friesian) มีระดับเลือดมากกว่า 87.5%HF อยู่ในระยะโคสาว อายุเริ่มต้น 15±5 เดือน (mean±SD) น้ำหนักตัว 250±30 กิโลกรัม (mean±SD) จำนวน 24 ตัว วางแผนและวิเคราะห์ผลการทดลองแบบ group comparison (t-test) โดยกลุ่มควบคุมได้รับอาหารข้น 16%CP และกลุ่มทดลองได้รับอาหารข้น 16 %CP เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในระดับ 3% ของอาหารข้น ซึ่งโคสาวทั้ง 2 กลุ่มการทดลองได้รับฟางข้าวราดกากน้ำตาลเป็นแหล่งอาหารหยาบ ผลการทดลองพบว่าองค์ประกอบทางเคมีของอาหารมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เปอร์เซ็นต์เถ้าของอาหารกลุ่มทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุม คือ 9.03 และ 6.95% ตามลำดับ การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3% ในอาหารข้นไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ calcium, phosphorus, potassium, magnesium, sodium, copper, iron และ zinc ในอาหาร (P>0.05) ไม่ทำให้ปริมาณการกินได้วัตถุแห้ง โปรตีน และพลังงานความต้องการโปรตีนทั้งหมด, ความต้องการ RDP และ RUP ความต้องการพลังงานและประสิทธิภาพของการใช้พลังงานมีความแตกต่างกัน (P>0.05) ปริมาณการกินได้ calcium, phosphorus, potassium, sodium, copper, iron และ zinc สูงขึ้น (P<0.01) แต่พบว่าไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้ magnesium, ปริมาณแร่ธาตุ calcium, phosphorus, potassium, magnesium, sodium, copper, iron และ zinc ในพลาสมา อัตราการเจริญเติบโต และอัตราการผสมติด, วัตถุแห้ง ปริมาณ nitrogen รวมทั้ง phosphorus ในมูลของโคสาว (P>0.05)

3.2 คำนำ

การที่โคนมได้รับแร่ธาตุชนิดใดชนิดหนึ่งไม่เพียงพอกับความต้องการหรือได้รับในสัดส่วนที่ไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพและการให้ผลผลิต (ฉลอง, 2543) โคนมระยะโคสาวมักมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต การเข้าสู่วัยเจริญพันธุ์ (puberty) รวมทั้งความสามารถในการผสมติด ดังนั้น การจัดการให้โคได้รับแร่ธาตุอย่างเหมาะสมทั้งชนิดปริมาณจึงเป็นสิ่งที่สำคัญ ซึ่งแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ (volcanic rock) เป็นแร่ธาตุหนึ่งที่มีส่วนประกอบหลักได้แก่ SiO_2,

K_2O, Al_2O_3, CaO, MgO, Cl, Cu และ Zn จึงเป็นที่น่าสนใจในการนำมาใช้เป็นแหล่งแร่ธาตุในอาหารโคสาว นอกจากนี้โครงสร้าง SiO_2 ของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟสามารถดูดซับแอมโมเนียช่วยในการลดมลภาวะทางกลิ่นจากของเสีย ทั้งนี้ผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟชนิดซีโอไลท์ในอาหารสัตว์กระเพาะเดี่ยว พบว่า ทำให้อัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้น และปริมาณ nitrogen ในมูลลดลง (Cool and Willard, 1982; Hatieganu et al., 1983; Tkachev and Ustin, 1985) ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้จึงศึกษาผลของการใช้แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ผลิตได้ในประเทศไทย จากแหล่งในจังหวัดลพบุรี เพื่อใช้เป็นแหล่งแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและอัตราการผสมติดของโคสาวลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชียน (Crossbred Holstein Friesian) รวมทั้งศึกษาผลของการลดปริมาณ nitrogen ในมูลโคสาว ทั้งนี้หากผลการศึกษาพบว่าแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ผลิตได้ในประเทศมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต การผสมติด ก็จะเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมโคนมในการเพิ่มผลผลิต ลดต้นทุนการนำเข้าแร่ธาตุจากต่างประเทศ และลดมลภาวะของเสียจากฟาร์มโคนมได้

3.3 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารโคนมต่ออัตราการเจริญเติบโตและอัตราการผสมติดของโคนมระยะโคสาวและการลดไนโตรเจนในมูล

3.4 อุปกรณ์และวิธีการ

3.4.1 การจัดการโคสาวสำหรับทดลองและการให้อาหาร

3.4.1.1 การจัดการสัตว์ทดลอง

โคนมที่ใช้ในการทดลองเป็นโคนมลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชียน (Crossbred Holstein Friesian) มีระดับเลือดมากกว่า 87.5% อยู่ในระยะโคสาว อายุเริ่มต้นในการทดลองเฉลี่ย 15 ± 5 เดือน (mean $\pm$ SD) น้ำหนักตัวเฉลี่ย 250 ± 30 กิโลกรัม (mean $\pm$ SD) จำนวน 24 ตัว จัดกลุ่มโคแบบ stratified random balance group ลักษณะที่ใช้คัดเลือกคือ อายุเฉลี่ย (เดือน) และน้ำหนักตัวเฉลี่ย (กิโลกรัม) แสดงดังตารางที่ 3.1 วางแผนและวิเคราะห์การทดลองแบบ group comparison (t-test) (Steel and Torrie, 1980) โคทุกตัวถูกเลี้ยงโดยขังในคอกเดี่ยวในช่วงที่ได้รับอาหารข้น และวันที่สุ่มเก็บตัวอย่าง ส่วนในช่วงเวลาอื่นจะเลี้ยงรวมกันภายในแต่ละกลุ่มการทดลอง (treatment) เพื่อสังเกตการเป็นสัดโดยการขึ้นปีนทับ

ตารางที่ 3.1 แสดงลักษณะที่ใช้ในการจัดกลุ่มโคก่อนการทดลอง

ลักษณะที่ใช้ในการจัดกลุ่มโคสาว	กลุ่มการทดลองที่ 1	กลุ่มการทดลองที่ 2
อายุ (เดือน)	14.75 $\pm$ 1.28	14.76 $\pm$ 1.44
น้ำหนักตัว (กิโลกรัม)	251.4 $\pm$ 27.09	251.3 $\pm$ 30.42

หมายเหตุ แสดงข้อมูลในรูป mean$\pm$SD

3.4.1.2 การจัดการอาหารสัตว์ทดลอง

จัดให้โคแต่ละตัวกินอาหารตามกลุ่มการทดลองอย่างเป็นอิสระต่อกัน ดังนี้

กลุ่มการทดลองที่ 1 เป็นกลุ่มควบคุม ได้รับอาหารข้นตามปกติ (ไม่เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ)

กลุ่มการทดลองที่ 2 เป็นกลุ่มทดลอง ได้รับอาหารข้นเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ 3% ของอาหารข้น

โดยอาหารข้น (concentrate) ที่ใช้ในการทดลองเป็นอาหารข้นชนิดเม็ด (pellet) มีคุณค่าทางโภชนะตามความต้องการของโคนมระยะโคสาว (NRC, 2001) ได้รับวันละ 2 ครั้ง ในเวลา 08.00 น. และ 16.00 น. อาหารหยาบ (roughage) ที่ใช้ในการทดลองคือ ฟางข้าวราดกากน้ำตาล ซึ่งได้รับอย่างเต็มที่ (*ad libitum*) และมีน้ำดื่มสะอาดใส่อ่างสำหรับให้โคกินตลอดเวลา

3.4.2 วิธีการทดลองและเก็บข้อมูล

สุ่ม (random) โคสาวที่มีอายุ 15$\pm$1.5 เดือน (mean$\pm$SD) นำมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งและวัดรอบอกด้วยสายวัดโค จากนั้นสุ่มโคสาวที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 250$\pm$30 กิโลกรัม (mean$\pm$SD) จำนวน 24 ตัว มาจัดกลุ่มทดลอง จำนวน 2 กลุ่มการทดลอง นำโคเข้าทดลองโดยได้รับอาหารข้นที่เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ 3% ของอาหารข้นในกลุ่มทดลอง และไม่เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารข้นของกลุ่มควบคุม ระหว่างการทดลองมีการเก็บบันทึกข้อมูล ดังนี้

3.4.2.1 การกินได้ (feed intake)

สุ่มเก็บตัวอย่างอาหาร 2 วันติดต่อกัน ทุก 2 สัปดาห์ โดยเก็บตัวอย่างอาหารแต่ละชนิด (อาหารข้นกลุ่มควบคุม, อาหารข้นกลุ่มทดลอง และอาหารหยาบฟางข้าวราดกากน้ำตาล) ประมาณ 10 % ชั่งและบันทึกน้ำหนักของอาหารแต่ละชนิดก่อนให้โคกิน เมื่อครบ 1 วัน ตักอาหารที่เหลือออกชั่งและบันทึกน้ำหนักอาหารหลังกิน สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารหลังกินรายตัว 10% นำมาอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 60 ºC เป็นเวลา 36 ชั่วโมง เพื่อหาวัตถุแห้ง (dry matter, DM) (AOAC, 1990) จากนั้นนำตัวอย่างแต่ละชนิดที่ผ่านการอบ มาบดด้วยเครื่องบดผ่านตะแกรงขนาด 2.0 mm. เพื่อศึกษาการย่อยสลายในกระเพาะหมัก โดยใช้ถุงไนล่อนแช่ในกระเพาะหมักของโคเจาะกระเพาะ

(Ørskov et al., 1980; Chen, 2003) แล้วนำตัวอย่างที่เหลือเก็บไว้ในภาชนะที่ปิดสนิท เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมี โดยวิธี proximate analysis (AOAC, 1990) ดังต่อไปนี้คือ วัตถุแห้ง (dry matter, DM) โดยเครื่อง hot air oven, crude protein (CP) โดยเครื่อง Kjeltec auto analyzer, ether extract โดยเครื่อง sox let auto analyzer, ash โดยการเผาที่อุณหภูมิ 550 ºC เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ส่วนการวิเคราะห์ crude fiber (CF) และการวิเคราะห์เยื่อใย (detergent analysis) (Goering and Van Sorest, 1970) ได้แก่ neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber, (ADF) และ acid detergent lignin, ADL โดยเครื่อง fibertec auto analyzer

3.4.2.2 การเก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว

ชั่งน้ำหนักโคหลังจากอดอาหารเป็นเวลา 16 ชั่วโมง โดยชั่งน้ำหนักโครายตัวด้วยเครื่องชั่งและวัดรอบอกด้วยสายวัดรอบอกสำหรับวัดประมาณน้ำหนักโค ข้อมูลน้ำหนักของแต่ละสัปดาห์รวมทั้งน้ำหนักตัวก่อนและหลังการทดลอง เพื่อนำไปคำนวณอัตราการเจริญเติบโต (average daily gain, ADG) และประสิทธิภาพการใช้อาหาร (NE/Gain)

3.4.2.3 ข้อมูลการเป็นสัดและการผสมติด

บันทึกจำนวนวันตั้งแต่เริ่มทดลองจนถึงวันที่เป็นสัด และอายุ (วัน) ที่เป็นสัด ซึ่งในแต่ละวันจะสังเกตการเป็นสัด 2 ครั้ง ในช่วงเช้า เวลาประมาณ 06.00 น. และช่วงเย็นเวลาประมาณ 18.00 น. เป็นต้นไป รวมทั้งช่วงเวลาอื่นๆ ที่พบว่าเป็นสัด โคที่แสดงอาการเป็นสัดจะได้รับการผสมเทียมในช่วงเวลา 12 ชั่วโมงต่อมา และตรวจการตั้งท้องทางทวารหนัก (rectal palpation) หลังจากที่ได้ผสมเทียมไปแล้ว 45-60 วัน (Webster, 1993. อ้างโดย วิศิษฐิพร, 2542) ถ้าโคไม่ตั้งท้องและกลับสัดจะได้รับการผสมเทียมต่อไปอีก 2 วงรอบการเป็นสัด แล้วบันทึกข้อมูลการผสมติดเป็นจำนวนครั้งที่ผสมเทียม (1 ใน 3 ครั้งที่ทำการผสมเทียม)

3.4.2.4 การเก็บตัวอย่างพลาสมา

สุ่มเก็บตัวอย่างเลือดก่อนการทดลอง ระหว่างการทดลอง และสิ้นสุดการทดลอง กลุ่มการทดลองละ 6 ตัว โดยใช้เข็มเจาะเลือดเบอร์ 18 ความยาว 1 นิ้ว ที่เส้นเลือดดำบริเวณคอ (jugular vein) ปริมาณ 10 ml. ในหลอดเก็บเลือดที่มีสารป้องกันการแข็งตัวของเลือด K_3 EDTA และเก็บหลอดบรรจุเลือดใส่กระติกน้ำแข็งบด นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง centrifuge ที่ 1000 G. เป็นเวลา 10-20 นาที จะได้ส่วนใสด้านบนประมาณ 3 ml. แยกส่วนใสด้วย micropipete 1 ml. เก็บในmicrotube แล้วนำไปเก็บที่อุณหภูมิ -20ºC (ไชยณรงค์, 2541) เพื่อนำไปตรวจวิเคราะห์แร่ธาตุด้วยวิธี Flame Emission โดยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer รุ่น Spectr AA-250 Plus ตามวิธีของ Varian Australia Pty Ltd. (1989) และวิเคราะห์ phosphorus โดยเครื่อง

spectrophotometer (UV-1601PC, UV-visible spectrophotometer บริษัท Shimadzu, Kyoto, ประเทศญี่ปุ่น)

3.4.2.5 การเก็บตัวอย่างมูล

เก็บตัวอย่างมูลก่อนการทดลอง ระหว่างการทดลอง และสิ้นสุดการทดลอง มูลโคแต่ละตัวจะถูกเก็บโดยใช้ถุงพลาสติกรองเก็บมูลในขณะที่โคถ่ายออกมา สุ่มตัวอย่างมูล 10% แยกใส่ถุงพลาสติกรายตัว เก็บที่อุณหภูมิ -20 ºC เมื่อสิ้นสุดการทดลองนำมูลที่แช่ออกมาวางไว้ให้มูลเป็นปกติที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำมูลมารวมกันเป็นรายตัว เพื่อนำไปวิเคราะห์วัตถุแห้ง (dry matter, DM) โดยเครื่อง hot air oven, วิเคราะห์ nitrogenโดยเครื่อง Kjeltec auto analyzer และวิเคราะห์ฟอสฟอรัสโดยเครื่อง spectrophotometer (UV-1601PC, UV-visible spectrophotometer บริษัท Shimadzu, Kyoto, ประเทศญี่ปุ่น)

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบ Group comparison (t-test) (Steel and Torrie, 1980) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS (SAS, 1985)

3.6 สถานที่ทำการทดลอง

ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อาคารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 2 และ 3

3.7 ระยะเวลาทำการทดลอง

เริ่มทดลองตั้งแต่วันที่ 5 มกราคม 2547 ถึง 31 พฤษภาคม 2547

3.8 ผลการทดลอง และอภิปรายผลการทดลอง

3.8.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารข้นและอาหารหยาบ แสดงดังตารางที่ 3.2 พบว่าอาหารข้นกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง ซึ่งได้แก่ เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 91.94% และ 91.62% ตามลำดับ กล่าวคือ ความชื้นในอาหารข้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.06% และ 8.38% ตามลำดับ

เปอร์เซ็นต์โปรตีนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.17% และ 16.10% ตามลำดับ ซึ่งจากรายงานผลการทดลองของ พวน (2543) พบว่า โปรตีนที่ระดับ 1.0 และ 1.2 เท่า คือ 12.2 และ 14.4% ตามลำดับ โดยมีระดับพลังงาน 1.0 เท่า ของระดับที่ NRC (1988) แนะนำสำหรับโคสาว เป็นระดับที่สูงกว่า

ความต้องการโปรตีนของโคสาวถึง 169 และ 273 กรัมต่อวันตามลำดับ ดังนั้นระดับโปรตีนในอาหารข้นที่ใช้ในการทดลองนี้จึงเพียงพอต่อความต้องการของโคสาว

เปอร์เซ็นต์ไขมันมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.59% และ 4.73% ตามลำดับ สูงกว่าระดับที่ NRC (2001) แนะนำที่ระดับ 3% แต่ไม่สูงเกิน 5% ซึ่ง Church (1979) อ้างโดย เมธา (2533) รายงานว่าไขมันในระดับไม่เกิน 5% เป็นระดับที่ไม่ส่งผลกระทบต่อการย่อยเซลลูโลสในกระเพาะหมัก และอาจช่วยทำให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงขึ้น ซึ่งมีความจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของโคสาว โดยพลังงานที่สูงขึ้นมีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้น (Daccarett et al., 1993)

เปอร์เซ็นต์เยื่อใยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.63% และ 9.58% ตามลำดับ พบว่า มีค่าใกล้เคียงกับรายงานผลการวิเคราะห์ของชุติมา (2544), เพลิน (2545) และพิมลทิพย์ (2546) ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์เยื่อใยในอาหารข้น เท่ากับ 11.46, 10.30 และ 11.38 % ตามลำดับ

เปอร์เซ็นต์คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใย (NFC) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 32.49% และ 32.04% ตามลำดับ พบว่ามีค่าต่ำกว่าระดับที่ NRC (2001) แนะนำคือที่ระดับ 36-44% แต่มีค่าใกล้เคียงกับ Mertens (1987) ที่แนะนำให้มี NFC ในสูตรอาหาร 30% อย่างไรก็ตามทั้งระดับที่ NRC (2001) และ Mertens (1987) ที่แนะนำ เป็นระดับที่เหมาะสมสำหรับโคที่ให้ผลผลิตน้ำนม ซึ่งเป็นระดับที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และไม่มีผลกระทบต่อระดับ pH ในกระเพาะหมัก ดังนั้น NFC ที่ระดับดังกล่าวอาจไม่มีความจำเป็นต่อโคสาวรวมทั้งอาจมีผลทำให้ระดับ pH ในกระเพาะหมักลดต่ำลงได้

เยื่อใยที่ไม่ละลายในตัวทำละลายที่เป็นกลาง (NDF) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 39.81% และ 38.10%ตามลำดับ พบว่า มีค่าสูงกว่า NRC (2001) ที่แนะนำระดับ NDF ต่ำสุดในอาหารที่ 25-33% แต่พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับรายงานผลการวิเคราะห์อาหารข้นของเพลิน (2545) ที่ระดับ 38.22% ถึงแม้ว่า NDF ในอาหารที่เพิ่มขึ้นจะจำกัดการกินอาหารและทำให้พลังงานในอาหารลดลง แต่องค์ประกอบทางเคมีของ NDF ก็มีผลต่อการย่อยได้ของ NDF ดังนั้นจึงต้องพิจารณาถึงสัดส่วนของ cellulose, hemicellulose และ lignin ซึ่งเป็นองค์ประกอบของ NDF ด้วย อย่างไรก็ตาม NDF มีคุณสมบัติทางกายภาพในการเพิ่มการเคี้ยวเอื้อง และเพิ่มความเป็น buffer (พิพัฒน์ และคณะ, 2547) ซึ่งระดับ NDF ดังกล่าวอาจมีผลให้ pH ในกระเพาะหมักมีความสมดุลขึ้น

เยื่อใยที่ไม่ละลายในตัวทำละลายที่เป็นกรด (ADF) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15.23% และ 15.54% ตามลำดับ มีค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับระดับที่ NRC (2001) แนะนำคือ 17-21% ในสูตรอาหาร ซึ่งเมื่อพิจารณาร่วมกับค่า NDF พบว่า ในอาหารมีสัดส่วนของ cellulose และ lignin ต่ำ ดังนั้น NDF และ ADF จึงอาจจะไม่ส่งผลต่อการจำกัดปริมาณการกินได้

เปอร์เซ็นต์ลิกนิน (ADL) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.56% และ 4.63% ตามลำดับ มีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับรายงานของเพลิน (2545) ที่ระดับ 2.79 แต่มีค่าใกล้เคียงกับรายงานของพิมลทิพย์

(2546) ที่ระดับ 4.36% ทั้งนี้เมื่อพิจารณาร่วมกับ ADL พบว่า อาหารข้นมีปริมาณ cellulose ที่ต่ำ ซึ่ง ADL ในระดับสูงอาจมีผลต่อการสลายตัวของคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะหมัก ระดับพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้และปริมาณการกินได้วัตถุแห้งที่ลดลงได้ (วิโรจน์, 2546)

เปอร์เซ็นต์ NDIN มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.19% และ 1.18% ตามลำดับ และเปอร์เซ็นต์ ADIN มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.40% และ 0.39% ตามลำดับ พบว่ามีค่าต่ำกว่า พิมลทิพย์ (2546) ที่รายงานไว้ที่ระดับ 2.57% และ 2.40% ตามลำดับ (NDICP เท่ากับ 16.08% และ ADICP เท่ากับ 15.0%)

ซึ่งจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีดังกล่าวพบว่า องค์ประกอบทางเคมีของอาหารข้นที่ใช้ในการทดลองมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3% ของอาหารข้น เป็นระดับที่ไม่มีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบทางเคมีในอาหาร สอดคล้องกับการทดลองของ เอกพล (2546) พบว่า การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารสุกรที่ระดับ 0%, 1.5% และ 3% ไม่ทำให้องค์ประกอบทางเคมีในอาหาร ซึ่งได้แก่ โปรตีน เยื่อใย และไขมัน เปลี่ยนแปลง

สำหรับเปอร์เซ็นต์เถ้า พบว่า ในอาหารข้นกลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มควบคุม คือ 9.03 และ 6.95 % ตามลำดับ โดยที่กลุ่มควบคุมมีเปอร์เซ็นต์เถ้าใกล้เคียงกับผลการทดลองของ เพลิน (2545) และ พิมลพิทย์ (2546) ซึ่งรายงานไว้ เท่ากับ 6.68% และ 6.95% ตามลำดับ การที่อาหารข้นกลุ่มทดลองมีเปอร์เซ็นต์เถ้าสูงกว่าถึง 2.08% เนื่องมาจากแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ เป็นสารอนินทรีย์ (inorganic matter) รวมทั้งมีส่วนประกอบของ silica อยู่สูง จึงไม่ถูกเผาไหม้จนกลายเป็นแก๊สและสลายตัวไป สอดคล้องกับการทดลองของเอกพล (2546) พบว่า เปอร์เซ็นต์เถ้าในอาหารกลุ่มที่เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 1.5 และ 3% สูงกว่าเปอร์เซ็นต์เถ้าในอาหารกลุ่มควบคุม เช่นเดียวกับ Poulsen and Oksbierg (1995) พบว่า การเสริม clinoptilolite 3% มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์เถ้าในอาหารกลุ่มทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุม

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารหยาบ คือ ฟางข้าวราดกากน้ำตาล พบว่า มีค่าเฉลี่ยของวัตถุแห้ง, โปรตีน, ไขมัน, เถ้า, เยื่อใย, NFC, NDF, ADF, ADL, NDIN และ ADIN เท่ากับ 77.51, 3.10, 1.51, 15.93, 33.71, 5.80, 73.67, 44.55, 5.42, 0.12 และ 0.09% ตามลำดับ พบว่าเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งมีค่าต่ำกว่าประมาณ 6.3-17.5% เมื่อเทียบกับรายงานของชุติมา (2544), เมธา (2533) และวิโรจน์ (2546) ซึ่งรายงานว่าฟางข้าวมีวัตถุแห้งเท่ากับ 83.81, 95.0 และ 91.0 ตามลำดับ ซึ่งเป็นฟางข้าวที่ไม่ได้ราดกากน้ำตาล อย่างไรก็ตามเปอร์เซ็นต์โปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใย NDF และ ADF มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยดังกล่าว

การประเมินพลังงานในฟางข้าวราดกากน้ำตาล พบว่า พลังงานโภชนะที่ย่อยได้รวมมีค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับชุติมา (2544) ซึ่งรายงานว่าฟางข้าวมีพลังงานโภชนะที่ย่อยได้รวม เท่ากับ 46.89% ซึ่งมีค่าสูงกว่า สุรชัย (2541) ซึ่งรายงานว่า ฟางข้าว มีพลังงานโภชนะที่ย่อยได้รวมเท่ากับ

44.7% และกากน้ำตาลมีพลังงานโภชนะที่ย่อยได้รวมเท่ากับ 73.2% ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความแปรปรวนของพลังงานต่างๆ ซึ่งนำมาคำนวณพลังงานโภชนะที่ย่อยได้รวมของฟางข้าว พลังงานดังกล่าวได้แก่ พลังงานจาก tdNFC, พลังงานจาก tdCP, พลังงานจาก tdFA และพลังงานจาก tdNDF

และการศึกษาการย่อยสลายวัตถุแห้ง, การย่อยสลายโปรตีน, อัตราการย่อยสลายได้วัตถุแห้งและอัตราการย่อยสลายได้โปรตีนของอาหารข้นทั้งสองกลุ่มการทดลองและฟางข้าวราดกากน้ำตาลแหล่งของอาหารหยาบ พบว่า เมื่อมีระยะเวลาอยู่ในกระเพาะหมักนานขึ้น อาหารข้นทั้งสองกลุ่มการทดลอง และฟางข้าวราดกากน้ำตาลจะมีอัตราการย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักเพิ่มขึ้นตามเวลา โดย *dg*DM ของอาหารข้นกลุ่มควบคุมและ อาหารข้นกลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 57.32, 55.57% และฟางข้าวราดกากน้ำตาล มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26.68% *dg*CP ของอาหารข้นกลุ่มควบคุม และอาหารข้นกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 69.34 และ 68.62% *dg*CP ของฟางข้าวราดกากน้ำตาล มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 37.26%

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแร่ธาตุในอาหารข้นและอาหารหยาบ แสดงดังตารางที่ 3.3 พบว่า เปอร์เซ็นต์ของแร่ธาตุ calcium, phosphorus, potassium, magnesium, sodium, copper, iron และ zinc ในอาหารข้นกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลองมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แสดงว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3% ในอาหารข้นไม่ทำให้องค์ประกอบของแร่ธาตุดังกล่าวมีเปอร์เซ็นต์เพิ่มขึ้น ถึงแม้แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟจะมีองค์ประกอบของ CaO, K_2O, MgO, Fe_2O_3, Cu และ Zn เป็นองค์ประกอบก็ตาม โดยผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแร่ธาตุในอาหารข้น calcium มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.67 และ 0.70% ตามลำดับ phosphorus 0.41% ทั้งสองกลุ่มการทดลอง (ดังนั้น อัตราส่วน Ca:P ในอาหารข้นจึงเท่ากับ 1.63 และ 1.70 ตามลำดับ) potassium มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.51 และ 0.53% ตามลำดับ, magnesium มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.72 และ 0.71% ตามลำดับ, sodium มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.09% ทั้งสองกลุ่มการทดลอง, copper มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 207.20 และ 292.95 ppm ตามลำดับ, iron มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 417.00 และ 442.91 ppm ตามลำดับ และ zinc มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 218.78 และ 221.95 ppm ตามลำดับ ซึ่งเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบของแร่ธาตุในอาหารข้นที่วิเคราะห์มีค่าสูงเมื่อเทียบกับความต้องการแร่ธาตุของโคสาวที่ NRC (2001) แนะนำคือ calcium 0.41%, phosphorus 0.28%, magnesium 0.11%, potassium 0.47%, sodium 0.08%, copper 10 ppm, iron 43 ppm และ zinc 32 ppm สำหรับในแง่ของการใช้ประโยชน์ได้ของแร่ธาตุที่มีอยู่ในอาหารสัตว์ สัตว์ไม่สามารถดูดซึมแร่ธาตุได้ทั้งหมด ดังนั้น การประเมินความต้องการแร่ธาตุสำหรับสัตว์จำเป็นต้องคำนึงถึงระดับความเป็นประโยชน์ทางชีววิทยาของแร่ธาตุ (biological availability) (เมธา, 2533) และค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึม (absorption coefficient) (ฉลอง, 2543) โดย NRC (2001)

ประเมินค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมแร่ธาตุของอาหารข้นในทางเดินอาหารดังนี้ สัมประสิทธิ์การดูดซึม calcium มีค่าเท่ากับ 60%, phosphorus 70%, magnesium 16%, potassium 90%, sodium 90%, copper 4%, iron 10% และ zinc 15% ดังนั้น เมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์การดูดซึมแร่ธาตุกับเปอร์เซ็นต์แร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบในอาหารข้น จึงพบว่าเปอร์เซ็นต์ของแร่ธาตุในอาหารมีค่าใกล้เคียงกับความต้องการแร่ธาตุที่ NRC (2001) แนะนำ

สำหรับอาหารหยาบคือฟางข้าวราดกากน้ำตาล พบว่า มีค่าเฉลี่ยแร่ธาตุ calcium, phosphorus, potassium, magnesium และ sodium เท่ากับ 0.50, 0.16, 1.31, 0.40 และ 0.08% ตามลำดับ และมี copper, iron และ zinc เท่ากับ 5.12, 217.18 และ 15.08 ppm ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับรายงานของ ชวนิศนดากร (2534) รายงานว่า ฟางข้าวมี calcium 0.19% และมี phosphorus 0.07% และกากน้ำตาลมี calcium 0.66% และมี phosphorus 0.07%, สุรชัย (2541) รายงานว่า ฟางข้าวมี แคลเซียม 0.21% และฟอสฟอรัส 0.08% และ Kumagai et al. (1998) รายงานว่าฟางข้าวมี calcium 0.39%, phosphorus 0.08%, magnesium 0.16%, potassium 1.52%, copper 1.7 ppm, iron 193 ppm และ zinc 23 ppm ซึ่งพบว่าฟางข้าวราดกากน้ำตาลที่ใช้ในการทดลองมีเปอร์เซ็นต์ calcium และ phosphorus สูงกว่ารายงานดังกล่าว ทั้งนี้เป็นเพราะกากน้ำตาลมี calcium สูงกว่าฟางข้าว จึงทำให้ฟางข้าวที่ราดกากน้ำตาลมี calcium สูงกว่าฟางข้าวที่ไม่ได้ราดกากน้ำตาล เช่นเดียวกับ phosphorus, copper และ iron ที่มีค่าสูงกว่า รายงานของ ชวนิศนดากร (2534), สุรชัย (2541) และ Kumagai et al. (1998) อย่างไรก็ตามเปอร์เซ็นต์ของแร่ธาตุในพืชอาหารสัตว์ อาจแปรปรวนตามปริมาณแร่ธาตุในพื้นที่ที่ปลูก ฤดูกาล อายุการเก็บเกี่ยว รวมทั้งการปนเปื้อนของดินจากกรรมวิธีในการเก็บเกี่ยว

ตารางที่ 3.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของอาหารข้นและอาหารหยาบที่ใช้ในการทดลอง

องค์ประกอบทางเคมี (%)	อาหารข้น กลุ่มควบคุม[1/]	อาหารข้น กลุ่มทดลอง[2/]	ฟางข้าว + กากน้ำตาล
วัตถุแห้ง	91.94 ± 0.55	91.62 ± 0.81	77.51 ± 18.21
โปรตีน	16.17 ± 0.02	16.10 ± 0.03	3.10 ± 0.02
ไขมัน	4.59 ± 0.10	4.73 ± 0.18	1.51 ± 0.08
เถ้า	6.95 ± 0.02	9.03 ± 0.01	15.93 ± 0.03
เยื่อใย	9.63 ± 0.05	9.58 ± 0.00	33.71 ± 0.16
NFC	32.49 ± 0.29	32.04 ± 0.70	5.80 ± 0.01
NDF	39.81 ± 0.19	38.10 ± 0.50	73.67 ± 0.12
ADF	15.23 ± 0.29	15.54 ± 0.63	44.55 ± 0.38
ADL	4.56 ± 0.42	4.63 ± 0.09	5.42 ± 1.54
NDIN	1.19 ± 0.01	1.18 ± 0.01	0.12 ± 0.00
ADIN	0.40 ± 0.02	0.39 ± 0.01	0.09 ± 0.00
พลังงาน TDN_{1x} (%)	71.18± 0.55	69.30 ± 0.04	42.20 ± 2.50
พลังงานสุทธิ NE (Mcal/kgDM)	1.57± 0.01	1.55 ± 0.00	0.98 ± 0.05
*dg*DM	57.32	55.57	26.68
*dg*CP	69.34	68.62	37.26

หมายเหตุ แสดงค่าในรูป mean ± SE, แสดงการคำนวณในภาคผนวก ข, [1/]อาหารข้นกลุ่มควบคุม คือ อาหารข้น 16 %CP, [2/]อาหารข้นกลุ่มทดลอง คือ อาหารข้น 16 %CP เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3% ของอาหารข้น , ADF = acid detergent fiber, ADICP = acid detergent insoluble crude protein, ADIN = acid detergent insoluble nitrogen, ADL = acid detergent lignin, dgCP = effective degradability of crude protein, dgDM = effective degradability of dry matter, NDF = neutral detergent fiber, NFC = non-fiber carbohydrate, NDIN = neutral detergent insoluble nitrogen, NDICP = neutral detergent insoluble crude protein, TDN_{1X} (%) = tdNFC + tdCP + (tdFA x 2.25) + tdNDF - 7

ตารางที่ 3.3 แสดงองค์ประกอบของแร่ธาตุในอาหารข้นและอาหารหยาบที่ใช้ในการทดลอง

แร่ธาตุ	อาหารข้น กลุ่มควบคุม	อาหารข้น กลุ่มทดลอง	Pr>T	ฟางข้าว + กากน้ำตาล
Ca, %	0.67 ± 0.01	0.70 ± 0.02	0.2801	0.50 ± 0.02
P, %	0.41 ± 0.00	0.41 ± 0.01	0.1607	0.16 ± 0.01
K, %	0.51 ± 0.01	0.53 ± 0.01	0.1326	1.31 ± 0.02
Mg, %	0.72 ± 0.00	0.71 ± 0.01	0.1560	0.40 ± 0.00
Na, %	0.09 ± 0.00	0.09 ± 0.01	0.2022	0.08 ± 0.00
Cu, ppm	207.20 ± 18.83	292.95 ± 10.98	0.0590	5.12 ± 0.77
Fe, ppm	417.00 ± 28.66	442.91 ± 3.52	0.5322	217.18 ± 0.32
Zn, ppm	218.78 ± 6.32	221.95 ± 2.46	0.3676	15.08 ± 0.65

หมายเหตุ แสดงค่าในรูป mean ± SE

3.8.2 ปริมาณการกินได้โภชนะและแร่ธาตุ

ปริมาณการกินได้โภชนะของโคสาวที่ได้รับอาหารข้นกลุ่มควบคุม อาหารข้นกลุ่มทดลอง และฟางข้าวราดกากน้ำตาลเป็นแหล่งของอาหารหยาบ แสดงดังตารางที่ 3.4 ดังนี้

ปริมาณการกินได้วัตถุแห้งต่อตัวต่อวัน พบว่า ปริมาณการกินได้วัตถุแห้งของอาหารหยาบ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.0 และ 6.4 กิโลกรัมวัตถุแห้งต่อตัวต่อวันตามลำดับ) ปริมาณการกินได้วัตถุแห้งของอาหารข้น (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.8 และ 2.7 กิโลกรัมวัตถุแห้งต่อตัวต่อวันตามลำดับ) และปริมาณการกินได้ของอาหารรวมทั้งหมด (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.8 และ 9.1 กิโลกรัมวัตถุแห้งต่อตัวต่อวันตามลำดับ) ของโคสาวกลุ่มควบคุมและกลุ่มเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) สำหรับปริมาณการกินได้วัตถุแห้งต่อน้ำหนักตัว (g/kg $W^{0.75}$) พบว่าปริมาณการกินได้วัตถุแห้งของอาหารหยาบของโคสาวกลุ่มเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟสูงกว่าโคสาวกลุ่มควบคุม (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 96.0 และ 87.6 g/kg $W^{0.75}$ ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่ปริมาณการกินได้วัตถุแห้งของอาหารข้น (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 40.8 และ 40.9 g/kg $W^{0.75}$ ตามลำดับ) และปริมาณการกินได้วัตถุแห้งของอาหารรวมทั้งหมด (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 128.4 และ 136.9 g/kg $W^{0.75}$ ตามลำดับ) ของโคสาวกลุ่มควบคุมและกลุ่มเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ปริมาณการกินได้โปรตีนต่อตัวต่อวัน พบว่า ปริมาณการกินได้โปรตีนจากอาหารหยาบ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 184.4 และ 199.6 กรัมวัตถุแห้งต่อตัวต่อวันตามลำดับ) ปริมาณการกินได้โปรตีนจากอาหารข้น (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 446.1 และ 442.5 กรัมวัตถุแห้งต่อตัวต่อวันตามลำดับ) และปริมาณ

การกินได้โปรตีนจากอาหารรวมทั้งหมด (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 630.5 และ 642.1 กรัมวัตถุแห้งต่อตัวต่อวันตามลำดับ) ของโคสาวกลุ่มควบคุมและกลุ่มเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) สำหรับปริมาณการกินได้โปรตีนต่อน้ำหนักตัว (g/kg $W^{0.75}$) พบว่าปริมาณการกินได้โปรตีนจากอาหารหยาบของโคสาวกลุ่มเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟสูงกว่าโคสาวกลุ่มควบคุม (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.0 และ 2.7 g/kg $W^{0.75}$ ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนปริมาณการกินได้โปรตีนจากอาหารข้น (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.6 g/kg $W^{0.75}$ ทั้งสองกลุ่ม) และปริมาณการกินได้โปรตีนจากอาหารรวมทั้งหมด (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.3 และ 9.6 g/kg $W^{0.75}$ ตามลำดับ) ของโคสาวกลุ่มควบคุมและกลุ่มเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ปริมาณการกินได้พลังงานสุทธิต่อตัวต่อวัน พบว่า ปริมาณการกินได้พลังงานสุทธิจากอาหารหยาบ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.15 และ 6.66 Mcal/ตัว/วัน ตามลำดับ) ปริมาณการกินได้พลังงานสุทธิจากอาหารข้น (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.30 และ 4.21 Mcal/ตัว/วัน ตามลำดับ) และการกินได้พลังงานจากอาหารรวมทั้งหมด (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.45 และ 10.87 Mcal/ตัว/วัน ตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ปริมาณการกินได้พลังงานสุทธิต่อน้ำหนักตัว (Mcal/kg $W^{0.75}$) พบว่า ปริมาณการกินได้พลังงานสุทธิจากอาหารหยาบของโคสาวกลุ่มเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟสูงกว่าโคสาวกลุ่มควบคุม (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.10 และ 0.09 Mcal/kg $W^{0.75}$ ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนปริมาณการกินได้พลังงานสุทธิจากอาหารข้น (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.06 Mcal/kg $W^{0.75}$ ทั้งสองกลุ่ม) และปริมาณการกินได้พลังงานสุทธิจากอาหารรวมทั้งหมด (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.15 และ 0.16 Mcal/kg $W^{0.75}$ ตามลำดับ) ของโคสาวกลุ่มควบคุมและกลุ่มเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณการกินได้วัตถุแห้ง, โปรตีน และพลังงาน แสดงผลไปในทิศทางเดียวกันคือ เมื่อพิจารณาปริมาณการกินได้ต่อตัวต่อวัน พบว่าโคสาวทั้งสองมีกลุ่มการกินได้วัตถุแห้ง โปรตีนและพลังงานเท่ากัน แต่เมื่อพิจารณาปริมาณการกินได้ต่อน้ำหนักตัว พบว่าปริมาณการกินได้อาหารหยาบวัตถุแห้ง โปรตีน และพลังงานของโคสาวกลุ่มเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟสูงกว่ากลุ่มควบคุม อย่างไรก็ตาม ปริมาณการกินได้รวมของวัตถุแห้ง โปรตีนและพลังงานทั้งการพิจารณาปริมาณการกินได้ต่อตัวต่อวันและเมื่อพิจารณาปริมาณการกินได้ต่อน้ำหนักตัว ก็ไม่ได้ทำให้ปริมาณการกินได้โดยรวมของโคสาวทั้งสองกลุ่มมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากโคสาวทั้งสองกลุ่มได้รับอาหารข้นในปริมาณเท่ากัน ซึ่งในอาหารข้นมีพลังงาน TDN สูงกว่าอาหารหยาบมาก ดังนั้นปริมาณการกินได้ของอาหารหยาบจึงเป็นตัวแปรที่จะทำให้ได้รับพลังงานต่างกัน เนื่องจากการได้รับอาหารหยาบในการทดลองเป็นแบบ *ad libitum* แต่อย่างไรก็ตาม ปริมาณการกินได้อาหารหยาบที่สูงโดยเฉพาะฟางข้าวซึ่งมีอัตราการย่อยสลายต่ำ จะเป็นปัจจัยที่

จำกัดการย่อยได้ โดยเมื่อปริมาณการกินได้สูง ทำให้อาหารผ่านจากกระเพาะหมักเร็ว อาหารมีเวลาอยู่ในกระเพาะหมักน้อย จุลินทรีย์มีโอกาสเข้าย่อยสลายได้น้อยเช่นกัน จึงเป็นเหตุให้อาหารมีค่าการย่อยได้ต่ำ ทำให้การดูดซึมและการใช้ประโยชน์จากอาหารต่ำลงด้วย (พิพัฒน์และคณะ, 2547)

ตารางที่ 3.4 แสดงการกินได้โภชนะของโคสาว

	กลุ่มควบคุม[1/]	**กลุ่มทดลอง[2/]**	**Pr>T**
ปริมาณการกินได้วัตถุแห้ง			
อาหารหยาบ (กิโลกรัมวัตถุแห้ง/ตัว/วัน)	6.0 ± 0.2	6.4 ± 0.1	0.0532
อาหารข้น (กิโลกรัมวัตถุแห้ง/ตัว/วัน)	2.8 ± 0.0	2.7 ± 0.0	0.8990
รวม	8.8 ± 0.2	9.1 ± 0.1	0.0581
อาหารหยาบ (g/kgW$^{0.75}$)	87.6^{a} ± 2.4	96.0^{b} ± 2.9	0.0362
อาหารข้น (g/kgW$^{0.75}$)	40.8 ± 0.9	40.9 ± 0.9	0.8987
รวม	128.4 ± 2.6	136.9 ± 3.7	0.0697
ปริมาณการกินได้โปรตีน			
อาหารหยาบ (กรัมวัตถุแห้ง/ตัว/วัน)	184.4 ± 6.2	199.6 ± 4.1	0.0533
อาหารข้น (กรัมวัตถุแห้ง/ตัว/วัน)	446.1 ± 0.1	442.5 ± 0.1	0.8990
รวม	630.5 ± 6.3	642.1 ± 4.1	0.1335
อาหารหยาบ (g/kgW$^{0.75}$)	2.7^{a} ± 0.1	3.0^{b} ± 0.1	0.0359
อาหารข้น (g/kgW$^{0.75}$)	6.6± 0.1	6.6 ± 0.2	0.9904
รวม	9.3 ± 0.2	9.6 ± 0.2	0.3664
ปริมาณการกินได้พลังงานสุทธิ			
อาหารหยาบ (Mcal/ตัว/วัน)	6.15 ± 0.21	6.66 ± 0.14	0.0533
อาหารข้น (Mcal/ตัว/วัน)	4.30 ± 0.00	4.21 ± 0.00	0.8990
รวม	10.45 ± 0.21	10.87 ± 0.21	0.1094
อาหารหยาบ (Mcal/kgW$^{0.75}$)	0.09^{a} ± 0.00	0.10^{b} ± 0.00	0.0316
อาหารข้น (Mcal/kgW$^{0.75}$)	0.06± 0.00	0.06 ± 0.00	0.5892
รวม	0.15 ± 0.00	0.16 ± 0.00	0.1361

หมายเหตุ แสดงข้อมูลในรูป mean ± SE, ^{a,b} แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

[1/]กลุ่มควบคุมคือโคสาวที่ได้รับอาหารข้น 16 %CP

[2/]กลุ่มทดลองคือโคสาวที่ได้รับอาหารข้น 16 %CP เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3% ของอาหารข้น

ปริมาณการกินได้แร่ธาตุของโคสาวกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง แสดงดังตารางที่ 3.5 ดังนี้ ปริมาณการกินได้ calcium จากอาหารหยาบของโคสาวกลุ่มควบคุมและกลุ่มเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ (30 และ 32 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P> 0.05) แต่พบว่าปริมาณการกินได้ calcium จากอาหารข้น (18 และ 19 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ) ปริมาณการกินได้ calcium รวม (48 และ 51 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ) ของโคสาวกลุ่มเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ปริมาณการกินได้ phosphorus จากอาหารหยาบ (10 และ 11 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ) และปริมาณการกินได้ phosphorus จากอาหารข้น (11 กรัม/ตัว/วัน ทั้งสองกลุ่ม) มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) แต่ปริมาณการกินได้ phosphorus รวม (21 และ 22 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ปริมาณ calcium และ phosphorus ที่โคสาวได้รับทั้งสองกลุ่ม มีปริมาณสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ NRC (2001) ซึ่งแนะนำให้โคสาวที่มีน้ำหนักตัว 300 กิโลกรัมและมีอัตราการเจริญเติบโต 0.5 กิโลกรัมต่อวัน ควรได้รับ calcium 26 กรัมต่อวัน และ phosphorus 14 กรัมต่อวัน

ปริมาณการกินได้ potassium จากอาหารหยาบ (78 และ 84 กรัม/ตัว/วันตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) แต่พบว่าปริมาณการกินได้ potassium จากอาหารข้น (14 และ 15 กรัม/ตัว/วันตามลำดับ) และปริมาณการกินได้ potassium รวม (92 และ 99 กรัม/ตัว/วันตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ซึ่งปริมาณ potassium ที่ได้รับทั้งหมดคิดเป็น 1.05 และ 1.09% ต่อวันตามลำดับ พบว่า มากกว่าความต้องการเมื่อเปรียบเทียบกับ NRC (2001) ซึ่งแนะนำความต้องการ potassium ของโคสาวที่ 0.47% ต่อวัน แต่ NRC (1980) รายงานว่าระดับที่เป็นพิษของ potassium เท่ากับ 3% ขึ้นไป ดังนั้น potassium ในระดับที่ใช้ในการทดลองจึงไม่ทำให้เกิดความเป็นพิษต่อโคสาว

ปริมาณการกินได้ magnesium พบว่า มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P> 0.05) ทั้งปริมาณการกินได้ magnesium จากอาหารหยาบ (24 และ 25 กรัม/ตัว/วันตามลำดับ), ปริมาณการกินได้ magnesium จากอาหารข้น (20 กรัม/ตัว/วันทั้งสองกลุ่ม) และ ปริมาณการกินได้ magnesium รวม (44 และ 45 กรัม/ตัว/วันตามลำดับ) ซึ่งปริมาณ magnesium ที่ได้รับทั้งหมดคิดเป็น 0.50 และ 0.49% ต่อวันตามลำดับ พบว่า มากกว่าความต้องการเมื่อเปรียบเทียบกับ NRC (2001) ซึ่งแนะนำความต้องการ magnesium ของโคสาวที่ 0.11% ต่อวัน และระดับที่เป็นพิษของ magnesium เท่ากับ 0.4% ขึ้นไป ในขณะที่ Church and Pond (1982) อ้างโดย พันทิพา (2543) รายงานระดับสูงสุดของ magnesium ในอาหารสัตว์เลี้ยงที่ต้านทานได้เท่ากับ 0.5% ดังนั้น magnesium ในระดับที่ใช้ในการทดลองเป็นระดับที่สูงจนอาจเกิดความเป็นพิษจาก magnesium ได้

ปริมาณการกินได้ sodium จากอาหารหยาบ (5 กรัม/ตัว/วัน ทั้งสองกลุ่ม) มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) แต่ปริมาณการกินได้ sodium จากอาหารข้น (2 และ 3 กรัม/ตัว/วันตามลำดับ) และปริมาณการกินได้ sodium รวม (7 และ 8 กรัม/ตัว/วันตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ซึ่งปริมาณ sodium ที่ได้รับทั้งหมดคิดเป็น 0.08 และ 0.09% ต่อวันตามลำดับ พบว่า ใกล้เคียงกับ NRC (2001) ซึ่งแนะนำความต้องการ sodium ของโคสาวที่ 0.08% ต่อวัน

ปริมาณการกินได้ copper จากอาหารหยาบ (30 และ 33 มิลลิกรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) แต่พบว่า ปริมาณการกินได้ copper จากอาหารข้น (572 และ 805 มิลลิกรัม/ตัว/วันตามลำดับ) และปริมาณการกินได้ copper รวม (602 และ 838 มิลลิกรัม/ตัว/วันตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01) ซึ่งพบว่า สูงกว่าระดับที่ NRC (2001) แนะนำความต้องการ copper ของโคสาวซึ่งควรได้รับในปริมาณ 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อย่างไรก็ตาม copper มีสัมประสิทธิ์การดูดซึมได้ 4% ซึ่งต่ำมาก ดังนั้นเมื่อคำนวณปริมาณ copper ที่สามารถดูดซึมได้จากปริมาณ copper ที่ได้รับจากอาหารจะพบว่า ปริมาณ copper ที่ถูกดูดซึมเท่ากับ 24 และ 33 มิลลิกรัมต่อวันตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าระดับความต้องการแต่ไม่เกินระดับที่เป็นพิษซึ่งเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Church and Pond, 1982; อ้างโดย พันทิพา, 2543)

ปริมาณการกินได้ iron จากอาหารหยาบ (1,294 และ 1,400 มิลลิกรัม/ตัว/วันตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) แต่ปริมาณการกินได้ iron จากอาหารข้น (1,150 และ 1,217 มิลลิกรัม/ตัว/วันตามลำดับ) และปริมาณการกินได้ iron รวม (2,444 และ 2,617 มิลลิกรัม/ตัว/วันตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01) ซึ่งพบว่าสูงกว่าระดับที่ NRC (2001) แนะนำความต้องการ iron ของโคสาวซึ่งควรได้รับในปริมาณ 43 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อย่างไรก็ตาม iron มีสัมประสิทธิ์การดูดซึมได้ 10% ดังนั้นเมื่อคำนวณ iron ที่สามารถดูดซึมได้จาก iron ที่ได้รับจากอาหารจะพบว่า ปริมาณ iron ที่ถูกดูดซึมเท่ากับ 244 และ 262 มิลลิกรัมต่อวันตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าระดับความต้องการแต่ไม่เกินระดับที่เป็นพิษซึ่งเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม NRC (2001)

ปริมาณการกินได้ zinc จากอาหารหยาบ (90 และ 97 มิลลิกรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) แต่ปริมาณการกินได้ zinc จากอาหารข้น (603 และ 610 มิลลิกรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ) และปริมาณการกินได้ zinc รวม (693 และ 707 มิลลิกรัม/ตัว/วันตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01) ซึ่งพบว่าสูงกว่าระดับที่ NRC (2001) แนะนำความต้องการ zinc ของโคสาวซึ่งควรได้รับในปริมาณ 32 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อย่างไรก็ตาม zinc มีสัมประสิทธิ์การดูดซึมได้ 15% ดังนั้นเมื่อคำนวณปริมาณ zinc ที่สามารถดูด

ซึมได้จากปริมาณ zinc ที่ได้รับจากอาหารจะพบว่า ปริมาณ zinc ที่ถูกดูดซึมเท่ากับ 104 และ 106 มิลลิกรัมต่อวันตามลำดับ ซึ่งพบว่าสูงกว่าระดับความต้องการแต่ไม่เกินระดับที่เป็นพิษซึ่งเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม NRC (2001)

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณการกินได้ calcium, phosphorus, potassium, sodium, copper, iron และ zinc โดยรวมทั้งอาหารหยาบและอาหารข้นของโคสาวกลุ่มเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟสูงกว่ากลุ่มควบคุม ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณแร่ธาตุในอาหารข้นกลุ่มเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟสูงกว่ากลุ่มควบคุมด้วยเช่นกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณแร่ธาตุในอาหารข้นเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้โคสาวได้รับปริมาณแร่ธาตุที่สูงขึ้น อย่างไรก็ตามผลของปริมาณการกินได้แร่ธาตุจากอาหารข้นไม่สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแร่ธาตุในอาหารข้นซึ่งพบว่าองค์ประกอบของแร่ธาตุในอาหารข้นของกลุ่มทดลองไม่ได้แตกต่างจากอาหารข้นกลุ่มควบคุม ส่วนปริมาณการกินได้ magnesium ของโคสาวทั้งสองกลุ่มไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 3.5 แสดงปริมาณการกินได้แร่ธาตุของโคสาว

แร่ธาตุ	กลุ่มควบคุม	กลุ่มทดลอง	Pr>T
ปริมาณการกินได้แร่ธาตุ Ca			
อาหารหยาบ (กรัม/ตัว/วัน)	30 $\pm$ 1.0	32 $\pm$ 0.7	0.0533
อาหารข้น (กรัม/ตัว/วัน)	18^{a} $\pm$ 0.0	19^{b} $\pm$ 0.0	0.0327
รวม	48^{a} $\pm$ 1.0	51^{b} $\pm$ 0.7	0.0121
ปริมาณการกินได้แร่ธาตุ P			
อาหารหยาบ (กรัม/ตัว/วัน)	10 $\pm$ 0.3	11 $\pm$ 0.2	0.0533
อาหารข้น (กรัม/ตัว/วัน)	11 $\pm$ 0.0	11 $\pm$ 0.0	0.0506
รวม	21^{a} $\pm$ 0.3	22^{b} $\pm$ 0.2	0.0479
ปริมาณการกินได้แร่ธาตุ K			
อาหารหยาบ (กรัม/ตัว/วัน)	78 $\pm$ 2.6	84 $\pm$ 1.7	0.0533
อาหารข้น (กรัม/ตัว/วัน)	14^{a} $\pm$ 0.0	15^{b} $\pm$ 0.0	0.0444
รวม	92^{a} $\pm$ 2.6	99^{b} $\pm$ 1.7	0.0354
ปริมาณการกินได้แร่ธาตุ Mg			
อาหารหยาบ (กรัม/ตัว/วัน)	24 $\pm$ 0.8	25 $\pm$ 0.5	0.0533
อาหารข้น (กรัม/ตัว/วัน)	20 $\pm$ 0.0	20 $\pm$ 0.0	0.0687
รวม	44 $\pm$ 0.8	45 $\pm$ 0.5	0.0841

หมายเหตุ แสดงค่าในรูป mean $\pm$ SE, ^{a,b} แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$), ^{c,d} แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$)

ตารางที่ 3.5 แสดงปริมาณการกินได้แร่ธาตุของโคสาว (ต่อ)

แร่ธาตุ	กลุ่มควบคุม	กลุ่มทดลอง	Pr>T
ปริมาณการกินได้แร่ธาตุ Na			
อาหารหยาบ (กรัม/ตัว/วัน)	5 ± 0.2	5 ± 0.1	0.0533
อาหารข้น (กรัม/ตัว/วัน)	2^{a} ± 0.0	3^{b} ± 0.0	0.0324
รวม	7^{a} ± 0.2	8^{b} ± 0.1	0.0115
ปริมาณการกินได้แร่ธาตุ Cu			
อาหารหยาบ (มิลลิกรัม/ตัว/วัน)	30 ± 1.0	33 ± 0.7	0.0533
อาหารข้น (มิลลิกรัม/ตัว/วัน)	572^{c} ± 0.1	805^{d} ± 0.1	0.0001
รวม	602^{c} ± 1.1	838^{d} ± 0.7	0.0001
ปริมาณการกินได้แร่ธาตุ Fe			
อาหารหยาบ (มิลลิกรัม/ตัว/วัน)	1,294 ± 43.6	1,400 ± 28.4	0.0533
อาหารข้น (มิลลิกรัม/ตัว/วัน)	$1,150^{c}$ ± 0.2	$1,217^{d}$ ± 0.2	0.0001
รวม	$2,444^{c}$ ± 43.7	$2,617^{d}$ ± 28.5	0.0031
ปริมาณการกินได้แร่ธาตุ Zn			
อาหารหยาบ (มิลลิกรัม/ตัว/วัน)	90 ± 3.0	97 ± 2.0	0.0533
อาหารข้น (มิลลิกรัม/ตัว/วัน)	603^{c} ± 0.1	610^{d} ± 0.1	0.0001
รวม	693^{c} ± 3.1	707^{d} ± 2.0	0.0010

หมายเหตุ แสดงค่าในรูป mean ± SE, ^{a,b} แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$), ^{c,d} แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$)

3.8.3 ปริมาณแร่ธาตุในพลาสมา

ปริมาณแร่ธาตุในพลาสมาของโคสาวกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง แสดงดังตารางที่ 3.6 พบว่า ปริมาณ calcium ในพลาสมาก่อนการทดลอง (2.40 และ 2.46 mmol/L ตามลำดับ), ระหว่างการทดลอง (2.68 และ 2.58 mmol/L ตามลำดับ) และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (2.65 และ 2.66 mmol/L ตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ซึ่งพบว่าปริมาณ calcium ในพลาสมามีค่าใกล้เคียงกับ ฉลอง (2543) ซึ่งรายงานระดับปกติของปริมาณ calcium ในพลาสมามีค่าอยู่ระหว่าง 2.0-3.0 mmol/L แต่ปริมาณ calcium ในพลาสมาระหว่างการทดลองและหลังการทดลองมีค่าสูงกว่า NRC (2001) ที่รายงานระดับปกติของปริมาณ calcium ในพลาสมาเท่ากับ 2.2-2.5 mmol/L จากผลการทดลองพบว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3% ไม่ทำให้ปริมาณ calcium ในพลาสมาสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากระดับ calcium ในอาหาร

เป็นระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของโคสาว สอดคล้องกับ Leach et al. (1990) อ้างโดย ผุสดี (2537) พบว่า การเสริม zeolite ในอาหารที่มี calcium ต่ำกว่าระดับความต้องการมีผลเพิ่มการใช้ประโยชน์ได้ของ calcium ในอาหาร

ปริมาณ phosphorus ในพลาสมาก่อนการทดลอง (1.92 และ 1.93 mmol/L ตามลำดับ), ระหว่างการทดลอง (1.94 และ 1.83 mmol/L ตามลำดับ) และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (1.81 และ 1.78 mmol/L ตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) พบว่า ปริมาณ phosphorus ในพลาสมามีค่าใกล้เคียงกับ ฉลอง (2543) ซึ่งรายงานระดับปกติของ phosphorus ในพลาสมามีค่าอยู่ระหว่าง 1.3-2.1 mmol/L แต่ปริมาณ phosphorus ในพลาสมาระหว่างการทดลองและหลังการทดลองมีค่าสูงกว่า NRC (2001) ที่รายงานระดับปกติของปริมาณ phosphorus ในพลาสมาเท่ากับ 1.3-1.6 mmol/L จากผลการทดลองพบว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3% ไม่ทำให้ปริมาณ phosphorus ในพลาสมาสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ใช้ในการทดลองไม่มี phosphorus เป็นส่วนประกอบ และจากการทดลองของ Cook et al. (1982) พบว่า sodium zeolite A มี aluminium เป็นองค์ประกอบอยู่ในโครงสร้าง ถูกย่อยได้ในสภาพความเป็นกรดภายในระบบทางเดินอาหาร ผลการย่อยจะได้ aluminium ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยารวมตัวกับ phosphorus เป็น aluminiumphosphate เกิดการตกตะกอน และร่างกายไม่สามารถดูดซึมเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้ สำหรับแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ใช้ในการทดลองนี้มี aluminium เป็นส่วนประกอบ 10.46% ซึ่งอาจเป็นผลที่นำไปสู่ระดับที่ต่ำลงของ phosphorus ในพลาสมาได้

ปริมาณ potassium ในพลาสมาก่อนการทดลอง (4.57 และ 4.23 mmol/L ตามลำดับ), ระหว่างการทดลอง (4.53 และ 4.16 mmol/L ตามลำดับ) และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (4.68 และ 4.66 mmol/L ตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) พบว่า ปริมาณ potassium ในพลาสมามีค่าอยู่ในระดับที่ต่ำกว่า NRC (2001) ซึ่งรายงานระดับปกติของปริมาณ potassium ในพลาสมาเท่ากับ 5-10 mmol/L แต่มีค่าอยู่ในช่วงใกล้เคียงกับ ฉลอง (2543) ซึ่งรายงานระดับปกติมีค่าอยู่ระหว่าง 4.5-5.5 mmol/L จากผลการทดลองพบว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3% ไม่ทำให้ปริมาณ potassium ในพลาสมาสูงขึ้น

ปริมาณ magnesium ในพลาสมาก่อนการทดลอง (0.72 mmol/L ทั้งสองกลุ่มการทดลอง), ระหว่างการทดลอง (0.73 mmol/L ทั้งสองกลุ่มการทดลอง) และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (0.73 mmol/L ทั้งสองกลุ่มการทดลอง) มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) พบว่า ปริมาณ magnesium ในพลาสมามีค่าต่ำกว่าระดับปกติประมาณ 0.02 mmol/L เมื่อเทียบกับรายงานของ NRC (2001) และฉลอง (2543) รายงานระดับปกติของปริมาณ magnesium ใน

พลาสมาใกล้เคียงกันคือ 0.75-1.0 mmol/L และ 0.75-1.3 mmol/L ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3% ไม่ทำให้ปริมาณ magnesium ในพลาสมาสูงขึ้น ปริมาณ sodium ในพลาสมาก่อนการทดลอง (154.46 และ 135.27 mmol/L ตามลำดับ), ระหว่างการทดลอง (136.56 และ 139.06 mmol/L ตามลำดับ) และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (133.47 และ 140.61 mmol/L ตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ซึ่งพบว่าปริมาณ sodium ในพลาสมามีค่าอยู่ในระดับปกติ ซึ่ง ฉลอง (2543) รายงานระดับปกติมีค่าอยู่ระหว่าง 140-150 mmol/L จากผลการทดลองพบว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3% ไม่ทำให้ปริมาณ sodium ในพลาสมาสูงขึ้น

ปริมาณ copper ในพลาสมาก่อนการทดลอง (14.26 และ 14.56 µmol/L ตามลำดับ), ระหว่างการทดลอง (14.47 และ 15.28 mmol/L ตามลำดับ) และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (15.60 และ 16.95 µmol/L ตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) พบว่า ปริมาณ copper ในพลาสมามีค่าอยู่ในระดับเดียวกับ ฉลอง (2543) ซึ่งรายงานว่า ระดับปกติของ copper ในพลาสมามีค่าอยู่ระหว่าง 12.6-18.9 µmol/L จากผลการทดลองพบว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3% ไม่ทำให้ปริมาณ copper ในพลาสมาสูงขึ้น

ปริมาณ iron ในพลาสมาก่อนการทดลอง (29.38 และ 25.90 µmol/L ตามลำดับ) และระหว่างการทดลอง (26.40 และ 29.67 µmol/L ตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ซึ่งพบว่า ปริมาณ iron ในพลาสมามีค่าอยู่ในระดับเดียวกับ ฉลอง (2543) ที่รายงานว่า ระดับปกติของ iron ในพลาสมามีค่าอยู่ระหว่าง 20-40 µmol/L สำหรับปริมาณ iron ในพลาสมาสิ้นสุดการทดลองมีตัวอย่างพลาสมาไม่เพียงพอจึงไม่สามารถวิเคราะห์ผลได้ จากผลการทดลองพบว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3% ไม่ทำให้ปริมาณ iron ในพลาสมาสูงขึ้น

ปริมาณ zinc ในพลาสมาก่อนการทดลอง (18.60 และ 16.48 µmol/L ตามลำดับ), ระหว่างการทดลอง (17.06 และ 16.54 µmol/L ตามลำดับ) และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (15.98 และ 16.19 µmol/L ตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ซึ่งพบว่า ปริมาณ zinc ในพลาสมามีค่าอยู่ในระดับเดียวกับ ฉลอง (2543) ซึ่งรายงานว่า ระดับปกติมีค่าอยู่ระหว่าง 12-18.5 µmol/L จากผลการทดลองพบว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3% ไม่ทำให้ปริมาณ zinc ในพลาสมาสูงขึ้น

จากผลการทดลองพบว่า การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟไม่ส่งผลให้ปริมาณ calcium, phosphorus, potassium, magnesium, sodium, copper, iron และ zinc ในพลาสมาเพิ่มขึ้น ซึ่งไม่สอดคล้องกับผลปริมาณการกินได้ของแร่ธาตุในอาหาร ที่พบว่าปริมาณการกินได้ของแร่ธาตุดังกล่าวของโคสาวกลุ่มทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุม ยกเว้น magnesium ที่พบว่าปริมาณการกินได้

magnesium ของโคสาวทั้งสองกลุ่มไม่มีความแตกต่างกัน การที่ปริมาณการกินได้หรือการได้รับแร่ธาตุของโคสาวกลุ่มทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุม แต่ปริมาณแร่ธาตุในพลาสมาไม่มีความแตกต่างกันระหว่างโคทั้งสองกลุ่ม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซึมแร่ธาตุ คือ form ของแร่ธาตุในระบบทางเดินอาหาร ปฏิสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุ สภาวะในระบบทางเดินอาหาร คุณสมบัติในการดูดซับและแลกเปลี่ยนประจุของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ รวมทั้งระดับของแร่ธาตุที่เสริม ดังกล่าวข้างต้น

ตารางที่ 3.6 ปริมาณแร่ธาตุในพลาสมา

แร่ธาตุ	กลุ่มควบคุม	กลุ่มทดลอง	Pr>T
Ca (mmol/L)			
ก่อนการทดลอง	2.40 $\pm$ 0.10	2.46 $\pm$ 0.22	0.8286
ระหว่างการทดลอง	2.68 $\pm$ 0.12	2.58 $\pm$ 0.18	0.6361
สิ้นสุดการทดลอง	2.65 $\pm$ 0.04	2.66 $\pm$ 0.06	0.9545
P (mmol/L)			
ก่อนการทดลอง	1.92 $\pm$ 0.03	1.93 $\pm$ 0.04	0.8156
ระหว่างการทดลอง	1.94 $\pm$ 0.09	1.83 $\pm$ 0.04	0.3123
สิ้นสุดการทดลอง	1.81 $\pm$ 0.05	1.78 $\pm$ 0.05	0.7345
K (mmol/L)			
ก่อนการทดลอง	4.57 $\pm$ 0.29	4.23 $\pm$ 0.12	0.3543
ระหว่างการทดลอง	4.53 $\pm$ 0.13	4.16 $\pm$ 0.15	0.0764
สิ้นสุดการทดลอง	4.68 $\pm$ 0.08	4.66 $\pm$ 0.13	0.8614
Mg (mmol/L)			
ก่อนการทดลอง	0.72 $\pm$ 0.02	0.72 $\pm$ 0.02	0.8868
ระหว่างการทดลอง	0.73 $\pm$ 0.01	0.73 $\pm$ 0.01	0.9573
สิ้นสุดการทดลอง	0.73 $\pm$ 0.01	0.73 $\pm$ 0.02	0.7958
Na (mmol/L)			
ก่อนการทดลอง	154.46 $\pm$ 10.04	135.27 $\pm$ 4.04	0.0903
ระหว่างการทดลอง	136.56 $\pm$ 9.85	139.06 $\pm$ 6.78	0.8391
สิ้นสุดการทดลอง	133.47 $\pm$ 2.55	140.61 $\pm$ 10.91	0.4837

หมายเหตุ แสดงข้อมูลในรูป mean $\pm$ SE

ตารางที่ 3.6 ปริมาณแร่ธาตุในพลาสมา (ต่อ)

แร่ธาตุ	กลุ่มควบคุม	กลุ่มทดลอง	Pr>T
Cu (µmol/L)			
ก่อนการทดลอง	14.26 ± 1.46	14.56 ± 0.80	0.8691
ระหว่างการทดลอง	14.47 ± 0.71	15.28 ± 0.66	0.4151
สิ้นสุดการทดลอง	15.60 ± 1.01	16.95 ± 1.72	0.3633
Fe (µmol/L)			
ก่อนการทดลอง	29.38 ± 3.20	25.90 ± 2.24	0.1424
ระหว่างการทดลอง	26.40 ± 1.21	29.67 ± 0.72	0.0549
สิ้นสุดการทดลอง	-	-	-
Zn (µmol/L)			
ก่อนการทดลอง	18.60 ± 0.91	16.48 ± 0.70	0.0777
ระหว่างการทดลอง	17.06 ± 1.00	16.54 ± 0.73	0.6867
สิ้นสุดการทดลอง	15.98 ± 0.59	16.19 ± 0.61	0.8058

หมายเหตุ แสดงข้อมูลในรูป mean ± SE

3.8.4 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวและประสิทธิภาพการใช้อาหาร

การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวและประสิทธิภาพการใช้อาหารของโคสาวที่ได้รับอาหารข้นกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3% ร่วมกับฟางข้าวราดกากน้ำตาลเป็นแหล่งอาหารหยาบ แสดงดังตารางที่ 3.7 พบว่า น้ำหนักตัวก่อนการทดลอง (251.4 และ 251.3 กิโลกรัมตามลำดับ) น้ำหนักตัวสิ้นสุดการทดลอง (301.5 และ 296.5 กิโลกรัมตามลำดับ) น้ำหนักตัวเฉลี่ยตลอดการทดลอง (278.0 และ 275.5 กิโลกรัมตามลำดับ) อัตราการเจริญเติบโต (511 และ 461 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ) และประสิทธิภาพการใช้อาหาร (NE_{intake}(Mcal)/Gain(kg)) (13.5 และ 14.0 Mcal/Gain (kg) ตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้งนี้กลุ่มไม่มีความแตกต่างกัน และถึงแม้ว่าปริมาณการกินได้แร่ธาตุ calcium, phosphorus, potassium, sodium,ของโคสาวกลุ่มทดลองมากกว่ากลุ่มควบคุม ($P<0.05$) และปริมาณการกินได้แร่ธาตุ copper, iron และ zinc ของโคสาวกลุ่มทดลองมากกว่ากลุ่มควบคุม ($P<0.01$) แต่เมื่อพิจารณาถึงปริมาณ calcium, phosphorus, potassium, sodium, copper, iron, zinc รวมทั้ง magnesium ในพลาสมาพบว่าปริมาณแร่ธาตุดังกล่าวไม่ได้สูงขึ้น เพราะฉะนั้น แสดงว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ได้รับที่ระดับ 3% ของอาหารข้นของโคสาวไม่สามารถดูดซึมแร่ธาตุได้ จึงไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้อัตราการ

เจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของโคสาวทั้งสองกลุ่มไม่มีความแตกต่างกันได้ อย่างไรก็ตาม มีผลการทดลองในสุกรที่พบว่า การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ โดยเสริม zeolite ที่ระดับ 3-10% ในอาหารสุกร ทำให้อัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารดีขึ้น (Buto and Takahasi., 1967; อ้างโดย Mumpton and Fishman., 1977; Cool and Willard., 1982; Gevorkyan et al., 1982 และ Cheshmedzhiev and Angel.,1986.) ซึ่งให้เหตุผลว่า คุณสมบัติในการดูดซับของ zeolite จะทำให้อาหารอยู่ในระบบทางเดินอาหารนานขึ้น จึงมีโอกาสที่จะถูกย่อยและดูดซึมนำไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น และพบว่าสุกรมีอัตราการเกิดการท้องเสีย รวมทั้งความรุนแรงจากอาการท้องเสียลดลง ซึ่งเนื่องมาจากแร่จากจากหินภูเขาไฟช่วยดูดซับสารพิษที่ปนเปื้อนในอาหารเช่น สารพิษจากเชื้อรา สารพิษจากถั่วดิบ (Gunther, 1990) แอมโมเนียในระบบทางเดิน ทำให้ความเป็นพิษของสารดังกล่าวต่อ epithelial cell ในลำไส้ลดลง (Vincent et al., 1987) การดูดซึมสารอาหารจึงเกิดขึ้นได้ดี จะเห็นได้ว่าอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพในการใช้อาหารที่ดีขึ้นของสัตว์กระเพาะเดี่ยวมีเหตุผลมาจากคุณสมบัติในการดูดซับโดยเฉพาะสารพิษในระบบทางเดินอาหาร จึงช่วยทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของระบบทางเดินอาหารดีกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริม รวมทั้งปริมาณของการเสริมแร่ธาตุอยู่ในระดับที่สูง (3-10%) ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารโคสาว อาจเป็นไปได้ว่าหากเพิ่มระดับการเสริมแร่ธาตุขึ้น คุณสมบัติของแร่ธาตุในการดูดซับ ที่จะทำให้แสดงผลดังกล่าวจึงน่าจะมีโอกาสสูงขึ้นได้ โดยน่าจะส่งผลโดยตรงต่อการลดความเป็นพิษของแอมโมเนียในภาวะที่ปริมาณแอมโมเนียสูงเกินไปในกระเพาะหมักได้ โดยการดูดซับแอมโมเนีย ไว้ประมาณ 15% เป็นเวลาหลายชั่วโมง ต่อเมื่อ Na^+ เข้าสู่กระเพาะรูเมนตอนที่สัตว์เคี้ยวเอื้องก็จะค่อยๆ ถูกปลดปล่อยออกมาทำให้จุลินทรีย์นำไปใช้ประโยชน์ (Thomas, www. 2002)

ตารางที่ 3.7 แสดงน้ำหนักตัวและการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวของโคสาว

	กลุ่มควบคุม	**กลุ่มทดลอง**	**Pr>T**
น้ำหนักตัว (กิโลกรัม)			
ก่อนการทดลอง	251.4 $\pm$ 7.8	251.3 $\pm$ 8.8	0.9944
สิ้นสุดการทดลอง	301.5 $\pm$ 8.3	296.5 $\pm$ 8.6	0.6798
เฉลี่ย	278.0 $\pm$ 7.9	275.5 $\pm$ 8.2	0.8276
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/ตัว/วัน)	511 $\pm$ 47	461 $\pm$ 57.2	0.5038
ประสิทธิภาพการใช้อาหาร (NE_{intake}/Gain)[1/]	13.5 $\pm$ 0.3	14.0 $\pm$ 0.2	0.1092

หมายเหตุ แสดงค่าในรูป mean $\pm$ SE , [1/] NE_{intake} (Mcal) / Gain (kg)

3.8.5 การประมาณค่าความต้องการโปรตีนและพลังงาน

การประมาณค่าโปรตีนของโคสาวที่ได้รับอาหารข้นกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ และฟางข้าวราดกากน้ำตาลเป็นแหล่งของอาหารหยาบ แสดงดังตารางที่ 3.8 พบว่าความต้องการโปรตีนทั้งหมดของโคสาว (MP_R) (662 และ 649 กรัมต่อวันตามลำดับ), โปรตีนที่ได้รับจากจุลินทรีย์ (MCP) (582 และ 601 กรัมต่อวันตามลำดับ), ความต้องการโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{req}) (685 และ 707 กรัมต่อวันตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่โปรตีนที่สามารถย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{sup}) ที่ได้รับจากอาหารนั้นพบว่าโคสาวกลุ่มทดลองได้รับมากกว่ากลุ่มควบคุม (381 และ 375 กรัมต่อวันตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และพบว่าโคสาวได้รับโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักไม่เพียงพอ (-310 และ -326 กรัมต่อวันตามลำดับ) ซึ่งมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ส่วนโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมักพบว่า ความต้องการโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP_{req}) (470 และ 417 กรัมต่อวันตามลำดับ), โปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP_{req}) ที่ได้รับจากอาหาร (256 และ 261 กรัมต่อวันตามลำดับ) รวมทั้งสมดุลของโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมักที่ได้รับไม่เพียงพอต่อความต้องการ (-214 และ -156 กรัมต่อวันตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

จากการประมาณค่าโปรตีนในอาหารและความต้องการโปรตีนของโคสาว พบว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3% ไม่มีผลต่อความต้องการโปรตีนทั้ง RDP, RUP และความต้องการโปรตีนทั้งหมด รวมทั้งสมดุลของ RDP และ RUP ซึ่งพบว่าในอาหารมี RDP และ RUP ไม่เพียงพอ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอาหารที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งพบว่าอาหารหยาบคือ ฟางข้าว มีโปรตีนและค่าอัตราย่อยสลายต่ำ และอาหารข้นมีอัตราการย่อยสลายต่ำเช่นกัน ซึ่งอาจเป็นผลจากการใช้วัตถุดิบที่มีอัตราการย่อยสลายวัตถุแห้งและโปรตีนต่ำ แต่การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารที่ระดับ 3% มีผลให้โคสาวกลุ่มทดลองได้รับ RDP จากอาหารสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณการกินได้โปรตีนจากอาหารหยาบต่อน้ำหนักตัวของโคสาวกลุ่มทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุมจึงส่งผลให้ได้รับ RDP จากอาหารสูงกว่า

ตารางที่ 3.8 แสดงความต้องการโปรตีนของโคสาวและปริมาณโปรตีนที่ได้รับจากอาหาร

	กลุ่มควบคุม	กลุ่มทดลอง	Pr>T
ความต้องการโปรตีนทั้งหมด (MP_R)	662 $\pm$ 30	649 $\pm$ 36	0.7766
โปรตีนที่ได้รับจากจุลินทรีย์ (MCP)	582 $\pm$ 11	601 $\pm$ 7	0.1584
ความต้องการ RDP_{req}	685 $\pm$ 13	707 $\pm$ 8	0.1620
RDP_{sup} ที่ได้รับจากอาหาร	375^a $\pm$ 2	381^b $\pm$ 2	0.0319
RDP_{sup} ขาด/เกิน	-310 $\pm$ 11	-326 $\pm$ 7	0.2152
ความต้องการ RUP_{req}	470 $\pm$ 50	417 $\pm$ 61	0.5132
RUP_{sup} ที่ได้รับจากอาหาร	256 $\pm$ 4	261 $\pm$ 3	0.2672
RUP ขาด/เกิน	-214 $\pm$ 49	-156 $\pm$ 59	0.4624

หมายเหตุ แสดงค่าในรูป mean $\pm$ SE, มีหน่วยเป็น กรัม/ตัว/วัน, ^{a,b} แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$), แสดงการคำนวณในภาคผนวก ข

การประมาณค่าพลังงานที่โคสาวต้องการเพื่อกิจกรรมต่างๆ และประสิทธิภาพการใช้พลังงาน แสดงดังตารางที่ 3.9 พบว่า การกินได้พลังงานสุทธิ (NE_{intake}) (10.45 และ 10.86 Mcal/วันตามลำดับ), พลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (NE_M) (5.81 และ 5.85 Mcal/วัน ตามลำดับ), พลังงานสุทธิเพื่อการเพิ่มน้ำหนักตัว (NE_G) (3.27 และ 3.68 Mcal/วันตามลำดับ), พลังงานสุทธิสะสม (NE_R) (9.08 และ 9.53 Mcal/วันตามลำดับ) และประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (0.83 และ 0.91 ตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้งนี้ผลของแร่ธาตุประเภท aluminosilicate ต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงาน Thielemans and Bondant (1983) พบว่าสุกรที่มีน้ำหนักตัว 55-80 kg ที่ได้รับ zeolites ที่ระดับ 0, 2, 5 และ 10% มีการย่อยได้พลังงานและอินทรีย์วัตถุสูงขึ้นตามระดับการเสริม สอดคล้องกับ Shurson et al. (1984) พบว่า การเสริม zeolites A ที่ระดับ 0.3% และ clinoptilolite 0.5% ในอาหารสุกรที่มีน้ำหนักตัวเริ่มต้น 25 kg ส่งผลให้น้ำหนักเฉลี่ยต่อวัน อาหารที่กินได้ต่อวันโดยเฉลี่ย และอาหารที่กินต่อน้ำหนักตัวเพิ่ม 1 kg ไม่แตกต่าง แต่มีผลให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (metabolizable energy, ME) สูงขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจาก คุณสมบัติในการดูดซับ (adsorption properties) ของสารประเภท aluminosilicate จึงทำให้อัตราการไหลผ่านของอาหารในระบบทางเดินอาหารช้าลง ทำให้การย่อยได้ของอาหารดีขึ้น (Cheshmedzhiev et al., 1985) จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานใช้ประโยชน์ได้ สูงขึ้น แต่จากผลการทดลองเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารโคสาวที่ระดับ 3% พบว่าไม่มีผลต่อการกินได้พลังงานสุทธิ (NE_{intake}), พลังงานที่โคสาวต้องการเพื่อกิจกรรมต่างๆ และประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างของระบบทางเดินของสัตว์

โดยที่สัตว์กระเพาะรวมมีระบบทางเดินอาหารรวมทั้งสภาวะที่มีความซับซ้อน มีความชื้นและปริมาณแก๊สต่างๆ สูงกว่าสัตว์กระเพาะเดี่ยว จึงอาจทำให้คุณสมบัติในการดูดซับของแร่ธาตุไม่สามารถแสดงผลได้เช่นเดียวกับสัตว์กระเพาะเดี่ยว

ตารางที่ 3.9 แสดงพลังงานที่โคสาวต้องการเพื่อกิจกรรมต่างๆ และประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

	กลุ่มควบคุม	**กลุ่มทดลอง**	**Pr>T**
การกินได้พลังงานสุทธิ (NE_{intake})	10.45 $\pm$ 0.21	10.86 $\pm$ 0.14	0.1087
พลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (NE_M)	5.44 $\pm$ 0.12	5.41 $\pm$ 0.12	0.8297
พลังงานสุทธิเพื่อการเพิ่มน้ำหนักตัว (NE_G)	3.27 $\pm$ 0.46	3.68 $\pm$ 0.38	0.4927
พลังงานสุทธิสะสม (NE_R)	9.08 $\pm$ 0.49	9.53 $\pm$ 0.44	0.4969
ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (efficiency)	0.83 $\pm$ 0.04	0.91 $\pm$ 0.04	0.1410

หมายเหตุ แสดงค่าในรูป mean $\pm$ SE, มีหน่วยเป็น Mcal/วัน, แสดงการคำนวณในภาคผนวก ข

3.8.6 การเป็นสัดและการผสมติด

การเป็นสัดและการผสมติดของโคสาวกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง แสดงดังตารางที่ 3.10 พบว่า อายุที่โคสาวได้รับการผสมเทียมครั้งแรก (17.73 และ 17.66 เดือน ตามลำดับ) และอายุเมื่อผสมติด (18.41 และ 18.33 เดือน ตามลำดับ) ซึ่งมีโคสาวที่ผสมติดได้ในการผสมเทียมครั้งแรกเป็นจำนวน 62.50 และ 66.67% ตามลำดับ โคสาวที่กลับสัดแล้วผสมติดในการผสมเทียมครั้งที่ 2 เป็นจำนวน 12.50 และ 16.67% ตามลำดับ และกลับสัดแล้วผสมติดในการผสมเทียมในครั้งที่ 3 เป็นจำนวน 25.00 และ 16.67% ตามลำดับ และอัตราการผสมติด (1.63 และ 1.50 ครั้ง ตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้งนี้ จากผลการวิเคราะห์แร่ธาตุที่สำคัญในพลาสมา พบว่า ปริมาณแร่ธาตุใน plasma มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ดังนั้น ในแง่ของการใช้ประโยชน์ของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ จึงเป็นไปได้ว่า แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ใช้ในการทดลองไม่ถูกดูดซึมจึงไม่สามารถใช้ประโยชน์จากแร่ธาตุได้ ดังนั้นแสดงว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3% ของอาหารโคสาวไม่มีผลต่อการเป็นสัดและการผสมติดของโคสาว

ตารางที่ 3.10 แสดงผลการเป็นสัดและการผสมติดของโคสาว

	กลุ่มควบคุม	กลุ่มทดลอง	Pr>T
อายุโคสาวที่ผสมเทียมครั้งแรก (เดือน)	17.73 ± 0.68[1/]	17.66 ± 0.92[2/]	0.9373
อายุโคสาวที่ผสมติด (เดือน)	18.41 ± 0.72[1/]	18.33 ± 0.59[2/]	0.9379
เปอร์เซ็นต์การผสมติดของโคสาวที่ได้รับการผสมเทียม			
ผสมเทียม 1 ครั้ง	62.50[1/]	66.67[2/]	-
ผสมเทียม 2 ครั้ง	12.50[1/]	16.67[2/]	-
ผสมเทียม 3 ครั้ง	25.00[1/]	16.67[2/]	-
อัตราการผสมติด (ครั้ง)	1.63 ± 0.32[1/]	1.50 ± 0.34[2/]	0.7979

หมายเหตุ แสดงค่าในรูป mean ± SE

[1/]คำนวณจากจำนวนโคสาวกลุ่มควบคุมที่แสดงอาการเป็นสัด (n=8)

[2/]คำนวณจากจำนวนโคสาวกลุ่มทดลองที่แสดงอาการเป็นสัด (n=6)

3.8.7 nitrogen และ phosphorus ในมูล

เปอร์เซ็นต์ nitrogen และ phosphorus ในมูลของโคสาวกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง แสดงดังตารางที่ 3.11 พบว่า เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง, nitrogen และ phosphorus ในมูลโคสาวทั้งสองกลุ่มในช่วงก่อนการทดลอง ระหว่างการทดลอง และเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ดังนี้ วัตถุแห้งของมูลก่อนการทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 23.60 และ 22.16% ตามลำดับ วัตถุแห้งของมูลระหว่างการทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 22.26 และ 22.73% ตามลำดับ และวัตถุแห้งของมูลเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 22.35 และ 23.17% ตามลำดับ nitrogen ในมูลก่อนการทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.47 และ 0.48% ตามลำดับ nitrogen ในมูลระหว่างการทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.46 และ 0.49% ตามลำดับ และ nitrogen ในมูลเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.47 และ 0.50% ตามลำดับ phosphorus ในมูลก่อนการทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.72% ทั้งสองกลุ่มการทดลอง phosphorus ในมูลระหว่างการทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.72 และ 0.71% ตามลำดับ และ phosphorus ในมูลเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.73 และ 0.71% ตามลำดับ

จากผลการทดลอง พบว่า การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3% ไม่มีผลต่อความชื้นในมูลโคสาว ซึ่งผลของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อปริมาณความชื้นในมูล เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับ Nakaue and Koeliker (1981) ที่ทดลองเสริม clinoptilolite 0, 2.5, 5 และ 10% พบว่า ที่ระดับ 10% มีผลให้ความชื้นในมูลไก่ไข่ลดลง (P<0.05), Bolduan et al. (1992) พบว่า สารดูดซับ (silica 65%, aluminiumoxide 5%) ที่ระดับ 2% ทำให้ปริมาณวัตถุแห้งในมูลลูกสุกรเพิ่มขึ้น

($P<0.05$), Ingram et al. (1991) ทดลองเสริม zeolite ที่ระดับ 4% ในอาหารไก่เนื้อ พบว่าความชื้นในมูลเพิ่มขึ้น และนิคม (2547) ทดลองเสริม pumice (เป็นสาร ประเภท hydrated sodium calcium aluminosilicate มีคุณสมบัติคล้าย zeolites) ในอาหารไก่ไข่ที่ระดับ 2, 4 และ 6% พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของปริมาณการขับมูล น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของมูล ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการใช้แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟเพื่อการลดความชื้นในมูลยังให้ผลที่แตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากองค์ประกอบของแร่ธาตุ โครงสร้างของโมเลกุล ฤดูกาลที่ใช้ในการทดลอง และลักษณะของอาหารที่ใช้ในการทดลอง ในการทดลองนี้โคสาวได้รับอาหารหยาบคือฟางข้าวราดกากน้ำตาล ซึ่งฟางข้าวมีวัตถุแห้งสูง เยื่อใยสูง อัตราการย่อยสลายวัตถุแห้งต่ำ (dgDM = 26.68%) รวมทั้งปริมาณการเสริมที่ ระดับ 3% เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณมูลที่ขับถ่ายจึงอาจเป็นปริมาณไม่เพียงพอที่จะแสดงผลการดูดซับที่มีผลให้ความชื้นในมูลลดลงได้

สำหรับเปอร์เซ็นต์ nitrogen ในมูล พบว่า การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3% ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ nitrogen ในมูลโคสาว ทั้งนี้เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับผลการลด nitrogen ในมูลสัตว์กระเพาะเดี่ยวโดยที่ Bolduan et al. (1992) พบว่า สารดูดซับ (silica 65%, aluminiumoxide 5%) ที่ระดับ 2% ทำให้ปริมาณยูเรียในซีรั่มลดลง และ pH ในลำไส้ใหญ่เพิ่มขึ้น ($P<0.05$) ในขณะที่ปริมาณ nitrogen ในมูลและปัสสาวะลดลง สอดคล้องกับ เอกพล (2546) พบว่าเปอร์เซ็นต์ nitrogen ในสุกรที่ได้รับแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในระดับ 3% ในอาหารลดลง ($P<0.01$) เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้เสริม ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสำหรับสัตว์กระเพาะเดี่ยวแล้วแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟมีผลช่วยให้การใช้ประโยชน์จาก nitrogen ดีขึ้น โดยการให้อาหารอยู่ในระบบทางเดินอาหารได้นาน จึงถูกย่อยและดูดซึมได้สูง ทำให้มีปริมาณ nitrogen ผ่านไปที่ลำไส้ใหญ่น้อย ส่งผลให้จุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ใช้ประโยชน์และสร้าง ammonia ได้ลดลง ปริมาณ nitrogen รวมทั้ง ammonia ในมูลจึงลดลง แต่ในสัตว์กระเพาะรวมโดยเฉพาะโคสาว มักพบว่ามีระดับโปรตีนในอาหารต่ำเมื่อเทียบกับอาหารสัตว์กระเพาะเดี่ยว รวมทั้งเป็นอาหารที่มีเยื่อใยสูง ทำให้คุณสมบัติในการดูดซับของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟไม่มีผลต่อระยะเวลาของอาหารที่อยู่ในระบบทางเดินอาหาร การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3% จึงไม่มีผลให้เปอร์เซ็นต์ nitrogen ในมูลโคสาวลดลง

สำหรับเปอร์เซ็นต์ phosphorus ในมูล พบว่า การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3% ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ phosphorus ในมูลโคสาว ซึ่ง Cook et al. (1982) และ Liptein and Hurwitz. (1982) รายงานว่า ในโครงสร้างของ zeolites จะมี aluminium เป็นส่วนประกอบอยู่ ซึ่งเมื่ออยู่ในสภาพที่เป็นกรด ($pH \leq 5$) จะถูก hydrolyte และเมื่อ aluminum แตกตัวออกมาจะทำปฏิกิริยารวมตัวกับ phosphorus ในระบบทางเดินอาหาร เป็น aluminiumphosphate แล้วตกตะกอน ร่างกายไม่สามารถดูดซึมฟอสฟอรัสไปใช้ประโยชน์ได้ ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าถ้ามีปริมาณ

aluminium ในอาหารมาก จะทำให้การใช้ประโยชน์จาก inorganic phosphorus ลดลง ดังนั้น เป็นไปได้ว่าหากเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในระดับที่สูงขึ้นจะทำให้มีปริมาณ phosphorus ถูกขับถ่ายออกมากับมูลเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 3.11 แสดงผล nitrogen และ phosphorus ในมูลโคสาว

	กลุ่มควบคุม	**กลุ่มทดลอง**	**Pr>T**
วัตถุแห้ง (%)			
ก่อนการทดลอง	23.60 ± 0.52	22.16 ± 0.55	0.0691
ระหว่างการทดลอง	22.26 ± 0.44	22.73 ± 0.51	0.4985
สิ้นสุดการทดลอง	22.35 ± 0.30	23.17 ± 0.50	0.1739
Nitrogen (%)			
ก่อนการทดลอง	0.47 ± 0.02	0.48 ± 0.02	0.7992
ระหว่างการทดลอง	0.46 ± 0.02	0.49 ± 0.02	0.3264
สิ้นสุดการทดลอง	0.47 ± 0.03	0.50 ± 0.02	0.4202
Phosphorus (%)			
ก่อนการทดลอง	0.72 ± 0.02	0.72 ± 0.02	0.9331
ระหว่างการทดลอง	0.72 ± 0.02	0.71 ± 0.02	0.7918
สิ้นสุดการทดลอง	0.73 ± 0.02	0.71 ± 0.02	0.5997

หมายเหตุ แสดงค่าในรูป mean ± SE

3.9 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่ออัตราการเจริญเติบโต และอัตราการผสมติดของโคนมในระยะโคสาว พบว่า การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารข้นที่ระดับ 3% ไม่มีผลทำต่ออัตราการเจริญเติบโต และอัตราการผสมติดของโคสาว รวมทั้งไม่มีผลต่อวัตถุแห้ง เปอร์เซ็นต์ nitrogen และ phosphorus ในมูลของโคสาว (P>0.05) โดยพบว่า องค์ประกอบทางเคมีของอาหารมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เปอร์เซ็นต์เถ้าในอาหารข้นกลุ่มทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุม คือ 9.03% และ 6.54% ตามลำดับ การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3% ไม่มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์แร่ธาตุ calcium, phosphorus, potassium, magnesium, sodium, copper, iron และ zinc ในอาหารแตกต่างกัน (P>0.05) ปริมาณการกินได้วัตถุแห้ง โปรตีน และพลังงาน ความต้องการโปรตีนทั้งหมด, RDP และ RUP ความต้องการพลังงานและประสิทธิภาพของการใช้พลังงาน ไม่แตกต่างกัน (P>0.05) ปริมาณการกินได้แร่ธาตุโคสาวกลุ่มที่ได้รับแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟสูงกว่า

กลุ่มควบคุม ($P<0.01$) ยกเว้น magnesium มีปริมาณการกินได้ไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) แต่ปริมาณแร่ธาตุ calcium, phosphorus, potassium, magnesium, sodium, copper, iron และ zinc ในพลาสมาไม่แตกต่างกัน

3.10 รายการอ้างอิง

ฉลอง วชิราภากร. 2543. โภชนศาสตร์แร่ธาตุของสัตว์. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ชวนิศนดากร วรวรรณ. 2534. การเลี้ยงโคนม. สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพาณิชย์.

ชุติมา อิ่มสันเทียะ. 2544. ผลการเสริมสารโมเนนซินต่อผลผลิตน้ำนมของโคนมในช่วงต้นระยะการให้นมเมื่อเลี้ยงด้วยต้นข้าวโพดหมักช่วง 56 วันแรกและเลี้ยงด้วยฟางข้าวในช่วง 56 วันหลัง. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ไชยณรงค์ นาวานุเคราะห์. 2541. โลหิตวิทยาของสัตว์เลี้ยงและวิธีการวิเคราะห์ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

นิคม ชนะหาญ. 2547. การใช้พัมมิซในอาหารเพื่อดูดซับอะฟลาทอกซินและลดปริมาณแก๊สแอมโมเนียในคอกสัตว์ปีก. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ผุสดี คำวงศ์ปัน. 2537. สมรรถภาพการผลิตไก่กระทงที่ได้รับอาหารที่เสริมด้วยซีโอไลท์ธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พวน ทัศพงษ์. 2543. การศึกษาความต้องการพลังงานและโปรตีนในโคสาวลูกผสม. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

พันทิพา พงษ์เพียจันทร์. 2543. หลักการอาหารสัตว์ เล่ม 1 โภชนะ. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

พิพัฒน์ เหลืองลาวัณย์, ปิตุนาถ หนูเสน และชิดชนก นวลฉิมพลี. 2547. คู่มือการเรียนรายวิชาโภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

พิมลทิพย์ จันทร์พานิชเจริญ. 2546. การใช้ต้นอ้อยหมักและต้นอ้อยสดเป็นแหล่งอาหารหยาบสำหรับโคนมในช่วงฤดูแล้ง. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

เพลิน เมินกระโทก. 2545. การนำใช้ประโยชน์ต้นอ้อยเป็นอาหารสำหรับโคนม. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

เมธา วรรณพัฒน์. 2533. โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

วิโรจน์ ภัทรจินดา. 2546. โคนม. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

วิศิษฐิพร สุขสมบัติ. 2542. เอกสารคำสอน รายวิชา 303 327. การผลิตโค (cattle production). สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

สุรชัย ชาครียรัตน์. 2541. การผลิตโค-กระบือ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เอกพล ศิริกุล. 2546. ผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรแม่พันธุ์ และสุกรรุ่น-สุกรขุน. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

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

Bolduan, G., M. beck and C. Schubert. 1992. Influenc of adsorbent feed additive on weaned pigs. Nutr. Abstr. Rev (Series B) 62(7): 441. (Abstr.)

Chen X. B. 2003. The use of Excel for non-linear curve fitting in animal nutrition studies. International Feed Resources Unit, Macaulay Institute, Aberdeen, UK.

Cheshmedzhiev, B. and S. A. Angel. 1986. Effect of blood protein hydrolyte with or without added zeolite on feeding suckling pigs and weaned pigs up to 60 day of age . Zhivotnov dni Nauki. 23(5): 51-58.

Cook, T. E., W. A. Cilley, A.C. Savitsky and B. H. Wiers. 1982. Zeolite A hydrolysis and degradation. Environ. Sci. Technol. 16: 344-350.

Cool, W. M. and J. M. Willard. 1982. Effect of clinoptilolite on swine nutrition. Nutr. Reps. Inter. 25(5): 759-766.

Daccarett, M. G., Bortone, E. J., Isbell, D. E., and Morrill, J. L. 1993. Performance of Holstein heifers fed 100% or more of National Research Council requirements. J. Dairy Sci. 76: 606-614.

Gevorkyan, G. A., A. M. Karadzhyan, and A. G. Chirkinyan. 1982. Effect of natural zeolite on growth and development of young pigs. Trudy Erevanskogo Zootekhnichesko-Veterinarnogo Institute. 57:87-90. (Abstr.)

Goering, H. K. and P. J. Van Soest. 1970. Forage Fibre Analysis. A RS./USDA Agric. Handbook, Washington.

Gunther, K. D. 1990. Zeolite minerals in pig and poultry feeding. Schweinewelt. 15(5): 15-19. (Abstr.)

Hatieganu, V., I. Puia, O. Popa and G. Baltan. 1983. Use of natural zeolite in animal feeding (synthesis). Pig News Inform. 4(1): 79. (Abstr.)

Ingram , D. R., R. J. Firmin, T. K. Hagedorn and M. D. Klemperer. 1991. Relationship of level of dietary sodium zeolite-A to water consumtion and fecal moisture of poultry. Poultry Sci. 70 (Suppl. 1)166. (Abstr.)

Kumagai, H., S. Swasdiphanich, P. Prucsasri, S. Yimmomgkol, B. Rengsirikul and P. Thammageeratiwong. 1998. A study on mineral status of beef and dairy cattle and buffalo in central Thailand. In: Status and Requirement of Mineral in Ruminants in Thailand-Current Knowledge and future Research (Eds. T. Kawashima and P. Vijchulata). pp. 35-42. Japan International Research Center for Agricultural Science, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Japan.

Lipstein, B. and S. Hurwitz. 1982. The effect of aluminosilicate on phosphorus availability in algae-containing diets. Poult. Sci. 61: 951-954.

Mertens. 1987. Predicting intake and digestibility using mathematical model of ruminal function. J. Anim. Sci. 64: 1548.

Mumpton, F. A. and P. H. Fishman. 1977. The application of natural zeolites in Animal Science and Aquaculture. J. Anim. Sci. 15(5): 1188-1202.

Nakaue H. S. and J. K. Koeliker. 1981. Studies with clinoptilolite in poultry. I. Effect of feeding varying levels of clinoptilolite (zeolite) to dwarf single comb White Leghorn pullets and ammonia production. Poult. Sci. 60: 944-949.

National Research Council. 1980. Mineral Tolerance of Domestic Animals. National Academic Press. Washington D. C.

National Research Council. 1988. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 6th Ed. National Academic Press. Washington D. C. 157 p.

National Research Council. 2001. Nutrients Requirements of Dairy Cattle. 7th Ed. National Academy Press. Washington D. C. 340 p.

Ørskov, E. R. and I. McDonald. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. J.Agr. Sci. 92: 499-503.

Ørskov, E. R., F. N. Deb Hovell, and F. Mould. 1980. The use nylon bag technique for the evaluation of feedstuffs. Trop. Anim. Prod. 5: 195-213.

Poulsen, H. D. and Oksbierg. 1995. Effect of dietary inclusion of a zeolite (clinoptilolite) on performance and protein metabolism of young growing pigs. Anim. Feed. Sci. Tech. 53: 279-303.

Statistical Analysis System. 1985. SAS User' Gude: Statistics. NC: SAS Institute.

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

Shurson, G. C., P. K. Ku, E. R. Miller and M. T. Yokoyama. 1984. Effect of zeolites A of clinoptilolite indiet of growing swine. J. Anim. Sci. 59(6): 1536-1545.

Thielemans, M. F. and C. Bondant. 1983. Zeolite in the feeding of growing finishing pigs. II. Effect on the digestibility of nutrients. Revuedel' Agriculture 36(4): 1145-1151. (Abstr.)

Thomas, A. 2002. Nutrition and health. http://www.krist.unibe.ch/pdf/clinoptiotite /pdf.

Tkachrev, E. Z. and V. V. Ustin. 1985. Digestive and metabolism functions of the digestive teact of young pig given a feed mixture containing zeolites. Doklady Vaskhnil (3). 33-35. (Abtr.)

Varian Australia Pty Ltd. 1989. Analytical Methods Flame Atomic Absorption Spectrometry. Mulgrave Victoria Australia, Australia.

Vincent, H. V., I. M. Robibson and W. G. Pond. 1987. Effect of dietary copper sulfate, Aureo SP 250, or clinoptilolite on ureolytic bacteria found in the pig large intestine. Appl. Environ. Microbiot. 53(9): 2009-2012.

บทที่ 4
การศึกษาผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อการให้ผลผลิตและองค์ประกอบน้ำนมของโคนมในระยะกลางของการให้นม

4.1 บทคัดย่อ

ศึกษาผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อการให้ผลผลิตและองค์ประกอบน้ำนมของโคนมในระยะกลางของการให้นม โดยใช้โคนมพันธุ์ลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเชียน (Crossbred Holstein Friesian) ที่มีระดับเลือดมากกว่า 87.5 % HF จำนวน 24 ตัว วางแผนและวิเคราะห์การทดลองแบบ group comparison (t-test) โดยกลุ่มควบคุมได้รับอาหารข้น 21 %CP และกลุ่มทดลองได้รับอาหารข้น 21 %CP เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในระดับ 3 % ของอาหารข้น โคนมทั้ง 2 กลุ่มการทดลองได้รับข้าวโพดหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ ผลการทดลองพบว่า องค์ประกอบทางเคมีของอาหารมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เปอร์เซ็นต์เถ้าในอาหารข้นกลุ่มทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุม คือ 8.39% และ 7.96% ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์ calcium, phosphorus, potassium, magnesium, sodium, copper และ zinc ในอาหารข้นไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) แต่เปอร์เซ็นต์ iron กลุ่มทดลองสูงกว่าอาหารข้นกลุ่มควบคุม คือ 205.89 ppm และ 134.10 ppm ตามลำดับ ($P<0.01$) ปริมาณการกินได้วัตถุแห้ง โปรตีนและพลังงานไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) แต่มีผลทำให้ปริมาณการกินได้ calcium, phosphorus, potassium, magnesium, sodium, copper, iron และ zinc สูงขึ้น ($P<0.01$) ปริมาณแร่ธาตุ calcium, phosphorus, potassium, magnesium, sodium, copper และ zinc ในพลาสมาไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) แต่มีผลทำให้ปริมาณ iron ในพลาสมากลุ่มทดลองมากกว่ากลุ่มควบคุม ($P<0.01$) เท่ากับ 20.33 µmol และ 15.76 µmol ตามลำดับ และไม่มีผลต่อความต้องการโปรตีนทั้งหมด และความต้องการ RUP ($P>0.05$) แต่มีผลให้ความต้องการ RDP สูงขึ้น ($P<0.01$) มีผลทำให้ความต้องการพลังงานและประสิทธิภาพของการใช้พลังงานไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) แต่มีความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตต่ำกว่า ($P<0.01$) และพบว่า การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารข้นที่ระดับ 3% ไม่ทำให้ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนมสูงขึ้น ($P>0.05$) และไม่มีผลต่อปริมาณ nitrogen รวมทั้ง phosphorus ในมูลของโคนมในระยะกลางของการให้นม ($P>0.05$) แต่ทำให้วัตถุแห้งเพิ่มขึ้น ($P<0.01$)

4.2 คำนำ

การที่โคนมได้รับแร่ธาตุชนิดใดชนิดหนึ่งไม่เพียงพอกับความต้องการหรือได้รับในสัดส่วนที่ไม่เหมาะสมจะทำให้แสดงอาการขาด (deficiency) หรือเกิดการเป็นพิษ (toxicity) ซึ่งส่งผลเสียต่อสุขภาพและการให้ผลผลิต (ฉลอง, 2543) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโคนมระยะให้นมและตั้งท้อง พบว่าโคนมมักเกิดโรคต่างๆ ในช่วงให้ผลผลิตสูง เช่น โรคไข้นม (milk fever หรือ hypocalcemia) โรคเต้านมอักเสบ (mastitis) และเกิดปัญหาทางระบบสืบพันธุ์ เช่น รกค้าง ผสมไม่ติด เป็นสัดเงียบ (silent heat) และมดลูกอักเสบ (metritis) (วิศิษฐิพร, 2542) ดังนั้น การจัดการให้โคได้รับแร่ธาตุอย่างเหมาะสมทั้งชนิดปริมาณจึงเป็นสิ่งที่สำคัญ แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ (volcanic rock) เป็นแร่ธาตุผงชนิดหนึ่งที่สามารถเป็นแหล่งของแร่ธาตุที่จำเป็นต่อโคนมได้ ทั้งนี้เนื่องจากมีส่วนประกอบหลักได้แก่ SiO_2, K_2O, Al_2O_3, CaO, MgO, Cl, Cu และ Zn และมีโครงสร้างของ SiO_2 ซึ่งมีความสามารถในการจับแอมโมเนียช่วยในการลดมลภาวะทางกลิ่น ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้จึงศึกษาผลของการใช้แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ผลิตได้ในประเทศไทย เพื่อใช้เป็นแหล่งแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการให้ผลผลิตน้ำนมของโคนมลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชียน (Crossbred Holstein Friesian) และการลดไนโตรเจนในมูลโคนม หากผลการศึกษาพบว่าแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟทำให้การให้ผลผลิตน้ำนมดีขึ้น รวมทั้งสามารถลด nitrogen ในมูลโคนมลงได้ ก็จะเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมโคนมในการเพิ่มผลผลิต ลดต้นทุนการนำเข้าแร่ธาตุจากต่างประเทศ และมลภาวะของเสียจากฟาร์มโคนมได้

4.3 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาถึงผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารต่อการให้ผลผลิตน้ำนมของโคนมและการลด nitrogen ในมูลโคนม

4.4 อุปกรณ์และวิธีการ

4.4.1 การจัดการโคนมระยะกลางการให้นมสำหรับทดลองและการให้อาหาร

4.4.1.1 การจัดการสัตว์ทดลอง

โคนมที่ใช้ในการทดลองเป็นโคนมในระยะกลางของการให้นม (mid lactation) พันธุ์ลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเชียน (Crossbred Holstein Friesian) ระดับเลือดมากกว่า 87.5 %HF จำนวน 24 ตัว โดยจัดกลุ่มโคแบบ stratified random balance group ลักษณะที่ใช้ในการจัดกลุ่มโคนมคือ ปริมาณน้ำนมเฉลี่ย (กิโลกรัม/วัน), จำนวนวันให้นมเฉลี่ย (วัน), จำนวนท้องเฉลี่ย (lactation), อายุเฉลี่ย (เดือน) และน้ำหนักตัวเฉลี่ย (กิโลกรัม) แสดงข้อมูลดังตารางที่ 4.1 โคทุกตัวถูกเลี้ยงโดยขังในคอกเดี่ยว วางแผนและวิเคราะห์การทดลองแบบ group comparison (t-test)

(Steel and Torrie, 1980) โคทั้ง 24 ตัวจะถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มการทดลอง (treament) กลุ่มการทดลองละ 12 ตัว (replication)

ตารางที่ 4.1 แสดงลักษณะที่ใช้ในการจัดกลุ่มโคก่อนการทดลอง

ลักษณะที่ใช้ในการจัดกลุ่มโค	กลุ่มควบคุม	กลุ่มทดลอง
ปริมาณน้ำนม (กิโลกรัม/วัน)	20.81 $\pm$ 2.76	20.93 $\pm$ 2.79
จำนวนวันให้นม (วัน)	90.25 $\pm$ 33.54	93.00 $\pm$ 32.38
จำนวนท้อง (Lactation)	2.08$\pm$ 1.08	2.17 $\pm$ 1.11
น้ำหนักตัว (กิโลกรัม)	439.42 $\pm$ 38.23	455.33 $\pm$ 60.16

หมายเหตุ แสดงข้อมูลในรูป mean $\pm$ SD

4.4.1.2 การจัดการอาหารสัตว์ทดลอง

จัดให้โคแต่ละตัวกินอาหารตามกลุ่มการทดลองอย่างเป็นอิสระต่อกัน ดังนี้

กลุ่มการทดลองที่ 1 เป็นกลุ่มควบคุม ได้รับอาหารข้นตามปกติ (ไม่เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ)

กลุ่มการทดลองที่ 2 เป็นกลุ่มทดลอง ได้รับอาหารข้นเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ 3% ของอาหารข้น

โดยอาหารข้น (concentrate) ที่ใช้ในการทดลองเป็นอาหารข้นชนิดเม็ด (pellet) มีคุณค่าทางโภชนะตามความต้องการของโคนมระยะกลางของการให้นม (mid lactation) (NRC, 2001) ได้รับวันละ 3 ครั้ง ในเวลา 08.00 น. 11.00 น. และ 16.00 น. อาหารหยาบ (roughage) ที่ใช้ในการทดลองคือ ข้าวโพดหมัก ซึ่งโคนมได้รับอย่างเต็มที่ (*ad libitum*) และมีน้ำดื่มสะอาดใส่อ่างสำหรับให้โคกินตลอดเวลา

4.4.2 วิธีการทดลองและเก็บข้อมูล

นำโคเข้าทดลองโดย โคนมได้รับอาหารข้นที่เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ 3% ของอาหารข้น ในกลุ่มทดลอง และไม่เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในกลุ่มควบคุม ทำการรีดนม 2 ครั้งต่อวัน ในเวลา 03.30 น. และเวลา 15.30 น. ระยะเวลาในการทดลองแบ่งออกเป็น 6 ช่วง ช่วงละ 5 วัน ระหว่างการทดลองมีการเก็บบันทึกข้อมูล ดังนี้

4.4.2.1 การกินได้ (feed intake)

สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารช่วงละ 1 วัน โดยเก็บตัวอย่างอาหารแต่ละชนิด (อาหารข้นกลุ่มควบคุม, อาหารข้นกลุ่มทดลอง และอาหารหยาบข้าวโพดหมัก) ประมาณ 10 % ชั่งและบันทึกน้ำหนักของอาหารแต่ละชนิดก่อนให้โคกิน เมื่อครบ 1 วัน ตักอาหารที่เหลือออกชั่งและบันทึกน้ำหนักอาหาร

หลังกิน สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารหลังกินรายตัว 10% นำมาอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 60 ºC เป็นเวลา 36 ชั่วโมง เพื่อหาวัตถุแห้ง (dry matter, DM) (AOAC, 1990) จากนั้นนำตัวอย่างแต่ละชนิดที่ผ่านการอบ มาบดด้วยเครื่องบดผ่านตะแกรงขนาด 2.0 mm. เพื่อศึกษาการย่อยสลายในกระเพาะหมัก โดยใช้ถุงไนล่อนแช่ในกระเพาะหมักของโคเจาะกระเพาะ (Ørskov et al., 1980; Chen, 2003) แล้วนำตัวอย่างที่เหลือเก็บไว้ในภาชนะที่ปิดสนิท เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมี โดยวิธี proximate analysis (AOAC, 1990) ดังต่อไปนี้คือ วัตถุแห้ง (dry matter, DM) โดยเครื่อง hot air oven, crude protein (CP) โดยเครื่อง Kjeltec auto analyzer, ether extract โดยเครื่อง soxhlet auto analyzer, ash โดยการเผาที่อุณหภูมิ 550 ºC เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ส่วนการวิเคราะห์ crude fiber (CF) และการวิเคราะห์เยื่อใย (detergent analysis) (Goering and Van Sorest, 1970) ได้แก่ neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber, (ADF) และ acid detergent lignin, ADL โดยเครื่อง fibertec auto analyzer

4.4.2.2 การเก็บข้อมูลการให้ผลผลิตน้ำนม

ทำการชั่งและบันทึกปริมาณผลผลิตน้ำนมดิบรายตัวทุกวันตลอดการทดลอง และสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำนมดิบรายตัวทุกๆ 5 วัน โดยเก็บตัวอย่างใส่ในขวดสีชา ในมื้อเย็นและมื้อเช้าของวันถัดมา นำตัวอย่างน้ำนมดิบไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม ได้แก่ ไขมันนม, โปรตีนนม, แล็คโตส, ของแข็งพร่องในไขมัน (solid non fat), ของแข็งในน้ำนม (total solid) (Milkoscan รุ่น S50B Type 756000, Instruction Manual, Hilleroed, Denmark)

4.4.2.3 การเก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว

ชั่งน้ำหนักโครายตัวก่อนและสิ้นสุดการทดลอง โดยชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งและทำการวัดรอบอกด้วยสายวัดน้ำหนัก ในช่วงเช้าหลังจากรีดนมเสร็จ และก่อนการให้อาหารเช้า นำข้อมูลน้ำหนักตัวไปวิเคราะห์ความสมดุลของพลังงาน (energy balance)

4.4.2.4 การเก็บตัวอย่างพลาสมา

สุ่มเก็บตัวอย่างเลือดก่อนการทดลอง ระหว่างการทดลอง และสิ้นสุดการทดลอง กลุ่มการทดลองละ 6 ตัว โดยใช้เข็มเจาะเลือดเบอร์ 18 ความยาว 1 นิ้ว ที่เส้นเลือดดำบริเวณคอ (jugular vein) ปริมาณ 10 ml. ในหลอดเก็บเลือดที่มีสารป้องกันการแข็งตัวของเลือด K_3 EDTA และเก็บหลอดบรรจุเลือดใส่กระติกน้ำแข็งบด นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง centrifuge ที่ 1000 G. เป็นเวลา 10-20 นาที จะได้ส่วนใสด้านบนประมาณ 3 ml. แยกส่วนใสด้วย micropipete 1 ml. เก็บในmicrotube แล้วนำไปเก็บที่อุณหภูมิ -20ºC (ไชยณรงค์, 2541) เพื่อนำไปตรวจวิเคราะห์แร่ธาตุด้วยวิธี Flame Emission โดยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer รุ่น Spectr AA-250 Plus ตามวิธีของ Varian Australia Pty Ltd. (1989) และวิเคราะห์ phosphorus โดยเครื่อง

spectrophotometer (UV-1601PC, UV-visible spectrophotometer บริษัท Shimadzu, Kyoto, ประเทศญี่ปุ่น)

4.4.2.5 การเก็บตัวอย่างมูล

เก็บตัวอย่างมูลก่อนการทดลอง ระหว่างการทดลอง และสิ้นสุดการทดลอง มูลโคแต่ละตัวจะถูกเก็บโดยใช้ถุงพลาสติกรองเก็บมูลในขณะที่โคถ่ายออกมา สุ่มตัวอย่างมูล 10% แยกใส่ถุงพลาสติกรายตัว แช่เก็บที่อุณหภูมิ -20ºC เมื่อสิ้นสุดการทดลองนำมูลที่แช่ออกมาวางไว้ที่อุณหภูมิห้องให้อ่อนตัวลง นำมูลมารวมกันเป็นรายตัว เพื่อนำไปวิเคราะห์วัตถุแห้ง (dry matter, DM) โดยเครื่อง hot air oven, วิเคราะห์ nitrogen โดยเครื่อง Kjeltec auto sampler analyzer และวิเคราะห์ phosphorus โดยเครื่อง spectrophotometer (UV-1601PC, UV-visible spectrophotometer บริษัท Shimadzu, Kyoto, ประเทศญี่ปุ่น)

4.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย (t-test) แบบ Group comparison (Steel and Torrie, 1980) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS (SAS, 1985)

4.6 สถานที่ทำการทดลอง

ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อาคารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 2 และ 3

4.7 ระยะเวลาทำการทดลอง

เริ่มทดลองตั้งแต่วันที่ 20 พฤษภาคม 2547 ถึง 30 มิถุนายน 2547

4.8 ผลการทดลอง และอภิปรายผลการทดลอง

4.8.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารข้นกลุ่มควบคุม กลุ่มทดลองเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3 % และข้าวโพดหมัก แสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่า อาหารข้นทั้ง 2 กลุ่มมีองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกัน ซึ่งได้แก่ วัตถุแห้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 92.34 และ 92.40% ตามลำดับ กล่าวคือ ความชื้นในอาหารข้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.66 และ 7.60% ตามลำดับ โปรตีนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 21.35 และ 21.13% ตามลำดับ ไขมัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.11 และ 4.15% ตามลำดับ สูงกว่าระดับที่ NRC (2001) แนะนำที่ระดับ 3% แต่ไม่สูงเกิน 5% ซึ่งเป็นระดับที่ไม่ส่งผลกระทบต่อการย่อยเซลลูโลสในกระเพาะหมัก Church (1979) อ้างโดย เมธา (2533) ส่วนเยื่อใยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.42 และ

8.78% ตามลำดับ พบว่า มีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับรายงานผลการวิเคราะห์ของชุติมา (2544), เพลิน (2545) และพิมลทิพย์ (2546) ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์เยื่อใยในอาหารข้น เท่ากับ 11.46, 10.30 และ 11.38% ตามลำดับ ทั้งนี้ชนิดและสัดส่วนของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตอาหารข้นเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อปริมาณเยื่อใย สำหรับ NFC มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 27.81 และ 26.66% ตามลำดับ พบว่ามีค่าต่ำกว่าระดับที่ NRC (2001) และ Mertens (1987) แนะนำคือ 36-44% และ 30% ตามลำดับ ซึ่งเป็นระดับเหมาะสมสำหรับโคที่ให้ผลผลิตน้ำนม NDF มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 38.78 และ 39.66% ตามลำดับ พบว่ามีค่าสูงกว่าระดับที่ NRC (2001) แนะนำระดับ NDF ต่ำสุดในอาหารที่ 25-33% ADF มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 17.40 และ 18.63% ตามลำดับ ADL มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.13 และ 3.89% ตามลำดับ มีค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับระดับที่ NRC (2001) แนะนำคือ 17-21% สำหรับ NDIN มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.61 และ 2.33% ตามลำดับ และ ADIN มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.71 และ 0.70% ตามลำดับ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับ พิมลทิพย์ (2546) ที่รายงานไว้ที่ระดับ 2.57 และ 2.40 % ตามลำดับ (NDICP เท่ากับ 16.08% และ ADICP เท่ากับ 15.0%) สำหรับเปอร์เซ็นต์เถ้า พบว่า กลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มควบคุม คือ 8.39 และ 7.96% ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟเป็นสารอนินทรีย์ (inorganic matter) รวมทั้งมีส่วนประกอบของ silica อยู่สูง จึงไม่ถูกเผาไหม้จนกลายเป็นแก๊สและสลายตัวไป สอดคล้องกับ เอกพล (2546) พบว่า เปอร์เซ็นต์เถ้าในอาหารกลุ่มที่เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 1.5 และ 3% สูงกว่าเปอร์เซ็นต์เถ้าในอาหารกลุ่มควบคุม และ Poulsen and Oksbierg (1995) พบว่า การเสริม clinoptilolite 3% มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์เถ้าในอาหารกลุ่มทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุม

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีดังกล่าวพบว่า องค์ประกอบทางเคมีของอาหารข้นที่ใช้ในการทดลองมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน สอดคล้องกับการทดลองของ เอกพล (2546) พบว่า การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารสุกรที่ระดับ 0, 1.5 และ 3% ไม่ทำให้องค์ประกอบทางเคมีในอาหาร ซึ่งได้แก่ โปรตีน เยื่อใย และไขมัน เปลี่ยนแปลง ดังนั้นแสดงว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3% ในอาหารข้น เป็นระดับที่ไม่มีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบทางเคมีในอาหาร

สำหรับอาหารหยาบคือข้าวโพดหมัก พบว่า วัตถุแห้งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.89% มีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับรายงานของชุติมา (2544) รายงานว่ามีค่าเท่ากับ 21.68% แต่ต่ำกว่า เพลิน (2545) ซึ่งรายงานวัตถุแห้งของข้าวโพดหมักเท่ากับ 35.84%, โปรตีนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.91% มีค่าสูงกว่า ชุติมา (2544) และ เพลิน (2545) ซึ่งรายงานที่ระดับ 6.97 และ 7.55%CP ตามลำดับ, ไขมันมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.39% พบว่าต่ำกว่า ชุติมา (2544) ซึ่งรายงานที่ระดับ 3.42% แต่อยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับ เพลิน (2545) ซึ่งรายงานที่ระดับ 1.19%, เถ้ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.81% พบว่าต่ำกว่ารายงานของ ชุติมา (2544) และเพลิน (2545) ซึ่งรายงานที่ระดับ 15.73 และ 15.14% ตามลำดับ, เยื่อใยมีค่าเฉลี่ย

เท่ากับ 24.51% พบว่ามีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับ เพลิน (2545) ซึ่งรายงานที่ระดับ 22.81% แต่มีระดับต่ำกว่า ชุติมา (2544) ซึ่งรายงานระดับเยื่อใยของข้าวโพดหมักที่ 30.20%, NFC มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 23.92% พบว่ามีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับ NRC (2001) และ Mertens (1987) แนะนำที่ระดับ 36-44% และ 30% ทั้งนี้โคนมที่ได้รับ NFC ในระดับที่ต่ำอาจส่งผลกระทบต่อพลังงานสำหรับจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักได้, NDF มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 51.97% พบว่ามีค่าสูงกว่า NRC (2001) ที่แนะนำระดับ NDF ต่ำสุดในอาหารที่ 25-33% มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับ เพลิน (2545) ซึ่งรายงานที่ระดับ 53.01% แต่มีระดับต่ำกว่า ชุติมา (2544) ซึ่งรายงานระดับ NDF ของข้าวโพดหมักที่ 62.28%, ADF มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 37.01% พบว่าสูงกว่า NRC (2001) ที่แนะนำระดับ NDF ต่ำสุดในอาหารที่ 17-21%, ADL มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.59% พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับรายงานของ เพลิน (2545) ที่ระดับ 5.30%, NDIN มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.80% และ ADIN มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.48% ตามลำดับ

จากผลการประเมินพลังงานในอาหารข้นกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง พบว่า อาหารข้นทั้งสองกลุ่มให้พลังงานใกล้เคียงกันทั้ง พลังงานโภชนะที่ย่อยได้รวม (TDN_{1x}), พลังงานย่อยได้ (DE_p), พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (ME_p) และพลังงานสุทธิ (NE_{Lp}) ซึ่งพบว่า พลังงานโภชนะที่ย่อยได้รวม มีค่าสูงกว่าพลังงานโภชนะที่ย่อยได้รวมตามที่ NRC (2001) แนะนำเล็กน้อย คือโคนมระยะกลางการให้นม (DIM เท่ากับ 90 วัน) น้ำหนักตัว 450 กิโลกรัม ให้น้ำนม 10-20 กิโลกรัมต่อวัน ควรได้รับ TDN จากอาหาร 68% และพลังงานสุทธิ (NE_{Lp}) 15.3-23.8 Mcal/วัน และจากผลการประเมินพลังงานในข้าวโพดหมัก พบว่า พลังงานโภชนะที่ย่อยได้รวมมีค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับชุติมา (2544) ซึ่งรายงานว่าข้าวโพดหมักมีพลังงานโภชนะที่ย่อยได้รวม เท่ากับ 59.73% ซึ่งมีค่าสูงกว่า สุรชัย (2541) ซึ่งรายงานว่า ข้าวโพดหมักมีพลังงานโภชนะที่ย่อยได้รวมเท่ากับ 66.30% ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความแปรปรวนของพลังงานต่างๆ ซึ่งนำมาคำนวณพลังงานโภชนะที่ย่อยได้รวมของข้าวโพดหมัก พลังงานดังกล่าวได้แก่ พลังงานจาก tdNFC, พลังงานจาก tdCP, พลังงานจาก tdFA และพลังงานจาก tdNDF

จากผลการศึกษาการย่อยสลายวัตถุแห้ง, การย่อยสลายโปรตีน, อัตราการย่อยสลายได้วัตถุแห้งและอัตราการย่อยสลายได้โปรตีนของอาหารข้นทั้งสองกลุ่มการทดลองและข้าวโพดหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ พบว่า เมื่อระยะเวลาอยู่ในกระเพาะหมักนานขึ้น อาหารข้นทั้งสองกลุ่มการทดลอง และข้าวโพดหมักจะมีอัตราการย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักเพิ่มขึ้นตามเวลา โดย *dg*DM ของอาหารข้นกลุ่มควบคุมและ อาหารข้นกลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 55.39, 53.47% และข้าวโพดหมักมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.44% *dg*CP ของอาหารข้นกลุ่มควบคุม และอาหารข้นกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 67.71 และ 65.98% *dg*CP ของข้าวโพดหมักมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 56.60%

ตารางที่ 4.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของอาหารข้นและอาหารหยาบที่ใช้ในการทดลอง

องค์ประกอบทางเคมี (%)	อาหารข้น กลุ่มควบคุม[1/]	อาหารข้น กลุ่มทดลอง[2/]	ข้าวโพดหมัก
วัตถุแห้ง	92.34 ± 1.16	92.40 ± 0.50	29.89 ± 3.28
โปรตีน	21.35 ± 0.03	21.13 ± 0.02	9.91 ± 0.02
ไขมัน	4.11 ± 0.05	4.15 ± 0.04	1.39 ± 0.03
เถ้า	7.96 ± 0.02	8.39 ± 0.04	12.81 ± 0.11
เยื่อใย	8.42 ± 0.19	8.78 ± 0.08	24.51 ± 0.06
NFC	27.81 ± 0.34	26.66 ± 0.15	23.92 ± 0.23
NDF	38.78 ± 0.24	39.66 ± 0.09	51.97 ± 0.29
ADF	17.40 ± 0.04	18.63 ± 0.04	37.01 ± 0.11
ADL	3.13 ± 0.02	3.89 ± 0.03	4.59 ± 0.33
NDIN	2.61 ± 0.01	2.33 ± 0.01	1.80 ± 0.03
ADIN	0.71 ± 0.00	0.70 ± 0.00	1.48 ± 0.09
พลังงาน TDN_{1x} (%)	73.41± 0.04	71.17 ± 0.01	51.87 ± 0.28
พลังงานสุทธิ NE (Mcal/kgDM)	1.61± 0.00	1.57 ± 0.00	1.18 ± 0.01
*dg*DM	55.39	53.47	30.44
*dg*CP	67.71	65.98	56.60

หมายเหตุ แสดงค่าในรูป mean ± SE, แสดงการคำนวณในภาคผนวก ข, [1/]อาหารข้นกลุ่มควบคุม คือ อาหารข้น 21 %CP, [2/]อาหารข้นกลุ่มทดลอง คือ อาหารข้น 21 %CP เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3%ของอาหารข้น, ADF = acid detergent fiber, ADICP = acid detergent insoluble crude protein, ADIN = acid detergent insoluble nitrogen, ADL = acid detergent lignin, dgCP = effective degradability of crude protein, dgDM = effective degradability of dry matter, NDF = neutral detergent fiber, NFC = non-fiber carbohydrate, NDIN = neutral detergent insoluble nitrogen, NDICP = neutral detergent insoluble crude protein, TDN_{1X} (%) = tdNFC + tdCP + (tdFA x 2.25) + tdNDF - 7

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแร่ธาตุในอาหารข้นและอาหารหยาบ แสดงดังตารางที่ 4.3 พบว่า เปอร์เซ็นต์ของแร่ธาตุ calcium (1.06 และ 1.18% ตามลำดับ), phosphorus (0.52% ทั้งสองกลุ่มการทดลอง) (ดังนั้น อัตราส่วน Ca:P ในอาหารข้นจึงเท่ากับ 2.04 และ 2.27 ตามลำดับ), potassium (1.51 และ 1.52% ตามลำดับ), magnesium (1.23 และ 1.27% ตามลำดับ), sodium (0.26% ทั้งสองกลุ่มการทดลอง), copper (266.15 และ 283.84 ppm ตามลำดับ), และ zinc (334.71 และ 358.57 ppm ตามลำดับ) ในอาหารข้นกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลองมีความแตกต่าง

อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แสดงว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3% ในอาหารข้นไม่ทำให้องค์ประกอบของแร่ธาตุดังกล่าวมีเปอร์เซ็นต์เพิ่มขึ้น ถึงแม้แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟจะมีองค์ประกอบของ CaO, K_2O, MgO, Cu และ Zn แต่สำหรับ iron พบว่าอาหารข้นกลุ่มที่ได้รับแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3% มี iron สูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) ซึ่งมีปริมาณเท่ากับ 205.89 และ 134.10 ppm ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก iron ในอาหารข้นมีอยู่ในปริมาณที่ต่ำ เมื่อเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ iron จาก Fe_2O_3 จึงมีโอกาสที่จะแสดงผลทำให้เกิดความแตกต่างได้ชัดขึ้นกว่าแร่ธาตุอื่น

อย่างไรก็ตาม พบว่าเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบของแร่ธาตุในอาหารข้นที่วิเคราะห์มีค่าสูงเมื่อเทียบกับความต้องการแร่ธาตุของโคนมที่ NRC (2001) แนะนำคือ calcium 0.67%, phosphorus 0.36%, magnesium 0.20%, potassium 1.06%, sodium 0.22%, copper 11 ppm, iron 17 ppm และ zinc 52 ppm ในแง่ของการใช้ประโยชน์ได้ของแร่ธาตุที่มีอยู่ในอาหารสัตว์ สัตว์ไม่สามารถดูดซึมแร่ธาตุได้ทั้งหมด ดังนั้น การประเมินความต้องการแร่ธาตุสำหรับสัตว์จำเป็นต้องคำนึงถึงระดับความเป็นประโยชน์ทางชีววิทยาของแร่ธาตุ (biological availability) (เมธา, 2533) และค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึม (absorption coefficient) (ฉลอง, 2543) โดย NRC (2001) ประเมินค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมแร่ธาตุของอาหารข้นในทางเดินอาหารดังนี้ สัมประสิทธิ์การดูดซึม calcium มีค่าเท่ากับ 60%, phosphorus 70%, magnesium 16%, potassium 90%, sodium 90%, copper 4%, iron 10% และ zinc 15% ดังนั้น เมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์การดูดซึมแร่ธาตุกับเปอร์เซ็นต์แร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบในอาหารข้น พบว่าเปอร์เซ็นต์ของแร่ธาตุในอาหารมีค่าใกล้เคียงกับความต้องการแร่ธาตุที่ NRC (2001) แนะนำ

สำหรับอาหารหยาบคือข้าวโพดหมัก พบว่า มีcalcium, phosphorus, potassium, magnesium และ sodium เท่ากับ 0.69, 0.39, 1.01, 0.81 และ 0.06% ตามลำดับ และมี copper, iron และ zinc เท่ากับ 6.71, 111.69 และ 28.57 ppm ตามลำดับ พบว่ามีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับฉลอง (2543) ซึ่งรายงานว่า ข้าวโพดหมัก มี calcium เท่ากับ 0.23% และ phosphorus เท่ากับ 0.22% และวิโรจน์ (2546) ซึ่งรายงานว่า ข้าวโพดหมัก มี calcium เท่ากับ 0.31% และ phosphorus เท่ากับ 0.27%

ตารางที่ 4.3 แสดงองค์ประกอบของแร่ธาตุในอาหารข้นและอาหารหยาบที่ใช้ในการทดลอง

แร่ธาตุ	อาหารข้น กลุ่มควบคุม	อาหารข้น กลุ่มทดลอง	Pr>T	ข้าวโพดหมัก
Ca, %	1.06 ± 0.01	1.18 ± 0.00	0.0680	0.69 ± 0.01
P, %	0.52 ± 0.00	0.52 ± 0.00	0.0903	0.39 ± 0.02
K, %	1.51 ± 0.00	1.52 ± 0.01	0.4574	1.01 ± 0.02
Mg, %	1.23 ± 0.02	1.27 ± 0.01	0.3604	0.81 ± 0.01
Na, %	0.26 ± 0.00	0.26 ± 0.00	0.4036	0.06 ± 0.00
Cu, ppm	266.15 ± 6.32	283.84 ± 4.09	0.1432	6.71 ± 0.28
Fe, ppm	134.10 ± 2.78	205.89 ± 3.92	0.0044	111.69 ± 5.91
Zn, ppm	334.71 ± 11.77	358.57 ± 7.57	0.2302	28.57 ± 0.73

หมายเหตุ แสดงค่าในรูป mean ± SE

4.8.2 ปริมาณการกินได้โภชนะและแร่ธาตุของโคนม

ปริมาณการกินได้โภชนะของโคนมที่ได้รับอาหารข้นกลุ่มควบคุม อาหารข้นกลุ่มทดลอง และข้าวโพดหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ แสดงดังตารางที่ 4.4 ดังนี้ ปริมาณการกินได้วัตถุแห้งต่อตัวต่อวัน พบว่า ปริมาณการกินได้วัตถุแห้งของอาหารข้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.3 กิโลกรัมวัตถุแห้งต่อตัวต่อวันทั้งสองกลุ่ม, ปริมาณการกินได้วัตถุแห้งของอาหารหยาบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.4 และ 6.1 กิโลกรัมวัตถุแห้งต่อตัวต่อวันตามลำดับ และปริมาณการกินได้วัตถุแห้งของอาหารรวมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.7 และ 14.4 กิโลกรัมวัตถุแห้งต่อตัวต่อวันตามลำดับ มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) สำหรับปริมาณการกินได้วัตถุแห้งต่อน้ำหนักตัว (g/kgW$^{0.75}$) พบว่า ปริมาณการกินได้วัตถุแห้งของอาหารหยาบ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 55.6 และ 62.2 g/kgW$^{0.75}$ตามลำดับ), อาหารข้น (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 86.6 และ 85.3 g/kgW$^{0.75}$ตามลำดับ) และปริมาณการกินได้อาหารโดยรวมทั้งหมด (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 142.2 และ 147.5 g/kgW$^{0.75}$ตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ปริมาณการกินได้โปรตีนต่อตัวต่อวัน พบว่า ปริมาณการกินได้โปรตีนจากอาหารข้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,772 และ 1,758 กรัมวัตถุแห้งต่อตัวต่อวันตามลำดับ, ปริมาณการกินได้โปรตีนจากอาหารหยาบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 535 และ 604 กรัมวัตถุแห้งต่อตัวต่อวันตามลำดับ และปริมาณการกินได้โปรตีนจากอาหารรวมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2,307 และ 2,362 กรัมวัตถุแห้งต่อตัวต่อวันตามลำดับ มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) สำหรับปริมาณการกินได้โปรตีนต่อน้ำหนัก

ตัว (g/kgW$^{0.75}$) พบว่า ปริมาณการกินได้โปรตีนจากอาหารหยาบ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.5 และ 6.2 g/kgW$^{0.75}$ตามลำดับ), อาหารข้น (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18.5 และ 18.0 g/kgW$^{0.75}$ตามลำดับ) และปริมาณการกินได้โปรตีนจากอาหารโดยรวมทั้งหมด (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 24.0 และ 24.2 g/kgW$^{0.75}$ ตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ปริมาณการกินได้พลังงานสุทธิต่อตัวต่อวัน พบว่า ปริมาณการกินได้พลังงานจากอาหารข้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.38 และ 13.06 Mcal/ตัว/วันตามลำดับ, ปริมาณการกินได้พลังงานจากอาหารหยาบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.36 และ 7.19 Mcal/ตัว/วันตามลำดับ และปริมาณการกินได้พลังงานจากอาหารรวมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 19.74 และ 20.25 Mcal/ตัว/วันตามลำดับ มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ปริมาณการกินได้พลังงานสุทธิต่อน้ำหนักตัว (Mcal/kgW$^{0.75}$) พบว่า ปริมาณการกินได้พลังงานจากอาหารหยาบ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.07 และ 0.08 Mcal/kgW$^{0.75}$ตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ปริมาณการกินได้พลังงานจากอาหารข้น (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.14 และ 0.13 Mcal/kgW$^{0.75}$ตามลำดับ) และปริมาณการกินได้พลังงานจากอาหารรวม (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.21 Mcal/kgW$^{0.75}$ทั้งสองกลุ่ม) มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณการกินได้วัตถุแห้ง, โปรตีน และพลังงานรวม ของโคนมทั้งสองกลุ่มมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ทั้งการคำนวณปริมาณการกินได้ต่อตัวต่อวันและการคำนวณปริมาณการกินได้เทียบกับน้ำหนักตัว (kgW$^{0.75}$) แต่พบว่า ปริมาณการกินได้พลังงานสุทธิจากอาหารหยาบเมื่อเทียบกับน้ำหนักตัวนั้น โคนมกลุ่มทดลองมีปริมาณการกินได้พลังงานสุทธิสูงกว่ากลุ่มควบคุม ทั้งนี้เนื่องมาจากโคนมทั้งสองกลุ่มได้รับอาหารข้นในปริมาณเท่ากัน ซึ่งในอาหารข้นมีพลังงาน TDN สูงกว่าอาหารหยาบมาก ดังนั้นปริมาณการกินได้ของอาหารหยาบจึงเป็นตัวแปรที่จะทำให้ได้รับพลังงานต่างกัน เนื่องจากการได้รับอาหารหยาบในการทดลองเป็นแบบ *ad libitum*

ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณการกินได้ของโภชนะของโคนม

	กลุ่มควบคุม[1/]	กลุ่มทดลอง[2/]	Pr>T
ปริมาณการกินได้วัตถุแห้ง			
อาหารหยาบ (กิโลกรัมวัตถุแห้ง/ตัว/วัน)	5.4 ± 0.3	6.1 ± 0.2	0.0565
อาหารข้น (กิโลกรัมวัตถุแห้ง/ตัว/วัน)	8.3 ± 0.0	8.3 ± 0.0	-
รวม	13.7 ± 0.3	14.4 ± 0.2	0.0551
อาหารหยาบ (g/kgW$^{0.75}$)	55.6 ± 2.4	62.2 ± 2.3	0.0603
อาหารข้น (g/kgW$^{0.75}$)	86.6 ± 1.7	85.3 ± 2.8	0.6963
รวม	142.2 ± 2.2	147.5 ± 4.6	0.3097
ปริมาณการกินได้โปรตีน			
อาหารหยาบ (กรัมวัตถุแห้ง/ตัว/วัน)	535.0 ± 28.7	604.0 ± 19.0	0.0567
อาหารข้น (กรัมวัตถุแห้ง/ตัว/วัน)	1772.0 ± 0.0	1758.0 ± 0.0	-
รวม	2307.0 ± 28.7	2362.0 ± 19.0	0.1403
อาหารหยาบ (g/kgW$^{0.75}$)	5.5 ± 0.2	6.2 ± 0.2	0.0606
อาหารข้น (g/kgW$^{0.75}$)	18.5± 0.4	18.0 ± 0.6	0.5178
รวม	24.0 ± 0.3	24.2 ± 0.8	0.8183
ปริมาณการกินได้พลังงานสุทธิ			
อาหารหยาบ (Mcal/ตัว/วัน)	6.36 ± 0.34	7.19 ± 0.23	0.0572
อาหารข้น (Mcal/ตัว/วัน)	13.38 ± 0.00	13.06 ± 0.00	-
รวม	19.74 ± 0.34	20.25 ± 0.23	0.2678
อาหารหยาบ (Mcal/kgW$^{0.75}$)	0.07 ± 0.00	0.08 ± 0.00	0.0425
อาหารข้น (Mcal/kgW$^{0.75}$)	0.14 ± 0.00	0.13 ± 0.00	0.2068
รวม	0.21 ± 0.00	0.21 ± 0.01	0.7426

หมายเหตุ แสดงข้อมูลในรูป mean ± SE

[1/]กลุ่มควบคุม คือ โคนมที่ได้รับอาหารข้น 21 %CP

[2/]กลุ่มทดลอง คือ โคนมที่ได้รับอาหารข้น 21 %CP เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3%ของอาหารข้น

ปริมาณการกินได้แร่ธาตุของโคนมกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.5 พบว่า ปริมาณการกินได้ calcium จากอาหารหยาบ (37 และ 42 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ปริมาณการกินได้ calcium จากอาหารข้น (88 และ 98 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ) และปริมาณการกินได้ calcium รวม (125 และ 140 กรัม/ตัว/วัน

ตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01) ซึ่งปริมาณ calcium ที่ได้รับทั้งหมดคิดเป็น 0.91 และ 0.97% ต่อวันตามลำดับ พบว่า มากกว่าความต้องการเมื่อเปรียบเทียบกับ NRC (2001) ซึ่งแนะนำความต้องการ calcium ของโคนมที่ 0.67% ต่อวัน แต่ Church and Pond (1982) อ้างโดย พันทิพา (2543) รายงานว่าระดับที่เป็นพิษของ calcium เท่ากับ 2% ขึ้นไป ดังนั้น calcium ในระดับที่ใช้ในการทดลองจึงไม่ทำให้เกิดความเป็นพิษต่อโคนม

ปริมาณการกินได้ phosphorus จากอาหารหยาบ (21 และ 24 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ) และปริมาณการกินได้ phosphorus จากอาหารข้น (43 กรัม/ตัว/วันทั้งสองกลุ่ม) มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) แต่ปริมาณการกินได้ phosphorus รวม (64 และ 67 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ซึ่งปริมาณ phosphorus ที่ได้รับทั้งหมดคิดเป็น 0.47% ต่อวันทั้งสองกลุ่ม พบว่า มากกว่าความต้องการเมื่อเปรียบเทียบกับ NRC (2001) ซึ่งแนะนำความต้องการ phosphorus ของโคนมที่ 0.36% ต่อวัน แต่ Church and Pond (1982) อ้างโดย พันทิพา (2543) รายงานว่าระดับที่เป็นพิษของ phosphorus เท่ากับ 1% ขึ้นไป ดังนั้น phosphorus ในระดับที่ใช้ในการทดลองจึงไม่ทำให้เกิดความเป็นพิษต่อโคนม และอัตราส่วน Ca:P ในอาหารทั้งหมดเท่ากับ 1.95 และ 2.09 ตามลำดับ

ปริมาณการกินได้ potassium จากอาหารหยาบ (54 และ 61 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ปริมาณการกินได้ potassium จากอาหารข้น (125 และ 126 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ) และปริมาณการกินได้ potassium รวม (179 และ 187 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ซึ่งปริมาณ potassium ที่ได้รับทั้งหมดคิดเป็น 1.31 และ 1.30% ต่อวันตามลำดับ พบว่า มากกว่าความต้องการเมื่อเปรียบเทียบกับ NRC (2001) ซึ่งแนะนำความต้องการ potassium ของโคนมที่ 1.06% ต่อวัน แต่ NRC (1980) รายงานว่าระดับที่เป็นพิษของ potassium เท่ากับ 3% ขึ้นไป ดังนั้น potassium ในระดับที่ใช้ในการทดลองจึงไม่ทำให้เกิดความเป็นพิษต่อโคนม

ปริมาณการกินได้ magnesium จากอาหารหยาบ (43 และ 49 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ปริมาณการกินได้ magnesium จากอาหารข้น (102 และ 105 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ) และปริมาณการกินได้ magnesium รวม (145และ 154 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ซึ่งปริมาณ magnesium ที่ได้รับทั้งหมดคิดเป็น 1.06 และ 1.07% ต่อวันตามลำดับ พบว่า มากกว่าความต้องการเมื่อเปรียบเทียบกับ NRC (2001) ซึ่งแนะนำความต้องการ magnesium ของโคนมที่ 0.20% ต่อวัน และระดับที่เป็นพิษของ magnesium เท่ากับ 0.4% ขึ้นไป ในขณะที่ Church and Pond (1982) อ้างโดย พันทิพา (2543) รายงานระดับสูงสุดของ magnesium ในอาหารสัตว์เลี้ยงที่ต้านทานได้เท่ากับ 0.5% ดังนั้น magnesium ในระดับที่ใช้ในการทดลองเป็นระดับที่สูงกว่าเกิน

ความต้านทาน อย่างไรก็ตาม สัมประสิทธิ์การดูดซึมของ magnesium อยู่ในระดับที่ต่ำ คือเท่ากับ 16% ซึ่งอาจส่งผลให้ความเป็นพิษลดลง

ปริมาณการกินได้ sodium จากอาหารหยาบ (3 และ 4 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ปริมาณการกินได้ sodium จากอาหารข้น (21 และ 22 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ) และปริมาณการกินได้ sodium รวม (24 และ 26 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ซึ่งปริมาณ sodium ที่ได้รับทั้งหมดคิดเป็น 0.18% ต่อวันทั้งสองกลุ่ม พบว่า เท่ากับ NRC (2001) ซึ่งแนะนำความต้องการ sodium ของโคนมที่ 0.18% ต่อวัน

ปริมาณการกินได้ copper จากอาหารหยาบ (36 และ 46 มิลลิกรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ปริมาณการกินได้ copper จากอาหารข้น (2,212 และ 2,360 มิลลิกรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ) และปริมาณการกินได้ copper รวม (2,248 และ 2,401 มิลลิกรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) ซึ่ง พบว่าสูงกว่าระดับที่ NRC (2001) แนะนำความต้องการ copper ของโคนมซึ่งควรได้รับในปริมาณ 11 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อย่างไรก็ตาม copper มีสัมประสิทธิ์การดูดซึมได้ต่ำคือเท่ากับ 4% ดังนั้นเมื่อคำนวณปริมาณ copper ที่สามารถดูดซึมได้จากปริมาณ copper ที่ได้รับจากอาหารจะพบว่าปริมาณ copper ที่ถูกดูดซึมเท่ากับ 90 และ 96 มิลลิกรัมต่อวันตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าระดับความต้องการแต่ไม่เกินระดับที่เป็นพิษซึ่งเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Church and Pond, 1982; อ้างโดย พันทิพา, 2543)

ปริมาณการกินได้ iron จากอาหารหยาบ (602 และ 680 มิลลิกรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ปริมาณการกินได้ iron จากอาหารข้น (1,114 และ 1,712 มิลลิกรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ) และปริมาณการกินได้ iron รวม (1,716 และ 2,392 มิลลิกรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) ซึ่งพบว่าสูงกว่าระดับที่ NRC (2001) แนะนำความต้องการ iron ของโคนมซึ่งควรได้รับในปริมาณ 17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อย่างไรก็ตาม iron มีสัมประสิทธิ์การดูดซึมได้ 10 % ดังนั้นเมื่อคำนวณ iron ที่สามารถดูดซึมได้จาก iron ที่ได้รับจากอาหารจะพบว่า ปริมาณ iron ที่ถูกดูดซึมเท่ากับ 111 และ 239 มิลลิกรัมต่อวันตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าระดับความต้องการแต่ไม่เกินระดับที่เป็นพิษซึ่งเท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม NRC (2001) อย่างไรก็ตามถือได้ว่าอยู่ในระดับที่เสี่ยงต่อการเกิดความเป็นพิษได้

ปริมาณการกินได้ zinc จากอาหารหยาบ (154 และ 174 มิลลิกรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ปริมาณการกินได้ zinc จากอาหารข้น (2,782 และ 2,982 มิลลิกรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ) และปริมาณการกินได้ zinc รวม (2,936 และ 3,156

มิลลิกรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01) ซึ่งพบว่าสูงกว่าระดับที่ NRC (2001) แนะนำความต้องการ zinc ของโคนมซึ่งควรได้รับในปริมาณ 52 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อย่างไรก็ตาม zinc มีสัมประสิทธิ์การดูดซึมได้ 15% ดังนั้นเมื่อคำนวณปริมาณ zinc ที่สามารถดูดซึมได้จากปริมาณ zinc ที่ได้รับจากอาหารจะพบว่า ปริมาณ zinc ที่ถูกดูดซึมเท่ากับ 440 และ 473 มิลลิกรัมต่อวันตามลำดับ ซึ่งพบว่าสูงกว่าระดับความต้องการแต่ไม่เกินระดับที่เป็นพิษซึ่งเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม NRC (2001) อย่างไรก็ตามถือได้ว่าอยู่ในระดับที่เสี่ยงต่อการเกิดความเป็นพิษได้

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณการกินได้ calcium, phosphorus, potassium, magnesium, sodium, copper, iron และ zinc โดยรวมทั้งอาหารหยาบและอาหารข้นของโคนม กลุ่มเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟสูงกว่ากลุ่มควบคุม ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณแร่ธาตุในอาหารข้นกลุ่มเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟสูงกว่ากลุ่มควบคุมด้วยเช่นกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณแร่ธาตุในอาหารข้นเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้โคนมได้รับปริมาณแร่ธาตุที่สูงขึ้น อย่างไรก็ตามผลของปริมาณการกินได้แร่ธาตุจากอาหารข้นไม่สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแร่ธาตุในอาหารข้นซึ่งพบว่า องค์ประกอบของแร่ธาตุในอาหารข้นของกลุ่มทดลองไม่ได้แตกต่างจากอาหารข้นกลุ่มควบคุม ยกเว้น iron ซึ่งองค์ประกอบของแร่ธาตุในอาหารข้นกลุ่มทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุม

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณการกินได้แร่ธาตุของโคนม

แร่ธาตุ	กลุ่มควบคุม	กลุ่มทดลอง	Pr>T
ปริมาณการกินได้แร่ธาตุ Ca			
อาหารหยาบ (กรัม/ตัว/วัน)	37 $\pm$ 2.0	42 $\pm$ 1.3	0.0587
อาหารข้น (กรัม/ตัว/วัน)	88^{c} $\pm$ 0.0	98^{d} $\pm$ 0.0	0.0001
รวม	125^{c} $\pm$ 2.0	140^{d} $\pm$ 1.3	0.0001
ปริมาณการกินได้แร่ธาตุ P			
อาหารหยาบ (กรัม/ตัว/วัน)	21 $\pm$ 1.1	24 $\pm$ 0.7	0.0567
อาหารข้น (กรัม/ตัว/วัน)	43 $\pm$ 0.0	43 $\pm$ 0.0	0.0512
รวม	64^{a} $\pm$ 1.1	67^{b} $\pm$ 0.7	0.0456
ปริมาณการกินได้แร่ธาตุ K			
อาหารหยาบ (กรัม/ตัว/วัน)	54 $\pm$ 2.9	61 $\pm$ 1.9	0.0567
อาหารข้น (กรัม/ตัว/วัน)	125^{a} $\pm$ 0.0	126^{b} $\pm$ 0.0	0.0426
รวม	179^{a} $\pm$ 2.9	187^{b} $\pm$ 1.9	0.0285

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณการกินได้แร่ธาตุของโคนม (ตัว/วัน) (ต่อ)

แร่ธาตุ	กลุ่มควบคุม	กลุ่มทดลอง	Pr>T
ปริมาณการกินได้แร่ธาตุ Mg			
อาหารหยาบ (กรัม/ตัว/วัน)	43 ± 2.3	49 ± 1.5	0.0567
อาหารข้น (กรัม/ตัว/วัน)	102^{a} ± 0.0	105^{b} ± 0.0	0.0314
รวม	145^{a} ± 2.3	154^{b} ± 1.5	0.0440
ปริมาณการกินได้แร่ธาตุ Na			
อาหารหยาบ (กรัม/ตัว/วัน)	3 ± 0.2	4 ± 0.1	0.0567
อาหารข้น (กรัม/ตัว/วัน)	21^{a} ± 0.0	22^{b} ± 0.0	0.0286
รวม	24^{a} ± 0.2	26^{b} ± 0.1	0.0427
ปริมาณการกินได้แร่ธาตุ Cu			
อาหารหยาบ (มิลลิกรัม/ตัว/วัน)	36 ± 1.9	41 ± 1.3	0.0567
อาหารข้น (มิลลิกรัม/ตัว/วัน)	$2,212^{c}$ ± 0.0	$2,360^{d}$ ± 0.0	0.0001
รวม	$2,248^{c}$ ± 1.9	$2,401^{d}$ ± 1.3	0.0001
ปริมาณการกินได้แร่ธาตุ Fe			
อาหารหยาบ (มิลลิกรัม/ตัว/วัน)	602 ± 32.4	680 ± 21.4	0.0567
อาหารข้น (มิลลิกรัม/ตัว/วัน)	$1,114^{c}$ ± 0.0	$1,712^{d}$ ± 0.0	0.0001
รวม	$1,716^{c}$ ± 32.4	$2,392^{d}$ ± 21.4	0.0001
ปริมาณการกินได้แร่ธาตุ Zn			
อาหารหยาบ (มิลลิกรัม/ตัว/วัน)	154 ± 8.3	174 ± 5.5	0.0587
อาหารข้น (มิลลิกรัม/ตัว/วัน)	$2,782^{c}$ ± 0.0	$2,982^{d}$ ± 0.0	0.0001
รวม	$2,936^{c}$ ± 8.3	$3,156^{d}$ ± 5.5	0.0001

หมายเหตุ แสดงข้อมูลในรูป mean ± SE

^{a,b} แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ^{c,d} แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$)

4.8.3 ปริมาณแร่ธาตุในพลาสมา

ปริมาณแร่ธาตุในพลาสมาของโคนมกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.6 พบว่า ปริมาณ calcium ในพลาสมาก่อนการทดลอง (2.96 และ 2.80 mmol/L ตามลำดับ), ระหว่างการทดลอง (2.70 และ 3.17 mmol/L ตามลำดับ) และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (2.96 และ 3.24 mmol/L ตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ซึ่งพบว่าปริมาณ calcium ในพลาสมามีค่าใกล้เคียงกับ ฉลอง (2543) ซึ่งรายงานระดับปกติของปริมาณ calcium ใน

พลาสมามีค่าอยู่ระหว่าง 2.0-3.0 mmol/L แต่ปริมาณ calcium ในพลาสมาระหว่างการทดลองและหลังการทดลองมีค่าสูงกว่า NRC (2001) ที่รายงานระดับปกติของปริมาณ calcium ในพลาสมาเท่ากับ 2.2-2.5 mmol/L จากผลการทดลองพบว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3% ไม่ทำให้ปริมาณ calcium ในพลาสมาสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากระดับ calcium ในอาหารเป็นระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของโคนม สอดคล้องกับ Leach et al. (1990) อ้างโดย ผุสดี (2537) พบว่าการเสริม zeolite ในอาหารที่มี calcium ต่ำกว่าระดับความต้องการมีผลเพิ่มการใช้ประโยชน์ได้ของ calcium ในอาหาร

ปริมาณ phosphorus ในพลาสมาก่อนการทดลอง (2.28 และ 2.29 mmol/L ตามลำดับ), ระหว่างการทดลอง (2.37 และ 2.29 mmol/L ตามลำดับ) และสิ้นสุดการทดลอง (2.42 และ 2.46 mmol/L ตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) พบว่า ปริมาณ phosphorus ในพลาสมามีค่าใกล้เคียงกับ ฉลอง (2543) ซึ่งรายงานระดับปกติของ phosphorus ในพลาสมามีค่าอยู่ระหว่าง 1.3-2.1 mmol/L แต่ปริมาณ phosphorus ในพลาสมาระหว่างการทดลองและหลังการทดลองมีค่าสูงกว่า NRC (2001) ที่รายงานระดับปกติของปริมาณ phosphorus ในพลาสมาเท่ากับ 1.3-1.6 mmol/L จากผลการทดลองพบว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3% ไม่ทำให้ปริมาณ phosphorus ในพลาสมาสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ใช้ในการทดลองไม่มี phosphorus เป็นส่วนประกอบ และจากการทดลองของ Cook et al. (1982) พบว่า sodium zeolite A มี aluminium เป็นองค์ประกอบอยู่ในโครงสร้าง ถูกย่อยได้ในสภาพความเป็นกรดภายในระบบทางเดินอาหาร ผลการย่อยจะได้ aluminium ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยารวมตัวกับ phosphorus เป็น aluminiumphosphate เกิดการตกตะกอน และร่างกายไม่สามารถดูดซึมเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้ สำหรับแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ใช้ในการทดลองนี้มี aluminium เป็นส่วนประกอบ 10.46% ซึ่งอาจเป็นผลที่นำไปสู่ระดับที่ต่ำลงของ phosphorus ในพลาสมาได้

ปริมาณ potassium ในพลาสมาก่อนการทดลอง (6.01 และ 5.39 mmol/L ตามลำดับ), ระหว่างการทดลอง (5.60 และ 5.36 mmol/L ตามลำดับ) และสิ้นสุดการทดลอง (5.27 และ 5.62 mmol/L ตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) พบว่า ปริมาณ potassium ในพลาสมามีค่าอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับ NRC (2001) ซึ่งรายงานระดับปกติของปริมาณ potassium ในพลาสมาเท่ากับ 5-10 mmol/L และฉลอง (2543) ซึ่งรายงานระดับปกติมีค่าอยู่ระหว่าง 4.5-5.5 mmol/L จากผลการทดลองพบว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3% ไม่ทำให้ปริมาณ potassium ในพลาสมาสูงขึ้น

ปริมาณ magnesium ในพลาสมาก่อนการทดลอง (0.85 และ 0.80 mmol/L ตามลำดับ), ระหว่างการทดลอง (0.71 และ 0.72 mmol/L ตามลำดับ) และสิ้นสุดการทดลอง (0.73 และ 0.72

mmol/L ตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) พบว่า ปริมาณ magnesium ในพลาสมามีค่าต่ำกว่าระดับปกติประมาณ 0.02 mmol/L เมื่อเทียบกับรายงานของ NRC (2001) และฉลอง (2543) รายงานระดับปกติของปริมาณ magnesium ในพลาสมาใกล้เคียงกันคือ 0.75-1.0 mmol/L และ 0.75-1.3 mmol/L ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3% ไม่ทำให้ปริมาณ magnesium ในพลาสมาสูงขึ้น

ปริมาณ sodium ในพลาสมาก่อนการทดลอง (139.19 และ 133.87 mmol/L ตามลำดับ), ระหว่างการทดลอง (128.93 และ 135.99 mmol/L ตามลำดับ) และสิ้นสุดการทดลอง (143.50 และ 135.42 mmol/L ตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ซึ่งพบว่าปริมาณ sodium ในพลาสมามีค่าใกล้เคียงกับ ฉลอง (2543) รายงานระดับปกติมีค่าอยู่ระหว่าง 140-150 mmol/L จากผลการทดลองพบว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3% ไม่ทำให้ปริมาณ sodium ในพลาสมาสูงขึ้น

ปริมาณ copper ในพลาสมาก่อนการทดลอง (13.08 และ 13.55 µmol/L ตามลำดับ), ระหว่างการทดลอง (13.42 และ 15.12 µmol/L ตามลำดับ) และสิ้นสุดการทดลอง (13.89 และ 14.95 µmol/L ตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) พบว่า ปริมาณ copper ในพลาสมามีค่าอยู่ในระดับเดียวกับ ฉลอง (2543) ซึ่งรายงานว่า ระดับปกติของ copper ในพลาสมามีค่าอยู่ระหว่าง 12.6-18.9 µmol/L จากผลการทดลองพบว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3% ไม่ทำให้ปริมาณ copper ในพลาสมาสูงขึ้น

ปริมาณ iron ในพลาสมาก่อนการทดลองและปริมาณ iron ในพลาสมาระหว่างการทดลอง มีตัวอย่างพลาสมาไม่เพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ แต่สามารถประเมินปริมาณ iron ในพลาสมาสิ้นสุดการทดลองได้ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15.76 และ 20.33 µmol/L ตามลำดับ ซึ่งพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01) และพบว่าปริมาณ iron ในพลาสมาของโคนมกลุ่มทดลองมีค่าอยู่ในระดับเดียวกับ ฉลอง (2543) ที่รายงานว่า ระดับปกติของ iron ในพลาสมามีค่าอยู่ระหว่าง 20-40 µmol/L จากผลการทดลองพบว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารข้นโคนมที่ระดับ 3% มีผลทำให้ปริมาณ iron ในพลาสมาสูงขึ้น อยู่ในระดับปกติ

ปริมาณ zinc ในพลาสมาก่อนการทดลอง (16.73 และ 19.33 µmol/L ตามลำดับ), ระหว่างการทดลอง (18.73 และ 19.62 µmol/L ตามลำดับ) และสิ้นสุดการทดลอง (17.11 และ 17.43 µmol/L ตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ซึ่งพบว่า ปริมาณ zinc ในพลาสมามีค่าอยู่ในระดับเดียวกับ ฉลอง (2543) ซึ่งรายงานว่า ระดับปกติมีค่าอยู่ระหว่าง 12-18.5 µmol/L จากผลการทดลองพบว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3% ไม่ทำให้ปริมาณ zinc ในพลาสมาสูงขึ้น

จากผลการทดลองพบว่า การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3% ส่งผลให้ปริมาณ iron ในพลาสมาเพิ่มขึ้นมาอยู่ในระดับปกติ แต่ไม่ส่งผลให้ปริมาณ calcium, phosphorus, potassium, magnesium, sodium, copper และ zinc ในพลาสมาเพิ่มขึ้น ซึ่งไม่สอดคล้องกับผลปริมาณการกินได้แร่ธาตุจากอาหาร ที่พบว่าปริมาณการกินได้ของแร่ธาตุดังกล่าวของโคนมกลุ่มทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุม ยกเว้น iron ซึ่งพบว่า มีปริมาณในพลาสมาเพิ่มขึ้น ตามเปอร์เซ็นต์ในอาหารและปริมาณการกินได้ที่เพิ่มขึ้น สำหรับการที่พบว่าปริมาณการกินได้หรือการได้รับแร่ธาตุของโคนม กลุ่มทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุม แต่ปริมาณแร่ธาตุในพลาสมาไม่มีความแตกต่างกันระหว่างโคทั้งสองกลุ่ม ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซึมแร่ธาตุ คือ form ของแร่ธาตุในระบบทางเดินอาหาร ปฏิสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุ สภาวะในระบบทางเดินอาหาร คุณสมบัติในการดูดซับและแลกเปลี่ยนประจุของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ รวมทั้งระดับของแร่ธาตุที่เสริม ดังกล่าวข้างต้น

ตารางที่ 4.6 ปริมาณแร่ธาตุในพลาสมา

แร่ธาตุ	กลุ่มควบคุม	กลุ่มทดลอง	Pr>T
Ca (mmol/L)			
ก่อนการทดลอง	2.96 ± 0.25	2.80 ± 0.20	0.6199
ระหว่างการทดลอง	2.70 ± 0.17	3.17 ± 0.22	0.1002
สิ้นสุดการทดลอง	2.96 ± 0.07	3.24 ± 0.34	0.4187
P (mmol/L)			
ก่อนการทดลอง	2.28 ± 0.10	2.29 ± 0.13	0.9520
ระหว่างการทดลอง	2.37 ± 0.09	2.29 ± 0.14	0.6104
สิ้นสุดการทดลอง	2.42 ± 0.10	2.46 ± 0.19	0.8171
K (mmol/L)			
ก่อนการทดลอง	6.01 ± 0.31	5.39 ± 0.17	0.0934
ระหว่างการทดลอง	5.60 ± 0.21	5.36 ± 0.29	0.5049
สิ้นสุดการทดลอง	5.27 ± 0.18	5.62 ± 0.13	0.1386
Mg (mmol/L)			
ก่อนการทดลอง	0.85 ± 0.05	0.80 ± 0.07	0.4838
ระหว่างการทดลอง	0.71 ± 0.02	0.72 ± 0.02	0.8037
สิ้นสุดการทดลอง	0.73 ± 0.02	0.72 ± 0.02	0.7438

หมายเหตุ แสดงข้อมูลในรูป mean ± SE ^{a,b} แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ^{c,d} แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$)

ตารางที่ 4.6 ปริมาณแร่ธาตุในพลาสมา (ต่อ)

แร่ธาตุ	กลุ่มควบคุม	กลุ่มทดลอง	Pr>T
Na (mmol/L)			
ก่อนการทดลอง	139.19 ± 6.34	133.87 ± 1.67	0.4441
ระหว่างการทดลอง	128.93 ± 1.50	135.99 ± 3.87	0.0839
สิ้นสุดการทดลอง	143.50 ± 4.62	135.42 ± 3.05	0.1673
Cu (µmol/L)			
ก่อนการทดลอง	13.08 ± 0.74	13.55 ± 1.23	0.7317
ระหว่างการทดลอง	13.42 ± 1.40	15.12 ± 1.63	0.4368
สิ้นสุดการทดลอง	13.89 ± 0.80	14.95 ± 0.69	0.3329
Fe (µmol/L)			
ก่อนการทดลอง	-	-	-
ระหว่างการทดลอง	-	-	-
สิ้นสุดการทดลอง	15.76^{c} ± 0.88	20.33^{d} ± 0.22	0.0003
Zn (µmol/L)			
ก่อนการทดลอง	16.73 ± 1.02	19.33 ± 1.19	0.1120
ระหว่างการทดลอง	18.73 ± 1.04	19.62 ± 1.17	0.5828
สิ้นสุดการทดลอง	17.11 ± 0.74	17.43 ± 0.60	0.7373

หมายเหตุ แสดงข้อมูลในรูป mean ± SE ^{a,b} แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ^{c,d} แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$)

4.8.4 ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม

ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม แสดงดังตารางที่ 4.7 และ 4.8 พบว่าโคนม กลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟให้ผลผลิตน้ำนม และองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ดังนี้คือ ไขมันนม เท่ากับ 3.28% และ 3.39% ตามลำดับ โปรตีนนม 2.59% และ 2.63% ตามลำดับ แล็คโตส 4.39 และ 4.50% ตามลำดับ ของแข็งพร่องในไขมัน (solid non fat) 7.92% และ 8.05% ตามลำดับ ของแข็งในน้ำนม (total solid) 11.20% และ 11.43% ตามลำดับ ปริมาณน้ำนม 17.5 และ 17.8 กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ ปริมาณน้ำนมปรับไขมัน 4% เท่ากับ 15.4 และ 16.1 กิโลกรัม/วัน ปริมาณไขมันนม 574 และ 603 กรัม/วัน ปริมาณโปรตีนนม 453 และ 468 กรัม/วัน ปริมาณแล็คโตส 768 และ 801 กรัม/วัน ปริมาณของแข็งพร่องไขมัน 1,386 และ 1,433 กรัม/วัน และปริมาณของแข็งรวมในนม 1,960 และ 2,035 กรัม/วัน) ซึ่งจากการที่การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3% ในอาหารข้นโคนม ไม่ส่งให้ผลผลิตน้ำนม

และองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟไม่มีผลทำให้ปริมาณแร่ธาตุที่สำคัญในพลาสมาเปลี่ยนแปลง ดังนั้น การใช้ประโยชน์ได้ของแร่ธาตุทั้งสองกลุ่มจึงไม่แตกต่างกัน จึงทำให้การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3% ในอาหารข้นโคนมไม่ส่งผลต่อผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม

ตารางที่ 4.7 แสดงเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม

องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม (%)	กลุ่มควบคุม	กลุ่มทดลอง	Pr>T
ไขมัน	3.28 ± 0.17	3.39 ± 0.10	0.5744
โปรตีน	2.59 ± 0.11	2.63 ± 0.07	0.7270
แล็คโตส	4.39 ± 0.08	4.50 ± 0.06	0.3002
ของแข็งพร่องในไขมัน (solid non fat)	7.92 ± 0.16	8.05 ± 0.10	0.4963
ของแข็งในน้ำนม (total solid)	11.20 ± 0.29	11.43 ± 0.16	0.4971

หมายเหตุ แสดงข้อมูลในรูป mean ± SE

ตารางที่ 4.8 แสดงผลผลิตและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม

ผลผลิตและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม	กลุ่มควบคุม	กลุ่มทดลอง	Pr>T
ปริมาณน้ำนม (กิโลกรัม/วัน)	17.5 ± 0.8	17.8 ± 0.5	0.7773
ปริมาณน้ำนมปรับไขมัน 4% (กิโลกรัม/วัน)	15.4 ± 0.4	16.1 ± 0.4	0.2574
ปริมาณไขมันนม (กรัม/วัน)	574 ± 14.1	603 ± 20.1	0.1230
ปริมาณโปรตีนนม (กรัม/วัน)	453 ± 11.1	468 ± 7.9	0.1497
ปริมาณแล็คโตส (กรัม/วัน)	768 ± 32.8	801 ± 20.1	0.4189
ปริมาณของแข็งพร่องไขมัน (กรัม/วัน)	1,386 ± 47.9	1,433 ± 26.8	0.3691
ปริมาณของแข็งรวมในนม (กรัม/วัน)	1,960 ± 51.7	2,035 ± 42.2	0.2023

หมายเหตุ แสดงข้อมูลในรูป mean ± SE

4.8.5 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวของโคนม

การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวของโคนมของโคนมที่ได้รับอาหารข้นกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลองเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3% ร่วมกับข้าวโพดหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ แสดงดังตารางที่ 4.13 พบว่า มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ของน้ำหนักตัวก่อนการทดลอง (439.4 และ 455.3 กิโลกรัมตามลำดับ) น้ำหนักตัวสิ้นสุดการทดลอง (445.8 และ 458.4 กิโลกรัมตามลำดับ) น้ำหนักตัวเฉลี่ยตลอดการทดลอง (442.6 และ 456.9 กิโลกรัมตามลำดับ) และน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง (211 และ 103 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ) ทั้งนี้เนื่องมาจาก ปริมาณการกิน

ได้วัตถุแห้ง โปรตีน และพลังงานของโคนมทั้งสองกลุ่มไม่มีความแตกต่างกัน และถึงแม้ว่าปริมาณการกินได้แร่ธาตุ calcium, phosphorus, potassium, sodium, copper, iron และ zinc ของโคสาวกลุ่มทดลองมากกว่ากลุ่มควบคุม (P>0.01) แต่เมื่อพิจารณาถึงปริมาณ calcium, phosphorus, potassium, sodium, copper, zinc รวมทั้ง magnesium ในพลาสมาพบว่าปริมาณแร่ธาตุดังกล่าวไม่ได้สูงขึ้น ยกเว้น iron ดังนั้น แสดงว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ได้รับที่ระดับ 3% ของอาหารข้นของโคสาวไม่สามารถดูดซึมแร่ธาตุได้ จึงไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้อัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของโคนมทั้งสองกลุ่มไม่มีความแตกต่างกันได้

ตารางที่ 4.9 แสดงน้ำหนักตัวและการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวของโคนม

	กลุ่มควบคุม	**กลุ่มทดลอง**	**Pr>T**
น้ำหนักตัว (กิโลกรัม)			
ก่อนการทดลอง	439.4 $\pm$ 11.0	455.3 $\pm$ 17.4	0.4474
สิ้นสุดการทดลอง	445.8 $\pm$ 15.1	458.4 $\pm$ 21.4	0.6329
เฉลี่ย	442.6 $\pm$ 12.2	445.9 $\pm$ 19.0	0.5337
น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง (กรัม/ตัว/วัน)	211 $\pm$ 342	103 $\pm$ 271	0.8061

หมายเหตุ แสดงข้อมูลในรูป mean $\pm$ SE

4.8.6 การประมาณค่าโปรตีนและพลังงาน

การประมาณค่าโปรตีนของโคนมกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟแสดงดังตารางที่ 4.10 พบว่า ความต้องการโปรตีนทั้งหมด (MP_R) (1,357 และ 1,376 กรัมต่อวันตามลำดับ), โปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักที่ได้รับจากอาหาร (RDP_{sup}) (1,503 และ 1,501 กรัมต่อวันตามลำดับ) และความต้องการโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP_{req}) (1,074 และ 1,017 กรัมต่อวันตามลำดับ) ของโคนมกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) โปรตีนที่ได้รับจากจุลินทรีย์ (MCP) (1,132 และ 1,204 กรัมต่อวันตามลำดับ), ความต้องการโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{req}) (1,332 และ 1,417 กรัมต่อวันตามลำดับ), ความสมดุลระหว่างความต้องการโปรตีนที่ได้ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักกับโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักที่ได้รับอาหาร (RDP ขาด/เกิน) (171 และ 84 กรัมต่อวันตามลำดับ) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมักที่ได้รับจากอาหาร (805 และ 860 กรัมต่อวันตามลำดับ) ของโคนมกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01) และพบว่า ความสมดุลระหว่างความต้องการโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมักกับ

โปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมักที่ได้รับจากอาหาร (RUP ขาด/เกิน) (-270 และ -157 กรัมต่อวันตามลำดับ) ของโคนมทั้งสองกลุ่มมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

จากการประมาณค่าโปรตีนในอาหารและความต้องการโปรตีนของโคนม พบว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3% ไม่มีผลต่อ ความต้องการโปรตีนทั้งหมด RDP_{sup}, RUP_{req} แต่พบว่ามีผลทำให้ MCP สอดคล้องกับ Thomas (www., 2002) รายงานว่า การใช้ซีโอไลท์ ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง ช่วยในแง่ของเป็นแหล่งปลดปล่อยไนโตรเจนให้กับจุลินทรีย์ในรูเมน ซึ่งจากการทดลองพบว่า โค แพะ และแกะ ที่ได้รับสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้ (NPN) ซีโอไลท์ จะจับ NH_4^+ ไว้ประมาณ 15% เป็นเวลาหลายชั่วโมง ต่อเมื่อ Na^+ เข้าสู่กระเพาะรูเมนตอนที่สัตว์เคี้ยวเอื้องก็จะค่อยๆ ถูกปลดปล่อยออกมาทำให้จุลินทรีย์นำไปใช้ประโยชน์ในการสังเคราะห์โปรตีนมากขึ้นและใช้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น จึงส่งผลให้ MCP เพิ่มขึ้น, RDP_{req} สอดคล้องกับปริมาณ MCP ที่เพิ่มขึ้น, สมดุลของ RDP (ขาด/เกิน) พบว่าได้รับ RDP มากเกินความต้องการทั้งสองกลุ่ม แต่กลุ่มทดลองมีสมดุล RDP ดีกว่า ทั้งนี้เนื่องจากการนำไปใช้สร้าง MCP ที่มากกว่า, นอกจากนี้พบว่า RUP_{sup} กลุ่มทดลองมากกว่ากลุ่มควบคุม และสมดุล RUP (ขาด/เกิน) ไม่เพียงพอทั้งสองกลุ่ม แต่กลุ่มทดลองขาด RUP น้อยกว่า

ตารางที่ 4.10 แสดงความต้องการโปรตีนของโคนมและปริมาณโปรตีนที่ได้รับจากอาหาร

	กลุ่มควบคุม	**กลุ่มทดลอง**	**Pr>T**
ความต้องการโปรตีนทั้งหมด (MPR)	1,357 $\pm$ 19	1,376 $\pm$ 15	0.4400
โปรตีนที่ได้รับจากจุลินทรีย์ (MCP)	$1,132^{c}$ $\pm$ 20	$1,204^{d}$ $\pm$ 13	0.0054
ความต้องการ RDP_{req}	$1,332^{c}$ $\pm$ 23	$1,417^{d}$ $\pm$ 15	0.0054
RDP_{sup} ที่ได้รับจากอาหาร	1,503 $\pm$ 16	1,501 $\pm$ 11	0.9011
RDP ขาด/เกิน	171^{d} $\pm$ 7	84^{c} $\pm$ 4	0.0001
ความต้องการ RUP_{req}	1,074 $\pm$ 31	1,017 $\pm$ 25	0.1640
RUP_{sup} ที่ได้รับจากอาหาร	805^{c} $\pm$ 12	860^{d} $\pm$ 8	0.0013
RUP ขาด/เกิน	-270^{a} $\pm$ 35	-157^{b} $\pm$ 28	0.0203

หมายเหตุ แสดงค่าในรูป mean $\pm$ SE, มีหน่วยเป็น กรัม/ตัว/วัน, แสดงการคำนวณในภาคผนวก ข

^{a,b} แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$), ^{c,d} แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$)

การประมาณค่าพลังงานที่โคนมต้องการเพื่อกิจกรรมต่างๆ และประสิทธิภาพการใช้พลังงาน แสดงดังตารางที่ 4.11 พบว่า มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ของการกินได้พลังงานสุทธิ (NE_L intake) (19.78 และ 20.25 Mcal/วันตามลำดับ), พลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (NE_{LM}) (7.90 และ 7.72 Mcal/วัน ตามลำดับ), พลังงานสุทธิเพื่อการสร้างน้ำนม

(NE_{LL}) (10.68 และ 11.28 Mcal/วันตามลำดับ), พลังงานสุทธิสะสม (NE_{LR}) (19.12 และ 19.26 Mcal/วันตามลำดับ) และประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (0.96 เท่ากันทั้งสองกลุ่ม) แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) ของความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการเพิ่มน้ำหนักตัว (NE_{LG}) (0.54 และ 0.26 Mcal/วันตามลำดับ) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแร่จากจากหินภูเขาไฟช่วยดูดซับแอมโมเนียในระบบทางเดิน ทำให้ความเป็นพิษของแอมโมเนียต่อ epithelial cell ในลำไส้ลดลง (Vincent et al., 1987) การดูดซึมสารอาหารจึงเกิดขึ้นได้ดี และส่งผลให้โคนมได้รับพลังงานอย่างเพียงพอ อย่างไรก็ตาม จากการประเมินความต้องการพลังงานตามสมการ NRC (2001) พบว่า น้ำหนักตัว และอัตราการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว (gain or loss) เป็นปัจจัยสำคัญต่อความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโต

ตารางที่ 4.11 แสดงพลังงานที่โคนมต้องการเพื่อกิจกรรมต่างๆ และประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Mcal/วัน)

	กลุ่มควบคุม	**กลุ่มทดลอง**	**Pr>T**
การกินได้พลังงานสุทธิ ($NE_{L\ intake}$)	19.78 $\pm$ 0.34	20.25 $\pm$ 0.23	0.2678
พลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (NE_{LM})	7.90 $\pm$ 0.16	7.72 $\pm$ 0.25	0.5497
พลังงานสุทธิเพื่อการสร้างน้ำนม (NE_{LL})	10.68 $\pm$ 0.23	11.28 $\pm$ 0.26	0.0996
พลังงานสุทธิเพื่อการเพิ่มน้ำหนักตัว (NE_{LG})	0.54 $\pm$ 0.00	0.26 $\pm$ 0.00	0.0001
พลังงานสุทธิสะสม (NE_{LR})	19.12 $\pm$ 0.26	19.26 $\pm$ 0.31	0.2254
ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (efficiency)	0.96 $\pm$ 0.01	0.96 $\pm$ 0.01	0.8752

หมายเหตุ แสดงค่าในรูป mean $\pm$ SE, แสดงการคำนวณในภาคผนวก ข

4.8.7 nitrogen และ phosphorus ในมูลโคนม

เปอร์เซ็นต์ nitrogen และ phosphorus ในมูลของโคนมกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.12 พบว่า เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งของมูลก่อนการทดลอง (21.10 และ 20.24 % ตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งของมูลในช่วงระหว่างการทดลอง (19.76 และ 21.22 % ตามลำดับ) และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (20.09 และ 21.22 % ตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ดังนั้นแสดงว่า การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3% มีผลต่อความชื้นในมูลโคนม เช่นเดียวกับ Nakaue and Koeliker (1981) ที่ทดลองเสริม clinoptilolite 0, 2.5, 5 และ 10% พบว่า ที่ระดับ 10% มีผลให้ความชื้นในมูลไก่ไข่ลดลง ($P<0.05$), Bolduan et al. (1992) พบว่า สารดูดซับ (silica 65%, aluminiumoxide 5%) ที่ระดับ 2% ทำให้ปริมาณวัตถุแห้งในมูลลูกสุกรเพิ่มขึ้น ($P<0.05$) ทั้งนี้

เนื่องมาจากแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟมีคุณสมบัติในการดูดซับ (adsorption properties) โดยที่ในสภาพปกติช่องว่างภายในของผลึกซีโอไลท์จะมีโมเลกุลของน้ำรวมกันอยู่ เมื่อได้รับความร้อน น้ำภายในช่องว่างจะระเหยออกไป ช่องว่างภายในมีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กลง เมื่อโมเลกุลของน้ำ (ความชื้นในมูล) ผ่านเข้ามาในช่องว่างจะถูกจับไว้ อย่างไรก็ตามการใช้แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟเพื่อการลดความชื้นในมูลยังให้ผลที่แตกต่างกัน ซึ่งเห็นได้จากการทดลองที่ 1 พบว่า การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3% ของอาหารข้นโคสาว (แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟชนิดเดียวกันกับการทดลองนี้) ไม่มีผลต่อความชื้นในมูลของโคสาว รวมทั้ง Ingram et al. (1991) ทดลองเสริม zeolite ที่ระดับ 4% ในอาหารไก่เนื้อ พบว่า ความชื้นในมูลเพิ่มขึ้น และนิคม (2547) ทดลองเสริม pumice (เป็นสาร ประเภท hydrated sodium calcium aluminosilicate มีคุณสมบัติคล้าย zeolite) ในอาหารไก่ไข่ที่ระดับ 2, 4 และ 6% พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของปริมาณการขับมูล น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของมูล ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากองค์ประกอบของแร่ธาตุ โครงสร้างของโมเลกุล ฤดูกาลที่ใช้ในการทดลอง และลักษณะของอาหารที่ใช้ในการทดลอง

เปอร์เซ็นต์ nitrogen ในมูลโคนมก่อนการทดลอง (0.62 และ 0.63 % ตามลำดับ) ระหว่างการทดลอง (0.61 และ 0.65 % ตามลำดับ) และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (0.63 และ 0.65 % ตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยที่เปอร์เซ็นต์ nitrogen ทั้งก่อนการทดลอง ระหว่างการทดลอง และสิ้นสุดการทดลอง มีค่าสูงกว่า พันทิพา (2539) ซึ่งรายงาน %N ของมูลโค ที่ระดับ 0.5% ทั้งนี้เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับผลการลด nitrogen ในมูลสัตว์กระเพาะเดี่ยว (Bolduan et al., 1992. และเอกพล, 2546.) พบว่า สำหรับสัตว์กระเพาะเดี่ยวแล้ว แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟมีผลช่วยให้การใช้ประโยชน์จาก nitrogen ดีขึ้น โดยการให้อาหารอยู่ในระบบทางเดินอาหารได้นาน จึงถูกย่อยและดูดซึมได้สูง ทำให้มีปริมาณ nitrogen ผ่านไปที่ลำไส้ใหญ่น้อย ส่งผลให้จุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ใช้ประโยชน์และสร้าง ammonia ได้ลดลง ปริมาณ nitrogen รวมทั้ง ammonia ในมูลลดลงจึงลดลง แต่ในสัตว์กระเพาะรวมโดยเฉพาะโคนม มักพบว่ามีระดับโปรตีนในอาหารต่ำเมื่อเทียบกับอาหารสัตว์กระเพาะเดี่ยว รวมทั้งเป็นอาหารที่มีเยื่อใยสูง ทำให้คุณสมบัติในการดูดซับของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟไม่มีผลต่อระยะเวลาของอาหารที่อยู่ในระบบทางเดินอาหาร การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3% จึงไม่มีผลให้เปอร์เซ็นต์ nitrogen ในมูลโคนมลดลง

เปอร์เซ็นต์ phosphorus ในมูลโคนมก่อนการทดลอง (1.07% และ 1.08% ตามลำดับ) ระหว่างการทดลอง (1.06% และ 1.04% ตามลำดับ) และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (1.06% และ 0.99% ตามลำดับ) ซึ่งมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยที่เปอร์เซ็นต์ phosphorus ทั้งก่อนการทดลอง ระหว่างการทดลอง และสิ้นสุดการทดลอง มีค่าสูงกว่า พันทิพา (2539) ซึ่งรายงาน %P ของมูลโค ที่ระดับ 0.87% ทั้งนี้เนื่องจากในโครงสร้างของ zeolite จะมี aluminium

เป็นส่วนประกอบอยู่ ซึ่งเมื่ออยู่ในสภาพที่เป็นกรด (pH≤5) จะถูก hydrolyte และเมื่อ aliminium แตกตัวออกมาจะทำปฏิกิริยารวมตัวกับ phosphorus ในระบบทางเดินอาหาร เป็น aluminiumphosphate แล้วตกตะกอน ร่างกายไม่สามารถดูดซึม phosphorus ไปใช้ประโยชน์ได้ ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าถ้ามีปริมาณ aluminium ในอาหารมาก จะทำให้การใช้ประโยชน์จาก inorganic phosphorus ลดลง (Cook et al., 1982; Liptein and Hurwitz., 1982.) ดังนั้นเป็นไปได้ว่าหากเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในระดับที่สูงขึ้นจะทำให้มีปริมาณ phosphorus ถูกขับถ่ายออกมากับมูลเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.12 แสดงผล nitrogen และ phosphorus ในมูลโคนม

	กลุ่มควบคุม	**กลุ่มทดลอง**	**Pr>T**
วัตถุแห้ง (%)			
ก่อนการทดลอง	21.10 ± 0.52	20.24 ± 0.34	0.1789
ระหว่างการทดลอง	19.76^{a} ± 0.44	21.22^{b} ± 0.33	0.0147
สิ้นสุดการทดลอง	20.09^{a} ± 0.33	21.22^{b} ± 0.33	0.0248
Nitrogen (%)			
ก่อนการทดลอง	0.62 ± 0.03	0.63 ± 0.03	0.7991
ระหว่างการทดลอง	0.61 ± 0.03	0.65 ± 0.03	0.3873
สิ้นสุดการทดลอง	0.63 ± 0.03	0.65 ± 0.03	0.7233
Phosphorus (%)			
ก่อนการทดลอง	1.07 ± 0.04	1.08 ± 0.03	0.7834
ระหว่างการทดลอง	1.06 ± 0.03	1.04 ± 0.03	0.6884
สิ้นสุดการทดลอง	1.06 ± 0.04	0.99 ± 0.03	0.1949

หมายเหตุ แสดงข้อมูลในรูป mean ± SE, ^{a,b} แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

4.9 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อการให้ผลผลิตและองค์ประกอบน้ำนมของโคนมในระยะกลางของการให้นม พบว่า การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารข้นที่ระดับ 3% ไม่มีผลทำให้ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนมสูงขึ้น ($P>0.05$) ซึ่งพบว่า องค์ประกอบทางเคมีของอาหารมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เปอร์เซ็นต์เถ้าในอาหารข้นกลุ่มทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุม คือ 8.39 และ 7.96% ตามลำดับ อาหารข้นที่เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3% มีเปอร์เซ็นต์ calcium, phosphorus, potassium, magnesium, sodium, copper และ zinc ไม่แตกต่างกัน

(P>0.05) แต่มีเปอร์เซ็นต์ iron สูงกว่าอาหารข้นกลุ่มควบคุม (P>0.01) การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารข้นที่ระดับ 3% ส่งผลให้ปริมาณการกินได้วัตถุแห้ง โปรตีน พลังงานไม่แตกต่างกัน (P>0.05) แต่ส่งผลให้ปริมาณการกินได้ calcium, phosphorus, potassium, magnesium, sodium, copper, iron และ zinc สูงขึ้น (P<0.01) ส่วนปริมาณแร่ธาตุ calcium, phosphorus, potassium, magnesium, sodium, copper และ zinc ในพลาสมาไม่แตกต่างกัน (P>0.05) แต่มีผลให้ปริมาณ iron ในพลาสมาสูงขึ้น (P<0.01) การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารข้นที่ระดับ 3% ไม่มีผลต่อความต้องการโปรตีนทั้งหมด และความต้องการ RUP (P>0.05) แต่มีผลให้ความต้องการ RDP สูงขึ้น (P<0.01) มีผลให้ความต้องการพลังงานและประสิทธิภาพของการใช้พลังงานไม่แตกต่างกัน (P>0.05) แต่มีความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตต่ำกว่า (P<0.01) และการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารข้นที่ระดับ 3% มีผลทำให้วัตถุแห้งของมูลโคนมกลุ่มควบคุมสูงกว่ากลุ่มทดลอง (P<0.05) แต่ไม่มีผลต่อปริมาณ nitrogen รวมทั้ง phosphorus ในมูล (P>0.05)

4.10 รายการอ้างอิง

ฉลอง วชิราภากร. 2543. โภชนศาสตร์แร่ธาตุของสัตว์. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ชุติมา อิ่มสันเทียะ. 2544. ผลการเสริมสารโมเนนซินต่อผลผลิตน้ำนมของโคนมในช่วงต้นระยะการให้นมเมื่อเลี้ยงด้วยต้นข้าวโพดหมักช่วง 56 วันแรกและเลี้ยงด้วยฟางข้าวในช่วง 56 วันหลัง. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ไชยณรงค์ นาวานุเคราะห์. 2541. โลหิตวิทยาของสัตว์เลี้ยงและวิธีการวิเคราะห์ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

นิคม ชนะหาญ. 2547. การใช้พัมมิซในอาหารเพื่อดูดซับอะฟลาทอกซินและลดปริมาณแก๊สแอมโมเนียในคอกสัตว์ปีก. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ผุสดี คำวงศ์ปิน. 2537. สมรรถภาพการผลิตไก่กระทงที่ได้รับอาหารที่เสริมด้วยซีโอไลท์ธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พันทิพา พงษ์เพียจันทร์. 2539. หลักการอาหารสัตว์ เล่ม 2 หลักโภชนศาสตร์และการประยุกต์. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

พันทิพา พงษ์เพียจันทร์. 2543. หลักการอาหารสัตว์ เล่ม 1 โภชนะ. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

พิมลทิพย์ จันทร์พานิชเจริญ. 2546. การใช้ต้นอ้อยหมักและต้นอ้อยสดเป็นแหล่งอาหารหยาบสำหรับโคนมในช่วงฤดูแล้ง. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

เพลิน เมินกระโทก. 2545. การนำใช้ประโยชน์ต้นอ้อยเป็นอาหารสำหรับโคนม. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

เมธา วรรณพัฒน์. 2533. โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

วิโรจน์ ภัทรจินดา. 2546. โคนม. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

วิศิษฐิพร สุขสมบัติ. 2542. เอกสารคำสอน รายวิชา 303 327. การผลิตโค (cattle production). สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

สุรชัย ชาครียรัตน์. 2541. การผลิตโค-กระบือ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เอกพล ศิริกุล. 2546. ผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรแม่พันธุ์ และสุกรรุ่น-สุกรขุน. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

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

Bolduan, G., M. Beck and C. Schubert. 1992. Influenc of adsorbent feed additive on weaned pigs. Nutr. Abstr. Rev (Series B) 62(7): 441. (Abstr.)

Chen X. B. 2003. The use of Excel for non-linear curve fitting in animal nutrition studies. International Feed Resources Unit, Macaulay Institute, Aberdeen, UK.

Cook, T. E., W. A. Cilley, A. C. Savitsky and B. H. Wiers. 1982. Zeolite A hydrolysis and degradation. Environ. Sci. Technol. 16: 344-350.

Goering, H. K. and P. J. Van Soest. 1970. Forage Fibre Analysis. A RS./USDA Agric. Handbook, Washington.

Ingram , D. R., R. J. Firmin, T. K. Hagedorn and M. D. Klemperer. 1991. Relationship of level of dietary sodium zeolite-A to water consumtion and fecal moisture of poultry. Poultry Sci. 70(Suppl. 1): 166. (Abstr.)

Lipstein, B. and S. Hurwitz. 1982. The effect of aluminosilicate on phosphorus availability in algae-containing diets. Poult. Sci. 61: 951-954.

Mertens. 1987. Predicting intake and digestibility using mathematical model of ruminal function. J. Anim. Sci. 64: 1548.

Nakaue and Koeliker, H. S. and J. K. Koeliker. 1981 Studies with clinoptilolite in poultry. I. Effect of feeding varying levels of clinoptilolite (zeolite) to dwarf single comb White Leghorn pullets and ammonia production. Poult. Sci. 60: 944-949.

National Research Council. 1980. Mineral Tolerance of Domestic Animals. National Academy Press, Washington, D. C. 577 p.

National Research Council. 2001. Nutrients Requirements of Dairy Cattle. 7th Ed. National Academy Press. Washington D. C. 340 p.

Ørskov, E. R. and I. McDonald. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. J. Agr. Sci. 92: 499-503.

Ørskov, E. R., F. N. Deb Hovell, and F. Mould. 1980. The use nylon bag technique for the evaluation of feedstuffs. Trop. Anim. Prod. 5: 195-213.

Poulsen, H. D. and Oksbierg. 1995. Effect of dietary inclusion of a zeolite (clinoptilolite) on performance and protein metabolism of young growing pigs. Anim. Feed. Sci. and Tech. 53: 279-303.

Statistical Analysis System. 1985. SAS User' Gude: Statistics. NC: SAS Institute.

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

Thomas, A. 2002. Nutrition and health. http://www.krist.unibe.ch/pdf/clinoptiotite /pdf.

Varian Australia Pty Ltd. 1989. Analytical Methods Flame Atomic Absorption Spectrometry. Musgrave Victoria Australia, Australia.

Vincent, H. V., I. M. Robibson and W. G. Pond. 1987. Effect of dietary copper sulfate, Aureo SP 250, or clinoptilolite on ureolytic bacteria found in the pig large intestine. Appl. Environ. Microbiot. 53(9): 2009-2012.

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การศึกษาผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่ออัตราการเจริญเติบโตและอัตราการผสมติดของโคนมในระยะโคสาวและผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อการให้ผลผลิตและองค์ประกอบน้ำนมของโคนมในระยะกลางของการให้นมรวมทั้งปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในมูลโดยใช้โคนมลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชียน (Crossbred Holstein Friesian) สรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารข้นที่ระดับ 3% ไม่มีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโต อัตราการผสมติดของโคสาวสูงขึ้น และไม่มีผลต่อวัตถุแห้ง เปอร์เซ็นต์ nitrogen และ phosphorus ในมูลของโคสาว โดยพบว่า องค์ประกอบทางเคมีของอาหารมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เปอร์เซ็นต์เถ้าในอาหารข้นกลุ่มทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุม เปอร์เซ็นต์แร่ธาตุ calcium, phosphorus, potassium, magnesium, sodium, copper, iron และ zinc ในอาหารไม่สูงขึ้น เช่น เดียวกับปริมาณการกินได้วัตถุแห้ง โปรตีน และพลังงาน ความต้องการโปรตีนทั้งหมด, RDP และ RUP ความต้องการพลังงานและประสิทธิภาพของการใช้พลังงาน ส่วนปริมาณการกินได้แร่ธาตุโคสาวกลุ่มที่ได้รับแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟมากกลุ่มควบคุม ยกเว้น magnesium แต่ก็ไม่ทำให้ปริมาณแร่ธาตุ calcium, phosphorus, potassium, magnesium, sodium, copper, iron และ zinc ในพลาสมาสูงขึ้น

2. การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารข้นที่ระดับ 3% ไม่มีผลทำให้ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนมสูงขึ้น แต่มีผลทำให้วัตถุแห้งของมูลโคนมสูงขึ้น และพบว่าไม่มีผลทำให้ปริมาณ nitrogen และ phosphorus ในมูลลดลง โดยพบว่า องค์ประกอบทางเคมีของอาหารมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เปอร์เซ็นต์เถ้าในอาหารข้นกลุ่มทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุม แต่ไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้วัตถุแห้ง โปรตีน และพลังงาน เปอร์เซ็นต์ iron ในอาหารสูงขึ้น แต่เปอร์เซ็นต์แร่ธาตุอื่นๆ ไม่ได้สูงขึ้น อย่างไรก็ตามมีผลให้ปริมาณการกินได้ calcium, phosphorus, potassium, magnesium, sodium, copper, iron และ zinc สูงขึ้น ปริมาณการกินได้แร่ธาตุที่เพิ่มขึ้น ไม่ทำให้ปริมาณแร่ธาตุ calcium, phosphorus, potassium, magnesium, sodium, copper และ zinc ในพลาสมาเพิ่มขึ้นทั้งนี้น่าจะเกิดจากแร่ธาตุไม่ถูกดูดซึม เนื่องจากอยู่ในรูปหรือสภาวะที่ไม่สามารถดูดซึมได้ แต่ iron ในพลาสมาสูงขึ้นกลับพบว่ามีค่าสูงขึ้น การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ

ในอาหารข้นที่ระดับ 3% ไม่มีผลต่อความต้องการโปรตีนทั้งหมด และความต้องการ RUP แต่มีผลให้ความต้องการ RDP สูงขึ้น สำหรับพลังงานพบว่ามีความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตลดลง แต่ไม่มีผลต่อความต้องการพลังงานและประสิทธิภาพของการใช้พลังงาน

ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากทั้งในโคสาวและโคนมไม่ตอบสนองต่อการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3% ของอาหารข้น ในแง่ของผลผลิตคือ อัตราการเจริญเติบโต อัตราการผสมติด ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนม ซึ่งเกิดจากแร่ธาตุที่สำคัญโดยส่วนใหญ่ไม่ถูกดูดซึม ทั้งนี้หากหวังผลให้แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟเป็นแหล่งของแร่ธาตุในอาหารโคนม การทดลองครั้งต่อไปอาจพิจารณาเพิ่มระดับการเสริมขึ้น เช่น ที่ระดับ 5, 7 และ 10% เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟเป็นสารประเภท aluminosilicate ที่มีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนประจุ ดังนั้นควรศึกษาถึงผลกระทบต่อแร่ธาตุ และสารประกอบอื่นๆ ในระบบทางเดินอาหารด้วย

2. จากคุณสมบัติการดูดซับแอมโมเนีย ควรศึกษาถึงระดับของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อการดูดซับแอมโมเนียที่เกิดในกระเพาะรูเมน และอัตราการปลดปล่อยแอมโมเนียที่เหมาะสมเพื่อให้จุลินทรีย์ใช้ประโยชน์จากแอมโมเนียได้สูงสุด รวมทั้งการควบคุมความเป็นพิษของแอมโมเนียที่เกิดขึ้น ในกรณีต่างๆ เช่น การให้อาหารที่มีโปรตีนที่ย่อยสลายง่าย และ NPN ระดับสูง

3. การศึกษาผลของการลด nitrogen ในมูล เพื่อลดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมนั้น หากศึกษาจากระดับแอมโมเนียไนโตรเจนในมูลน่าจะให้ผลที่แน่นอนกว่าการศึกษาจากระดับของ nitrogen ในมูล ทั้งนี้เนื่องจากการวิเคราะห์ nitrogen ด้วย Kjeltec auto analyzer นั้นมักเกิดความคลาดเคลื่อนจากกระบวนการต่างๆ เช่น ในระหว่างการแช่เก็บมูลอาจเกิดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ รวมทั้งการขั้นตอนในวิเคราะห์ nitrogen

4. การศึกษาผลของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อผลผลิตและองค์ประกอบของน้ำนมนั้น หากศึกษาในโคนมระยะใกล้คลอดตลอดจนโคนมระยะต้นของการให้นม อาจแสดงผลได้ชัดเจนขึ้น เพราะเป็นช่วงที่โคนมมีความต้องการแร่ธาตุสูง เพื่อการเจริญเติบโตของลูกโคและการสร้างน้ำนม

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์แร่ธาตุด้วยวิธี Atomic Absorption

การวิเคราะห์แร่ธาตุด้วยวิธี Atomic Absorption

ปัจจุบันนี้การวิเคราะห์แร่ธาตุ (elemental analysis) โดยเฉพาะพวกแร่ธาตุรอง (trace element) นั้นได้หันมานิยมใช้วิธี atomic absorption วิเคราะห์กันมาก ทั้งนี้เนื่องจากเครื่องมือนี้สามารถวิเคราะห์แร่ธาตุได้เกือบทุกชนิด (ยกเว้นแร่ธาตุบางตัวเท่านั้น) ไม่เสียเวลามากในการเตรียมตัวอย่างในการวิเคราะห์และนอกจากนั้นยังสามารถวิเคราะห์หาแร่ธาตุที่มีอยู่ในปริมาณน้อยๆ ในตัวอย่างที่วิเคราะห์ได้ หลักการของการวิเคราะห์ atomic absorption นั้นเกี่ยวกับการดูดแสง (absorption of light) โดยอะตอม ซึ่งอะตอมทุกตัวของแร่ธาตุต่างๆ นั้นสามารถที่จะดูดแสงได้ที่ wavelengths ต่างๆ กันตามพลังงานที่อะตอมของธาตุแต่ละชนิดต้องการ ยกตัวอย่างเช่น โซเดียมซึ่งสามารถดูดแสงได้สูงสุดที่ 589.0 μm เมื่อให้พลังงานแก่อะตอมตามต้องการมันจะเปลี่ยนอะตอมจาก “ground state” มาเป็น “excited state” ที่ดูดแสงได้ ดังนั้นจากการ transition ระหว่างความแตกต่างของ electronic energy state ที่แตกต่างกันและ wavelength ที่ดูดแสงได้สูงสุดของแร่ธาตุของอะตอมแต่ละตัวแตกต่างกันนี้สามารถที่จะวิเคราะห์หาปริมาณของอะตอมของแต่ละธาตุได้ ความสัมพันธ์ระหว่าง atomic absorption และ atomic concentration นั้นสามารถที่จะเขียนสมการได้ตาม the bur – lambert law (the fundamental laws of light absorption) ได้ดังนี้

$$Pt = Poc^{-(abc)}$$

$$\text{Log10} = \frac{Po}{Pt} = abc = \text{absorbance (A)}$$

Po = incident radiation power

Pt = Transmitted radiation power

a = absorbance coefficient

b = length of absorbance path

c = concentration of absorbance atom

จากสมการนี้พบว่าค่าของ “absorbance” นั่นคือ ปริมาณของแสงที่ถูก absorbed โดยอะตอมภายใต้สภาวะที่ต้องการของแร่ธาตุของอะตอมนั้นๆ และสามารถที่จะเปลี่ยนค่า absorbance ให้เป็นความเข้มข้น (concentration) ของแร่ธาตุที่ทำการวิเคราะห์ได้ ดังนั้นเมื่อเอา standard solution ที่ทราบความเข้มข้นของแร่ธาตุที่ต้องการวิเคราะห์มาวัดค่า absorbance แล้ว

เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ก็สามารถที่จะคำนวณหาปริมาณของแร่ธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ได้

1. การเตรียมตัวอย่างอาหาร โดยวิธี Wet digestion

1.1 ตัวอย่างอาหารที่จะนำมาวิเคราะห์ต้องผ่านการบดอย่างละเอียดอย่างน้อยให้ผ่านตะแกรง 20 mesh ชั่งอาหารประมาณ 0.5 กรัม ใส่ลงไปใน volumetric flask 100 ml. เติม HNO_3 เข้มข้น 5 ml. และหมุน flask ให้ตัวอย่างที่อยู่ใน flask เปียก นำไป digest บน hot plate ซึ่งเปิดไว้ที่อุณหภูมิต่ำ (low heat) หลังจากนั้น 5 นาทีค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิของ hot plate ให้มีความร้อนปานกลาง (medium heat) ทำการ digest จนกระทั่งไม่มีควันสีน้ำตาลเกิดขึ้น ซึ่งใช้เวลาประมาณ 30 นาที

1.2 ยก volumetric flask ลงจาก hot plate แล้วตั้งทิ้งไว้จนเย็นแล้วเติม $HClO_4$ เข้มข้น 1 ml. แล้วนำไป digest บน hot plate อีกโดยใช้อุณหภูมิร้อนปานกลาง ทำการ digest จนกระทั่งสารละลายใน flask สีใส (clear) และมีควันสีขาวเกิดขึ้นและระเหยไปเสียส่วนใหญ่ ตั้งไว้ให้เย็นแล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 ml.

1.3 สารละลายนี้ได้จากการ digestion ด้วยวิธีที่สามารถนำไปวิเคราะห์หา Ca, P, Mg, Na, K, Cu, Fe และ Zn ได้ (dilution factor = 100)

2. การเตรียมตัวอย่าง plasma

การเตรียม blood sample สำหรับวิเคราะห์ Cu, Fe, Mg, Zn, Na, K, P, และ Ca pipet 1 ml. blood plasma แล้วละลายด้วยน้ำกลั่นกำจัดไอออน (deionize water) จนได้ปริมาตร 50 ml. (dilution factor = 50)

3. วิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐาน

3.1 วิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐาน Calcium

3.1.1 การเตรียม stock standard solution (1,000 µg/ml.)

ใช้ $CaCl_2$ (M.W. = 110.99, 97.8% purity, Ca = 40.08) นำ $CaCl_2$ ไปอบที่อุณหภูมิ 100 ºC เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำให้เย็นในตู้ดูดความชื้นแล้วชั่ง $CaCl_2$ จำนวน 2.8316 g แล้วละลายด้วย 5N HCl 120 ml. ผสมน้ำกลั่นกำจัดไอออน 880 ml. สารละลายที่ได้มี Ca = 1,000 µg/ml.

stock lanthanum solution ใช้ lanthanum oxide (La_2O_3)(1% lanthanum in 5% (v/v) HCl) โดยชั่ง Lanthanum Oxide 11.73 g ทำให้เปียกด้วย deionize water 20 ml. แล้ว

ค่อยๆ เติม HCl เข้มข้น 50 ml. พร้อมกับคนให้ละลายแล้วเติม deionize water จนได้ปริมาตร 1,000 ml.

3.1.2 การเตรียม standard solution (working standard 0.3-3 µg/ml.)

ดูดสารละลาย stock standard solution 10 ml. แล้วละลายให้ได้ปริมาตร 100 ml. ด้วย deionize water

ตารางที่ 1 ก. การเตรียมสารละลายมาตรฐาน Calcium

stock solution (ml.)	stock La_2O_2 (ml.)	Ca (µg/ml.)
10	90	10
8	92	8
6	94	6
4	96	4
2	98	2
1	99	1
0	100	0

3.2 วิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐาน Phosphorus

3.2.1 การเตรียม stock standard solution (1,000 µg/ml.)

ใช้ KH_4PO_4 นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 ºC เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำให้เย็นในตู้ดูดความชื้น ชั่ง KH_4PO_4 0.4394 g ละลายใน deionize water ปรับปริมาตรให้ได้ 1,000 ml. สารละลายที่ได้มี P = 1,000 µg/ml.

3.2.2 การเตรียม standard solution

ดูดสารละลาย stock standard solution 10 ml. ปรับปริมาตรให้ได้ 100 ml. ด้วย deionize water สารละลายที่ได้มี P = 100 µg/ml.

ตารางที่ 2 ก. การเตรียมสารละลายมาตรฐาน Phosphorus

stock solution (ml.)	ammonium molydate (ml.)	hydroquinone (ml.)	Na_2SO_3 (ml.)	deionize water (ml.)	P (µg/ml.)
0.00	1	1	1	7.00	0.00
0.02	1	1	1	6.98	0.02
0.04	1	1	1	6.96	0.04
0.06	1	1	1	6.94	0.06
0.08	1	1	1	6.92	0.08
0.10	1	1	1	6.90	0.10

การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสสามารถวิเคราะห์ด้วยเครื่อง spectrophotometer โดยใช้ความยาวคลื่นช่วง 400-600 nm.

3.3 วิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐาน Magnesium

3.3.1 การเตรียม stock standard solution (1,000µg/ml.)

ชั่ง pure Mg metal 1.0 g ละลายในน้ำกลั่น 50 ml. ค่อยๆ เทกรด HCl ลงไป 10 ml. แล้วละลายให้ได้ปริมาตร 1,000 ml. ด้วย deionize water (หรือใช้ $MgCl_2$ 2.4588 g แทน pure Mg metal ได้) สารละลายที่ได้มี Mg = 1,000 µg/ml.

3.3.2 การเตรียม standard solution

ดูดสารละลาย stock standard solution 10 ml. แล้วละลายให้ได้ปริมาตร 100 ml. ด้วย dil HCl (10:1,000) สารละลายที่ได้มี Mg 100 µg/ml.

ตารางที่ 3 ก. การเตรียมสารละลายมาตรฐาน Magnesium

stock sulotion	Dil HCl (10:1,000)	Mg (µg/ml.)
3.0	97.0	3.0
2.5	97.5	2.5
2.0	98.0	2.0
1.5	98.5	1.5
1.0	99.0	1.0
0.5	99.5	0.5
0.0	100.0	0.0

3.4 วิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐาน Potassium

3.4.1 การเตรียม stock standard solution (1,000 µg/ml.)

ใช้ KCl ชนิด AR grade (M.W. 74.55, 99.8% purity, K = 39.10) นำ KCl ไปอบที่อุณหภูมิ 100 ºC เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำให้เย็นในตู้ดูดความชื้นแล้วชั่ง KCl 1.9105 g ละลายใน deionize water ให้ได้ปริมาตร 1,000 ml. สารละลายที่ได้มี K = 1,000 µg/ml.

3.4.2 การเตรียม standard solution

ดูดสารละลาย stock standard solution 10 ml. แล้วละลายให้ได้ปริมาตร 100 ml. ด้วย deionize water สารละลายที่ได้มี K = 100 µg/ml.

ตารางที่ 4 ก. การเตรียมสารละลายมาตรฐาน Potassium

stock sulotion	deionize water (ml.)	K (µg/ml.)
6	94	6
4	96	4
2	98	2
1	99	1
0	100	0

3.5 วิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐาน Sodium

3.5.1 การเตรียม stock standard solution (1,000 µg/ml.)

ใช้ NaCl (M.W. = 58.44, 99.9% purity, Na = 22.99) นำ NaCl ไปอบที่อุณหภูมิ 100 ºC เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำให้เย็นในตู้ดูดความชื้นแล้วชั่ง NaCl จำนวน 2.5445 g ละลายใน deionize water ให้ได้ปริมาตร 1,000 ml. สารละลายที่ได้จะมี Na = 1,000 µg/ml.

3.5.2 การเตรียม standard solution (Working standard 0.3-3 µg/ml.)

ดูดสารละลาย stock standard solution 10 ml. แล้วละลายให้ได้ปริมาตร 100 ml. ด้วย deionize water

ตารางที่ 5 ก. การเตรียมสารละลายมาตรฐาน Sodium

stock solution (ml.)	deionize water (ml.)	Na (µg/ml.)
4.0	96.0	4.0
3.0	97.0	3.0
2.0	98.0	2.0
1.0	99.0	1.0
0.5	99.5	0.5
0.0	100.0	0.0

3.6 วิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐาน Copper

3.6.1 การเตรียม stock standard solution (1,000 µg/ml.)

ใช้ $CuSO_4.5H_2O$ (98.5% purity, M.W. 249.69, Cu = 63.54) นำ $CuSO_4.5H_2O$ ไปอบที่อุณหภูมิ 100 ºC เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำให้เย็นในตู้ดูดความชื้น แล้วชั่ง $CuSO_4.5H_2O$ จำนวน 3.9895 g แล้วละลายด้วย deionize water ให้ได้ปริมาตร 1,000 ml. สารละลายที่ได้มี Cu = 1,000 µg/ml.

3.6.2 วิธีทำ standard solution

ดูดสารละลาย stock standard solution 10 ml. แล้วละลายให้เป็น 100 ml. ด้วย deionize water (Standard ประกอบด้วย 3% $HClO_4$)

ตารางที่ 6 ก. การเตรียมสารละลายมาตรฐาน Copper

stock solution (ml.)	5N HCl (ml.)	$HClO_4$ (ml.)	deionize water (ml.)	Cu (µg/ml
4	12	3	81	4
3	12	3	82	3
2	12	3	83	2
1	12	3	84	1
0	12	3	85	0

3.7 วิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐาน Iron

3.7.1 การเตรียม stock standard solution (1,000 µg/ml.)

ชั่ง pure Fe wire 1 g ละลายใน 30 ml. 6N HCl แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1,000 ml. ด้วย deionize water (หรือใช้ $Fe(NO_3)_3$ 4.3303 g ละลายใน 0.2N HNO_3 ได้) สารละลายที่ได้มี Fe 1,000 µg/ml.

3.7.2 การเตรียม standard solution

ดูดสารละลาย stock standard solution 10 ml. แล้วละลายให้เป็น 1,000 ml. ด้วย deioniz water

ตารางที่ 7 ก. การเตรียมสารละลายมาตรฐาน Iron

stock solution (ml.)	deionize water(ml.)	Fe (µg/ml.)
14	86	14
12	88	12
10	90	10
8	92	8
6	94	6
4	96	4
2	98	2
0	100	0

3.8 วิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐาน Zinc

3.8.1 การเตรียม stock standard solution (1,000 µg/ml.)

ละลาย pure Zn metal 1.0 g ใน 10 ml. 6N HCl แล้วละลายให้ได้ปริมาตร 1,000 ml. ด้วย deionize water (หรือใช้ $ZnCl_2$ 1.5423 g แทน pure Zn metal ได้) สารละลายที่ได้มี Zn = 1,000 µg/ml.

3.8.2 การเตรียม standard solution

ดูดสารละลาย stock standard solution 10 ml. แล้วละลายให้ได้ปริมาตร 100 ml.

ตารางที่ 8 ก. การเตรียมสารละลายมาตรฐาน Zinc

Stock solution (ml.)	10% HCl (ml.)	Zn (µg/ml.)
3.0	97.0	3.0
2.5	97.5	2.5
2.0	98.0	2.0
1.5	98.5	1.5
1.0	99.0	1.0
0.5	99.5	0.5
0.0	100.0	0.0

ตารางที่ 9 ก. แสดงค่า molar conversion factor ในการปรับเปลี่ยนหน่วย

ธาตุ	เปลี่ยนจาก	คูณ factor	เป็น
Calcium	mg/100 ml	0.2495	mmol/liter
Copper	ppm	15.74	µmol/liter
	µg/100 ml	0.1574	µmol/liter
Iron	µg/100 ml	0.1791	µmol/liter
Magnesium	mg/100 ml	0.4114	mmol/liter
Phosphorus	mg/100 ml	0.3229	mmol/liter
Potassium	mEq/liter	1.00	mmol/liter
	mg/100 ml	0.2558	mmol/liter
Sodium	mEq/liter	1.00	mmol/liter
	mg/100 ml	0.4350	mmol/liter
Zinc	ppm	15.30	µmol/liter
	µg/100 ml	0.1530	µmol/liter

ภาคผนวก ข

การประเมินพลังงานและโปรตีน

1. การประเมินพลังงานในอาหารตามสมการ NRC (2001)

พลังงานจาก NFC

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

tdNFC (ฟางข้าวราดกากน้ำตาล) = 0.98 x (100-[72.91+3.10+1.51+15.93]) x 1 = 6.42

tdNFC (ข้าวโพดหมัก) = 0.98 x (100-[40.72+9.91+1.39+12.81]) x 1 = 34.47

tdNFC (อาหารข้นโคสาวกลุ่มควบคุม) = 0.98 x (100-[32.35+16.17+4.59+6.95]) x 1 = 39.14

tdNFC (อาหารข้นโคสาวกลุ่มทดลอง) = 0.98 x (100-[30.72+16.10+4.73+9.03]) x 1 = 38.63

tdNFC (อาหารข้นโคนมกลุ่มควบคุม) = 0.98 x (100-[22.49+21.35+4.11+7.96]) x 1 = 43.21

tdNFC (อาหารข้นโคนมกลุ่มทดลอง) = 0.98 x (100-[25.11+21.13+4.15+8.39]) x 1 = 40.40

พลังงานจากโปรตีน

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

$tdCP_f$ (ฟางข้าวราดกากน้ำตาล) = 3.10 x $\exp^{[-1.2 \times (0.57/3.10)]}$ = 2.49

$tdCP_f$ (ข้าวโพดหมัก) = 9.91 x $\exp^{[-1.2 \times (9.25/9.91)]}$ = 3.23

$tdCP_c$ (อาหารข้น) = CP x [1 - (0.4 x (ADICP/CP))]

$tdCP_c$ (อาหารข้นโคสาวกลุ่มควบคุม) = 16.17 x [1 - (0.4 x (2.50/16.17))] = 15.17

$tdCP_c$ (อาหารข้นโคสาวกลุ่มทดลอง) = 16.10 x [1 - (0.4 x (2.44/16.10))] = 15.12

$tdCP_c$ (อาหารข้นโคนมกลุ่มควบคุม) = 21.35 x [1 - (0.4 x (4.42/21.35))] = 19.58

$tdCP_c$ (อาหารข้นโคนมกลุ่มทดลอง) = 21.13 x [1 - (0.4 x (4.35/21.13))] = 19.39

พลังงานจากไขมัน

FA = EE - 1.0

tdFA = FA Note: If EE < 1, then FA = 0

tdFA (ฟางข้าวราดกากน้ำตาล) = 1.51-1 = 0.51

tdFA (ข้าวโพดหมัก) = 1.39-1 = 0.39

tdFA (อาหารข้นโคสาวกลุ่มควบคุม) = 4.59-1 = 3.59

tdFA (อาหารข้นโคสาวกลุ่มทดลอง) = 4.73-1 = 3.73

tdFA (อาหารข้นโคนมกลุ่มควบคุม) = 4.11-1 = 3.11

tdFA (อาหารข้นโคนมกลุ่มทดลอง) = 4.15-1 = 3.15

พลังงานจาก NDF

tdNDF = $0.75 \times (NDF_N - Lignin) \times [1 - (Lignin/NDF_N)^{0.667}]$

tdNDF (ฟางข้าวราดกากน้ำตาล) = $0.75 \times (72.91 - 6.96) \times [1-(6.96/72.91)^{0.667}] = 39.14$

tdNDF (ข้าวโพดหมัก) = $0.75 \times (40.72 - 4.92) \times [1-(4.92/40.72)^{0.667}] = 20.29$

tdNDF (อาหารข้นโคสาวกลุ่มควบคุม) = $0.75 \times (32.35 - 4.14) \times [1-(4.14/32.35)^{0.667}] = 15.79$

tdNDF (อาหารข้นโคสาวกลุ่มทดลอง) = $0.75 \times (30.72 - 4.53) \times [1-(4.53/30.72)^{0.667}] = 14.16$

tdNDF (อาหารข้นโคนมกลุ่มควบคุม) = $0.75 \times (22.49 - 3.10) \times [1-(3.10/22.49)^{0.667}] = 10.66$

tdNDF (อาหารข้นโคนมกลุ่มทดลอง) = $0.75 \times (3.92 - 25.11) \times [1-(3.92/25.11)^{0.667}] = 11.29$

พลังงานโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด

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

TDN_{1X} (%) (ฟางข้าวราดกากน้ำตาล) = 6.42 + 2.49 + (0.51 x 2.25) + 39.14 - 7 = 42.20

TDN_{1X} (%) (ข้าวโพดหมัก) = 34.47 + 3.23 + (0.39 x 2.25) + 20.29 - 7 = 51.87

TDN_{1X} (%) (อาหารข้นโคสาวกลุ่มควบคุม)= 39.14 + 15.17 +(3.59 x 2.25) + 15.79 - 7 = 71.18

TDN_{1X} (%) (อาหารข้นโคสาวกลุ่มทดลอง)= 38.63 + 15.12 + (3.73 x 2.25) + 14.16 - 7 = 69.30

TDN_{1X} (%) (อาหารข้นโคนมกลุ่มควบคุม) = 43.21 + 19.58 + (3.11 x 2.25) + 10.66 - 7 = 73.45

TDN_{1X} (%) (อาหารข้นโคนมกลุ่มทดลอง) = 40.40 + 19.39 + (3.15 x 2.25) + 11.29 - 7 = 71.17

พลังงานสุทธิ (NE_{Lp}) คำนวณได้ดังนี้

จาก $TDN (\%)_{Actual}$ = $TDN (\%)_{1X}$ x discount

$TDN (\%)_{Actual}$ (ฟางข้าวราดกากน้ำตาล) = 42.20 x 1 = 42.20 %

$TDN (\%)_{Actual}$ (ข้าวโพดหมัก) = 51.87 x 1 = 51.87 %

$TDN (\%)_{Actual}$ (อาหารข้นโคสาวกลุ่มควบคุม) = 71.18 x 1 = 71.18 %

$TDN (\%)_{Actual}$ (อาหารข้นโคสาวกลุ่มทดลอง) = 69.30 x 1 = 69.30 %

$TDN (\%)_{Actual}$ (อาหารข้นโคนมกลุ่มควบคุม) = 73.45 x 1 = 73.45 %

$TDN (\%)_{Actual}$ (อาหารข้นโคนมกลุ่มทดลอง) = 71.17 x 1 = 71.17 %

DE_{1X} (Mcal/kg) = 0.04409 x $TDN_{(\%)\ Actual}$

DE_{1X} (ฟางข้าวราดกากน้ำตาล) = 0.04409 x 42.20 = 1.87 Mcal/kg

DE_{1X} (ข้าวโพดหมัก) = 0.04409 x 51.87 = 2.29 Mcal/kg

DE_{1X} (อาหารข้นโคสาวกลุ่มควบคุม) = 0.04409 x 71.18 = 3.14 Mcal/kg

DE_{1X} (อาหารข้นโคสาวกลุ่มทดลอง) = 0.04409 x 69.30 = 3.06 Mcal/kg

DE_{1X} (อาหารข้นโคนมกลุ่มควบคุม) = 0.04409 x 73.45 = 3.24 Mcal/kg

DE_{1X} (อาหารข้นโคนมกลุ่มทดลอง) = 0.04409 x 71.17 = 3.14 Mcal/kg

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

Discount (ฟางข้าวราดกากน้ำตาล) = [42.40-([(0.18 x 42.40) – 10.3] x 2)] /42.40 = 1.13

Discount (ข้าวโพดหมัก) = [51.87-([(0.18 x 51.87) – 10.3] x 2)] /51.87 = 1.04

Discount (อาหารข้นโคสาวกลุ่มควบคุม) = [71.18 - ([(0.18 x 71.18) - 10.3] x 2)]/71.18 = 0.93

Discount (อาหารข้นโคสาวกลุ่มทดลอง) = [69.30 - ([(0.18 x 69.30) - 10.3] x 2)]/69.30 = 0.94

Discount (อาหารข้นโคนมกลุ่มควบคุม) = [73.45 - ([(0.18 x 73.45) - 10.3] x 2)]/73.45 = 0.92

Discount (อาหารข้นโคนมกลุ่มควบคุม) = [71.17 - ([(0.18 x 71.17) - 10.3] x 2)]/71.17 = 0.93

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

DE_P (ฟางข้าวราดกากน้ำตาล) = 1.87 x 1.13 = 2.11 Mcal/kg

DE_P (ข้าวโพดหมัก) = 2.29 x 1.04 = 2.38 Mcal/kg

DE_P (อาหารข้นโคสาวกลุ่มควบคุม) = 3.14 x 0.93 = 2.92 Mcal/kg

DE_P (อาหารข้นโคสาวกลุ่มทดลอง) = 3.06 x 0.94 = 2.88 Mcal/kg

DE_P (อาหารข้นโคนมกลุ่มควบคุม) = 3.24 x 0.92 = 2.98 Mcal/kg

DE_P (อาหารข้นโคนมกลุ่มทดลอง) = 3.14 x 0.93 = 2.92 Mcal/kg

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

ME_P (ฟางข้าวราดกากน้ำตาล) = [(1.01x0)-0.45]+[0.0046 x (1.51-3)] = 0.44 Mcal/kg

ME_P (ข้าวโพดหมัก) = [(1.01x0)-0.45]+[0.0046 x (1.39-3)] = 1.95 Mcal/kg

ME_P(อาหารข้นโคสาวกลุ่มควบคุม) = [(1.01x2.92)-0.45]+[0.0046 x (4.59-3)] = 2.51 Mcal/kg

ME_P(อาหารข้นโคสาวกลุ่มทดลอง) = [(1.01x2.88)-0.45]+[0.0046 x (4.73-3)] = 2.47 Mcal/kg

ME_P (อาหารข้นโคนมกลุ่มควบคุม) = [(1.01x2.98)-0.45]+[0.0046 x (4.11-3)] = 2.56 Mcal/kg

ME_P (อาหารข้นโคนมกลุ่มทดลอง) = [(1.01x2.92)-0.45]+[0.0046 x (4.15-3)] = 2.50 Mcal/kg

ดังนั้น

$$\mathbf{NE_{Lp}(Mcal/kg) = [(0.703 \times ME_P) - 0.19] + [((0.0097 \times ME_P) + 0.19)/97) \times (EE - 3)]}$$

NE_{Lp} (ฟางข้าวราดกากน้ำตาล)

= [(0.703 x 1.67) – 0.19] + [((0.0097 x 1.67) + 0.19)/97] x (1.51 - 3)]

= 0.98 Mcal/kg

NE_{Lp} (ข้าวโพดหมัก)

= [(0.703 x 1.95) – 0.19] + [((0.0097 x 1.95) + 0.19)/97) x (1.39 - 3)]

= 1.18 Mcal/kg

NE_{Lp} (อาหารข้นโคสาวกลุ่มควบคุม)

= [(0.703 x 2.51) – 0.19] + [((0.0097 x 2.51) + 0.19)/97) x (4.59 - 3)]

= 1.57 Mcal/kg

NE_{Lp} (อาหารข้นโคสาวกลุ่มทดลอง)

= [(0.703 x 2.47) – 0.19] + [((0.0097 x 2.47) + 0.19)/97) x (4.73 - 3)]

= 1.55 Mcal/kg

NE_{Lp} (อาหารข้นโคนมกลุ่มควบคุม)

= [(0.703 x 2.56) – 0.19] + [((0.0097 x 2.56) + 0.19)/97) x (4.11 - 3)]

= 1.61 Mcal/kg

NE_{Lp} (อาหารข้นโคนมกลุ่มทดลอง)

= [(0.703 x 2.50) – 0.19] + [((0.0097 x 2.50) + 0.19)/97) x (4.15 - 3)]

= 1.57 Mcal/kg

ตารางที่ 1 ข. แสดงการจำแนกประเภทของพลังงานโดยการคำนวณจากสมการของ NRC (2001) ในอาหารข้นโคสาวและอาหารหยาบที่ใช้ในการทดลอง (Mcal/kgDM)

ประเภทของพลังงาน	อาหารข้น 16 %CP กลุ่มควบคุม	อาหารข้น 16 %CP กลุ่มทดลอง	ฟางข้าว + กากน้ำตาล
พลังงาน TDN_{1x} (%)	71.18 ± 0.55	69.30 ± 0.04	42.20 ± 2.50
พลังงานย่อยได้ DE_p	2.92 ± 0.02	2.88 ± 0.00	2.11 ± 0.07
พลังงานใช้ประโยชน์ได้ ME_p	2.51 ± 0.02	2.47 ± 0.00	1.67 ± 0.07
พลังงานสุทธิ NE_p	1.57 ± 0.01	1.55 ± 0.00	0.98 ± 0.05

หมายเหตุ แสดงค่าในรูป mean ± SE

ตารางที่ 2 ข. แสดงการจำแนกประเภทของพลังงานโดยการคำนวณจากสมการของ NRC (2001) ในอาหารข้นโคนมและอาหารหยาบที่ใช้ในการทดลอง (Mcal/kgDM)

ประเภทของพลังงาน	อาหารข้น 21 %CP กลุ่มควบคุม	อาหารข้น 21 %CP กลุ่มทดลอง	ข้าวโพดหมัก
พลังงาน TDN1x (%)	73.41± 0.04	71.17 ± 0.01	51.87 ± 0.28
พลังงานย่อยได้ DE_p	2.98 ± 0.00	2.92 ± 0.00	2.38 ± 0.01
พลังงานใช้ประโยชน์ได้ ME_p	2.56 ± 0.00	2.50 ± 0.00	1.95 ± 0.01
พลังงานสุทธิ NE_p	1.61 ± 0.00	1.57 ± 0.00	1.18 ± 0.01

หมายเหตุ แสดงค่าในรูป mean ± SE

2. การประเมินโปรตีนในอาหารโดยการย่อยสลายของไนโตรเจนในกระเพาะหมัก

โดยอาหารหยาบ (ฟางข้าวราดกากน้ำตาล, ข้าวโพดหมัก) มีระยะเวลาการแช่อยู่ในกระเพาะหมัก 0, 4, 8, 12, 24, 48 และ 72 ชั่วโมง อาหารข้นกลุ่มควบคุม และอาหารข้นกลุ่มทดลองเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารข้นที่ระดับ 3% มีระยะเวลาการแช่อยู่ในกระเพาะหมัก 0, 4, 8, 12, 24 และ 48 ชั่วโมงโดยแต่ละตัวอย่างทำ 3 ซ้ำ ใช้โคเจาะกระเพาะ 3 ตัว และให้ถุงที่จุ่มแช่ในโคแต่ละตัวเป็น 1 ซ้ำ คำนวณค่าสัดส่วนโปรตีนที่สูญหายไปในระยะเวลาต่างๆ ตามสมการของ Ørskov and Mehrez.(1977) และคำนวณค่าปริมาณการย่อยสลายของโปรตีน ที่ทิ้งไว้ในช่วงระยะเวลาต่างๆ มาคำนวณอัตราการย่อยสลายในกระเพาะหมัก โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป NEWAY EXCEL ตามสมการของ Chen (2003) เมื่อคำนวณได้ค่า *dg* แล้วนำไปประมาณค่าโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (rumen degradable protein, RDP) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (rumen undegradable protein, RUP)

ตารางที่ 3 ข. แสดงการย่อยสลายได้วัตถุแห้ง และอัตราการย่อยสลายได้วัตถุแห้งของอาหารข้น 16%CP กลุ่มควบคุม กลุ่มทดลองเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ 3% และฟางข้าวราดกากน้ำตาลเป็นแหล่งอาหารหยาบ

ระยะเวลาการบ่มแช่ในกระเพาะหมัก	การย่อยสลายวัตถุแห้ง (%)		
	อาหารข้น 16 %CP กลุ่มควบคุม	อาหารข้น 16 %CP กลุ่มทดลอง	ฟางข้าว + กากน้ำตาล
0 ชั่วโมง	53.78 ± 1.54	53.29 ± 1.55	21.21 ± 0.36
4 ชั่วโมง	60.47 ± 0.09	60.59 ± 0.48	23.04 ± 0.45
8 ชั่วโมง	62.74 ± 1.39	64.29 ± 0.22	26.92 ± 2.57
12 ชั่วโมง	66.71 ± 2.67	67.14 ± 1.52	26.50 ± 1.27
24 ชั่วโมง	72.99 ± 1.74	70.06 ± 2.14	34.54 ± 1.16
48 ชั่วโมง	87.82 ± 0.34	80.54 ± 1.29	50.66 ± 2.41
72 ชั่วโมง	-	-	57.49 ± 1.25
*dg*DM[1/]	57.32	55.57	26.68

หมายเหตุ แสดงค่าในรูป mean ± SE, [1/] Effective degradability of DM

ตารางที่ 4 ข. ตารางแสดงการย่อยสลายได้โปรตีน และอัตราการย่อยสลายได้โปรตีนของอาหารข้น 16%CP กลุ่มควบคุม กลุ่มทดลองเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ 3% และฟางข้าวราดกากน้ำตาลเป็นแหล่งอาหารหยาบ

ระยะเวลาการบ่มแช่ในกระเพาะหมัก	การย่อยสลายโปรตีน (%)		
	อาหารข้น 16 %CP กลุ่มควบคุม	อาหารข้น 16 %CP กลุ่มทดลอง	ฟางข้าว + กากน้ำตาล
0 ชั่วโมง	67.22 ± 0.67	66.62 ± 0.11	23.52 ± 0.46
4 ชั่วโมง	74.08 ± 0.16	74.20 ± 0.22	26.73 ± 1.05
8 ชั่วโมง	72.82 ± 0.58	74.69 ± 0.13	35.23 ± 0.10
12 ชั่วโมง	78.31 ± 0.20	78.71 ± 0.29	37.05 ± 0.60
24 ชั่วโมง	86.67 ± 0.17	79.71 ± 0.14	47.81 ± 0.81
48 ชั่วโมง	94.60 ± 0.06	94.43 ± 0.14	71.37 ± 0.42
72 ชั่วโมง	-	-	94.72 ± 0.51
*dg*CP[1/]	69.34	68.62	37.26

หมายเหตุ แสดงค่าในรูป mean ± SE, [1/] Effective degradability of CP

ตารางที่ 5 ข. แสดงเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายวัตถุแห้งและการย่อยสลายโปรตีนของอาหารข้น 16%CP กลุ่มควบคุม กลุ่มทดลองเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ 3% และฟางข้าวราดกากน้ำตาล

Disappearance (%)	อาหารข้น 16 %CP กลุ่มควบคุม	อาหารข้น 16 %CP กลุ่มทดลอง	ฟางข้าว + กากน้ำตาล
DM Disappearance			
A	53.78	53.29	21.21
B	34.04	27.25	36.27
C	0.0093	0.0073	0.0142
A+B	87.82	80.54	57.49
Effective degradability	57.32	55.57	26.68
CP Disappearance			
A	67.22	66.62	23.52
B	27.37	27.81	72.55
C	0.0067	0.0062	0.0187
A+B	94.60	94.43	96.07
Effective degradability	69.34	68.62	37.26

หมายเหตุ Outflow rate (fraction/h) = 0.08

ตารางที่ 6 ข. ตารางแสดงการย่อยสลายได้วัตถุแห้ง และอัตราการย่อยสลายได้วัตถุแห้งของอาหารข้น 21 %CP กลุ่มควบคุม กลุ่มทดลองเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3% และข้าวโพดหมัก

ระยะเวลาการบ่มแช่ในกระเพาะหมัก	การย่อยสลายวัตถุแห้ง (%)		
	อาหารข้น 21 %CP กลุ่มควบคุม	อาหารข้น 21 %CP กลุ่มทดลอง	ข้าวโพดหมัก
0 ชั่วโมง	52.32 ± 2.53	50.94 ± 0.93	24.97 ± 0.97
4 ชั่วโมง	59.33 ± 0.93	58.25 ± 0.59	28.23 ± 0.61
8 ชั่วโมง	63.12 ± 0.64	62.15 ± 1.89	31.96 ± 1.08
12 ชั่วโมง	66.49 ± 1.19	63.04 ± 1.55	34.78 ± 1.76
24 ชั่วโมง	69.93 ± 0.90	68.74 ± 1.58	48.23 ± 1.60
48 ชั่วโมง	84.02 ± 1.43	79.05 ± 1.07	60.37 ± 2.11
72 ชั่วโมง	-	-	63.81 ± 0.72
*dg*DM[1/]	55.39	53.47	30.44

หมายเหตุ แสดงค่าในรูป mean ± SE, [1/] Effective degradability of DM

ตารางที่ 7 ข. ตารางแสดงการย่อยสลายได้โปรตีน และอัตราการย่อยสลายได้โปรตีนของอาหารข้น 21 %CP กลุ่มควบคุม กลุ่มทดลองเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3% และข้าวโพดหมัก

ระยะเวลาการบ่มแช่ในกระเพาะหมัก	การย่อยสลายโปรตีน (%)		
	อาหารข้น 21 %CP กลุ่มควบคุม	อาหารข้น 21 %CP กลุ่มทดลอง	ข้าวโพดหมัก
0 ชั่วโมง	65.44 ± 0.03	63.75 ± 0.39	53.49 ± 0.09
4 ชั่วโมง	72.64 ± 0.16	71.35 ± 0.19	57.03 ± 1.83
8 ชั่วโมง	73.67 ± 0.28	72.52 ± 0.19	65.16 ± 0.32
12 ชั่วโมง	78.22 ± 0.20	74.08 ± 0.19	77.39 ± 1.17
24 ชั่วโมง	79.75 ± 0.08	80.16 ± 0.12	81.64 ± 0.34
48 ชั่วโมง	94.76 ± 0.08	92.20 ± 0.39	89.87 ± 0.07
72 ชั่วโมง	-	-	92.11 ± 1.69
*dg*CP[1/]	67.71	65.98	56.60

หมายเหตุ แสดงค่าในรูป mean ± SE, [1/] Effective degradability of CP

ตารางที่ 8 ข. แสดงเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายวัตถุแห้งและการย่อยสลายโปรตีนของอาหารข้น 21 %CP กลุ่มควบคุม กลุ่มทดลองเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3 % และข้าวโพดหมัก

Disappearance (%)	**อาหารข้น 21 %CP กลุ่มควบคุม**	**อาหารข้น 21 %CP กลุ่มทดลอง**	**ข้าวโพดหมัก**
DM Disappearance (%)			
A	52.32	50.94	24.97
B	31.70	28.11	38.84
C	0.0086	0.0079	0.0131
A+B	84.02	79.05	63.81
Effective degradability (%)	55.39	53.47	30.44
CP Disappearance (%)			
A	65.44	63.75	53.49
B	29.32	28.46	38.63
C	0.0067	0.0068	0.0070
A+B	94.76	92.20	92.12
Effective degradability (%)	67.71	65.98	56.60

หมายเหตุ Outflow rate (fraction/h) = 0.08

3. การประเมินความต้องการพลังงานตามสมการ NRC (2001)

3.1 การประเมินความต้องการพลังงานของโคสาว

โคสาวกลุ่มควบคุม มีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 277.9 kgLW โคสาวมีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นวันละ 511 กรัม มีค่า BCS 3.5 ได้รับอาหารข้น 16 %CP ร่วมกับฟางข้าวราดกากน้ำตาลเป็นแหล่งอาหารหยาบ

โคสาวกลุ่มทดลอง มีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 275.5 kgLW โคสาวมีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นวันละ 461 กรัม มีค่า BCS 3.5 ได้รับอาหารข้น 16 %CP ที่เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3 % ร่วมกับข้าวโพดหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

$$NE_R = NE_M + NE_G$$

$$NE_M \text{ (Mcal/kg)} = 0.086 \times (\text{Live Weight})^{0.75}$$

$$NE_{LM} \text{ (โคนมกลุ่มควบคุม) (Mcal/kg)} = 0.086 \times (277.9)^{0.75} = 5.44 \text{ Mcal/day}$$

$$NE_{LM} \text{ (โคนมกลุ่มทดลอง) (Mcal/kg)} = 0.086 \times (275.5)^{0.75} = 5.41 \text{ Mcal/day}$$

$$NE_{Gain} \text{ (Mcal/kg)} = (0.045LW^{0.75}) \times (LWG/1{,}000)^{1.119}) + (LWG/1{,}000)$$

NE_G (โคนมกลุ่มควบคุม)

$= (0.045(277.9)^{0.75}) \times (511/1,000)^{1.119}) + (511/1,000) = 3.27$ Mcal/day

NE_G (โคนมกลุ่มทดลอง)

$= (0.045(275.5)^{0.75}) \times (461/1,000)^{1.119}) + (461/1,000) = 3.68$ Mcal/day

NE_R (โคนมกลุ่มควบคุม) = 5.44 + 3.27 = 9.08 Mcal/day

NE_R (โคนมกลุ่มทดลอง) = 5.41 + 3.68 = 9.53 Mcal/day

ดังนั้นโคสาวกลุ่มควบคุมมีความต้องการพลังงานสุทธิ 9.08 Mcal/day และได้รับพลังงานจากอาหาร 10.45 Mcal/day ซึ่งมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานเท่ากับ 0.83 และโคสาวกลุ่มทดลองมีความต้องการพลังงานสุทธิ 9.53 Mcal/day ได้รับพลังงานจากอาหาร 10.86 Mcal/day ซึ่งมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานเท่ากับ 0.91

3.2 การประเมินความต้องการพลังงานของโคนม

โครีดนมกลุ่มควบคุม มีน้ำหนักเฉลี่ย 442.6 kg LW ให้นมเฉลี่ยวันละ 17.5 kg น้ำนมมีไขมัน 3.28% โปรตีน 2.59% และแล็คโตส 4.39% โครีดนมมีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นวันละ 0.21 kg มีค่า BCS 3.5 ได้รับอาหารข้น 21%CP ร่วมกับข้าวโพดหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

โครีดนมกลุ่มทดลอง มีน้ำหนักเฉลี่ย 456.9 kg LW ให้นมเฉลี่ยวันละ 17.8 kg น้ำนมมีไขมัน 3.39% โปรตีน 2.63% และแล็คโตส 4.50 %โครีดนมมีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นวันละ 0.10 kg มีค่า BCS 3.5 ได้รับอาหารข้น 21%CP ที่เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 3% ร่วมกับข้าวโพดหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

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

NE_{LM} (Mcal/kg) = $0.08 \times (\text{Live Weight})^{0.75}$

NE_{LM} (โคนมกลุ่มควบคุม) = $0.08 \times (442.6)^{0.75}$ = 7.90 Mcal/day

NE_{LM} (โคนมกลุ่มทดลอง) = $0.08 \times (456.9)^{0.75}$ = 7.71 Mcal/day

NE_{LGain} (Mcal/kg) = Reserve Energy x (0.64/0.75)

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 = (0.226098 x 9.4) + (0.1608288 x 5.5) = 3.01

NE_{LG} (โคนมกลุ่มควบคุม) = 3.01 x (0.64/0.75) x 0.21 = 0.54 Mcal/day

NE_{LG} (โคนมกลุ่มทดลอง) = 3.01 x (0.64/0.75) x 0.10 = 0.26 Mcal/day

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

NE_{LL} (โคนมกลุ่มควบคุม)

= (0.0929 x 3.28%) + (0.0547 x 2.59%) + (0.0395 x 4.39%) x 17.5 (kg milk/d)

= 10.68 Mcal/day

NE_{LL} (โคนมกลุ่มทดลอง)

= (0.0929 x 3.39%) + (0.0547 x 2.63%) + (0.0395 x 4.50%) x 17.8 (kg milk/d)

= 11.28 Mcal/day

NE_{LR} (โคนมกลุ่มควบคุม) = 7.90 + 0.54 + 10.68 = 19.12 Mcal/day

NE_{LR} (โคนมกลุ่มทดลอง) = 7.72 + 0.26 + 11.28 = 19.26 Mcal/day

ดังนั้นโครีดนม กลุ่มควบคุมมีความต้องการพลังงานสุทธิ เท่ากับ 19.12 Mcal/day และได้รับพลังงานจากอาหารเท่ากับ 19.78 Mcal/day ซึ่งมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานเท่ากับ 0.96 ส่วนโครีดนมกลุ่มทดลองมีความต้องการพลังงานสุทธิ เท่ากับ 19.26 Mcal/day และได้รับพลังงานจากอาหารเท่ากับ 20.25 Mcal/day ซึ่งมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานเท่ากับ 0.96 เช่นกัน

4. การประเมินความต้องการโปรตีนตามสมการ NRC (2001)

4.1 การประเมินความต้องการโปรตีนของโคสาว

$MP_R = MP_M + MP_G$

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

MP_u = UPN/0.67

UPN (g/d) = 2.75 x (Live weight)$^{0.5}$

MP_u (โคสาวกลุ่มควบคุม) = [2.75 x ($277.9^{0.5}$)]/0.67 = 68

MP_u (โคสาวกลุ่มทดลอง) = [2.75 x ($275.5^{0.5}$)]/0.67 = 68

MP_{sh} = SPN/0.67

SPN = 0.2 x (Live weight)$^{0.6}$

MP_{sh}(โคสาวกลุ่มควบคุม) = [0.2 x ($277.9^{0.6}$)]/0.67 = 8.73

MP_{sh} (โคสาวกลุ่มทดลอง) = $[0.2 \times (275.5^{0.6})]/0.67$ = 8.68

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 x ((Bact MP/0.8) - Bact MP)) + (Endo MP/0.67)

เมื่อ Endo MP (g/d) = 0.4 x 1.9 x DMI (kg) x 6.25

Endo MP (โคสาวกลุ่มควบคุม) = 0.4 x 1.9 x 8.71 x 6.25 = 41 g/d

Endo MP (โคสาวกลุ่มทดลอง) = 0.4 x 1.9 x 9.19 x 6.25 = 44 g/d

Bact MP (g/d) = 0.64 MCP

MCP = 0.85 $gRDP_{req}$

RDP_{req} = 0.15294 x TDN_{Actual}

$TDN_{Act\ Total}$ = DMI (kg) x %TDN x 1,000

RDP_{req} (โคสาวกลุ่มควบคุม) = $0.15294 \times [((5.96\ (kg) \times 0.42 \times 1{,}000)_{ฟางข้าวราดกากน้ำตาล}) + ((2.76\ (kg) \times 0.71 \times 1{,}000)_{อาหารข้นโคสาวกลุ่มควบคุม})]$

= 685 g/d

RDP_{req} (โคสาวกลุ่มทดลอง) = $0.15294 \times [((6.45\ (kg) \times 0.42 \times 1{,}000)_{ฟางข้าวราดกากน้ำตาล}) + ((2.75\ (kg) \times 0.69 \times 1{,}000)_{อาหารข้นโคสาวกลุ่มทดลอง})]$

= 707 g/d

MCP (โคสาวกลุ่มควบคุม) = 0.85 x 685 = 582 g/d

MCP (โคสาวกลุ่มทดลอง) = 0.85 x 707 = 601 g/d

Bact MP (โคสาวกลุ่มควบคุม) = 0.64 x 582 = 372 g/d

Bact MP (โคสาวกลุ่มทดลอง) = 0.64 x 601 = 385 g/d

MP_{MFP} (โคสาวกลุ่มควบคุม)

= (8.71 (kg) x 30) - (0.50 x ((372/0.8) - 372)) + (41/0.67) = 277 g/d

MP_{MFP} (โคสาวกลุ่มทดลอง)

= (9.19 (kg) x 30) - (0.50 x ((385/0.8) - 385)) + (44/0.67) = 293 g/d

MP_M (โคสาวกลุ่มควบคุม) = 68 + 9 + 277 = 354 g/d

MP_M (โคสาวกลุ่มทดลอง) = 68 + 9 + 293 = 370 g/d

MP_G (g/d) = NP_g/ (0.834-(EQSBW x 0.00114))

ถ้า EQSBW มากกว่า 478 กิโลกรัม ใช้ EQSBW เท่ากับ 478 กิโลกรัม

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

SWG = 13.91x NEGrowthDiet $^{0.9116}$ x EQSBW $^{(-0.6837)}$

EQSBW = SBW x (478/MSBW)

SBW = 0.96 x BW

SBW (โคสาวกลุ่มควบคุม) = 0.96 x 277.9 kg LW = 266.8 kg LW

SBW (โคสาวกลุ่มทดลอง) = 0.96 x 275.5 kg LW = 264.5 kg LW

MSBW = 500 kg (โคนมลูกผสม Holstein Friesianในประเทศไทย)

EQSBW (โคสาวกลุ่มควบคุม) = 266.8 x (478/500) = 255.1 kg LW

EQSBW (โคสาวกลุ่มทดลอง) = 264.5 x (478/500) = 252.8 kg LW

SWG (โคสาวกลุ่มควบคุม) = 13.91x $(3.27)^{0.9116}$ x $(255.1)^{(-0.6837)}$ = 1.02

SWG (โคสาวกลุ่มทดลอง) = 13.91x $(3.68)^{0.9116}$ x $(252.8)^{(-0.6837)}$ = 0.93

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

EQEBW = 0.891 x EQSBW

EQEBW (โคสาวกลุ่มควบคุม) = 0.891 x 255.1 = 227.3 kg LW

EQEBW (โคสาวกลุ่มทดลอง) = 0.891 x 252.8 = 225.2 kg LW

EQEBG = 0.956 x SWG

EQEBG (โคสาวกลุ่มควบคุม) = 0.956 x 0.51 = 0.49 kg LW

EQEBG (โคสาวกลุ่มทดลอง) = 0.956 x 0.46 = 0.44 kg LW

RE (โคสาวกลุ่มควบคุม) = 0.0635 x $255.1^{0.75}$ x $0.49^{1.097}$ = 1.71 Mcal/d

RE (โคสาวกลุ่มทดลอง) = 0.0635 x $252.8^{0.75}$ x $0.44^{1.097}$ = 1.51 Mcal/d

NP_g (โคสาวกลุ่มควบคุม) = 1.02 x (268 - (29.4 x (1.71/1.02))) = 166.91 g/d

NP_g (โคสาวกลุ่มทดลอง) = 0.93 x (268 - (29.4 x (1.51/0.93))) = 152.44 g/d

MP_G (โคสาวกลุ่มควบคุม) = 166.91/(0.834-(255.1 x 0.00114)) = 308 g/d

MP_G (โคสาวกลุ่มทดลอง) = 152.44/(0.834-(252.8 x 0.00114)) = 279 g/d

ดังนั้น MP_R (โคสาวกลุ่มควบคุม)= 354 + 308 = 662 g/d

MP_R (โคสาวกลุ่มทดลอง)= 370 + 279 = 649 g/d

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

MP_{RUP} = MP_{req} - (MP_{Bact} + MP_{End})

MP_{RUP} (โคสาวกลุ่มควบคุม) = 662 - (372 + 41) = 248 g/d

MP_{RUP} (โคสาวกลุ่มทดลอง) = 649 - (385 + 44) = 220 g/d

โดย MP_{RUP} = 0.66 x total digest RUP

total digest RUP (โคสาวกลุ่มควบคุม) = 248/0.66 = 376 g/d

total digest RUP (โคสาวกลุ่มทดลอง) = 220/0.66 = 333 g/d

total digest RUP = 0.8 RUP_{req}

RUP_{req} (โคสาวกลุ่มควบคุม) = 376/0.8 = 470 g/d

RUP_{req} (โคสาวกลุ่มทดลอง) = 333/0.8 = 417 g/d

CP_{req} = RDP_{req} + RUP_{req}

CP_{req} (โคสาวกลุ่มควบคุม) = 685 + 470 = 1,154 g/d

CP_{req} (โคสาวกลุ่มทดลอง) = 707 + 417 = 1,124 g/d

ซึ่งโปรตีนในอาหาร RDP_{sup} = Total DMFed x 1,000 x Diet CP x CP_RDP

RDP_{sup} (ฟางข้าวกลุ่มควบคุม) = 5.96 x 1,000 x 0.03 x 0.37 = 69 g/d

RDP_{sup} (ฟางข้าวกลุ่มทดลอง) = 6.94 x 1,000 x 0.03 x 0.37 = 74 g/d

RDP_{sup} (อาหารข้นโคสาวกลุ่มควบคุม) = 2.76 x 1,000 x 0.16 x 0.69 = 306 g/d

RDP_{sup} (อาหารข้นโคสาวกลุ่มทดลอง) = 2.75 x 1,000 x 0.16 x 0.69 = 307 g/d

RDP_{sup} (โคสาวกลุ่มควบคุม) = 69 + 306 = 375 g/d

RDP_{sup} (โคสาวกลุ่มทดลอง) = 74 + 307 = 381 g/d

CP_{Total} (ฟางข้าวกลุ่มควบคุม) = 5.96 x 1,000 x 0.03 = 184 g/d

CP_{Total} (ฟางข้าวกลุ่มทดลอง) = 6.45 x 1,000 x 0.03 = 200 g/d

CP_{Total} (อาหารข้นโคสาวกลุ่มควบคุม) = 2.76 x 1,000 x 0.16 = 446 g/d

CP_{Total} (อาหารข้นโคสาวกลุ่มทดลอง) = 2.75 x 1,000 x 0.16 = 443 g/d

CP_{Total} (โคสาวกลุ่มควบคุม) = 184 + 446 = 631 g/d

CP_{Total} (โคสาวกลุ่มทดลอง) = 200 + 443 = 642 g/d

RUP_{sup} = CP_{Total} - RDP_{sup}

RUP_{sup} (โคสาวกลุ่มควบคุม) = 631 - 375 = 256 g/d

RUP_{sup} (โคสาวกลุ่มทดลอง) = 642 - 381 = 261 g/d

ดังนั้นเมื่อคำนวณความต้องการโปรตีนจากตัวโคเพื่อใช้ในกิจกรรมต่างๆ และคำนวณโปรตีนในอาหารแล้วพบว่า

	ความต้องการโปรตีน		โปรตีนในอาหาร		สมดุลโปรตีน (ขาด/เกิน)	
	กลุ่มควบคุม	กลุ่มทดลอง	กลุ่มควบคุม	กลุ่มทดลอง	กลุ่มควบคุม	กลุ่มทดลอง
CP (g/d)	1,154	1,124	631	642	-523	-482
RDP(g/d)	685	707	375	381	-310	-326
RUP(g/d)	470	417	256	261	-214	-156

4.2 การประเมินความต้องการโปรตีนของโคนม

MP_R = $MP_M + MP_G + MP_L$

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

MP_u = UPN/0.67

UPN (g/d) = 2.75 x (Live weight)$^{0.5}$

MP_u(โคนมกลุ่มควบคุม) = [2.75 x (442.6$^{0.5}$)]/0.67 = 86 g/d

MP_u(โคนมกลุ่มทดลอง) = [2.75 x (456.9$^{0.5}$)]/0.67 = 88 g/d

MP_{sh} = SPN/0.67

SPN = 0.2 x (Live weight)$^{0.6}$

MP_{sh}(โคนมกลุ่มควบคุม) = [0.2 x (442.6$^{0.6}$)]/0.67 = 12 g/d

MP_{sh}(โคนมกลุ่มทดลอง) = [0.2 x (456.9$^{0.6}$)]/0.67 = 12 g/d

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 x ((Bact MP/0.8) - Bact MP)) + (Endo MP/0.67)

เมื่อ Endo MP (g/d) = 0.4 x 1.9 x DMI (kg) x 6.25

Endo MP (โคนมกลุ่มควบคุม) = 0.4 x 1.9 x 13.7 x 6.25 = 65 g/d

Endo MP (โคนมกลุ่มทดลอง) = 0.4 x 1.9 x 14.4 x 6.25 = 68 g/d

Bact MP (g/d) = 0.64 MCP

MCP = 0.85 gRDP_{req}

RDP_{req} = 0.15294 x TDN_{Actual}

$TDN_{Act\ Total}$ = DMI (kg) x %TDN x 1,000

RDP_{req}(โคนมกลุ่มควบคุม) = 0.15294 x [$((5.4\ (kg) \times 0.5187 \times 1{,}000)_{\text{ข้าวโพดหมัก}}$) + $((8.3\ (kg) \times 0.7345 \times 1{,}000)_{\text{อาหารข้นโคนมกลุ่มควบคุม}})$]

= 1,332 g/d

RDP_{req}(โคนมกลุ่มทดลอง) = 0.15294 x [$((6.09\ (kg) \times 0.5187 \times 1{,}000)_{\text{ข้าวโพดหมัก}}$) + $((8.32\ (kg) \times 0.7117 \times 1{,}000)_{\text{อาหารข้นโคนมกลุ่มทดลอง}})$]

= 1,417 g/d

MCP (โคนมกลุ่มควบคุม) = 0.85 x 1,332 = 1,132 g/d

MCP (โคนมกลุ่มทดลอง) = 0.85 x 1,417 = 1,204 g/d

Bact MP (โคนมกลุ่มควบคุม) = 0.64 x 1,132 = 725 g/d

Bact MP (โคนมกลุ่มทดลอง) = 0.64 x 1,204 = 771 g/d

MP_{MFP} (โคนมกลุ่มควบคุม)

= (13.7 (kg) x 30) - (0.50 x ((725/0.8) - 725)) + (65/0.67) = 418 g/d

MP_{MFP} (โคนมกลุ่มทดลอง)

= (14.4 (kg) x 30) - (0.50 x ((771/0.8) - 771)) + (68/0.67) = 438 g/d

MP_M (โคนมกลุ่มควบคุม) = 86 + 12 + 418 = 612 g/d

MP_M (โคนมกลุ่มทดลอง) = 88 + 12 + 438 = 639 g/d

MPG (g/d) = NP_g/EffMP_NP_g

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

SWG = ADG (average daily gain)

SWG (โคนมกลุ่มควบคุม) = 0.21

SWG (โคนมกลุ่มทดลอง) = 0.10

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

EQEBW = 0.891 x EQSBW

EQSBW = SBW x (478/MSBW)

SBW = 0.96 x BW

SBW (โคนมกลุ่มควบคุม) = 0.96 x 442.6 kg LW = 425 kg LW

SBW (โคนมกลุ่มทดลอง) = 0.96 x 456.9 kg LW = 439 kg LW

MSBW = 500 kg (โคนมลูกผสม Holstein Friesianในประเทศไทย)

EQSBW (โคนมกลุ่มควบคุม) = 425 x (478/500) = 406.2 kg LW

EQSBW (โคนมกลุ่มทดลอง) = 439 x (478/500) = 419.3 kg LW

EQEBW (โคนมกลุ่มควบคุม) = 0.891 x 425 = 361.9 kg LW

EQEBW (โคนมกลุ่มทดลอง) = 0.891 x 439 = 373.6 kg LW

EQEBG = 0.956 x SWG

EQEBG (โคนมกลุ่มควบคุม) = 0.956 x 0.21 = 0.20 kg LW

EQEBG (โคนมกลุ่มทดลอง) = 0.956 x 0.10 = 0.10 kg LW

RE (โคนมกลุ่มควบคุม) = $0.0635 \times 361.9^{0.75} \times 0.20^{1.097}$ = 0.91 Mcal/d

RE (โคนมกลุ่มทดลอง) = $0.0635 \times 373.6^{0.75} \times 0.10^{1.097}$ = 0.42 Mcal/d

NP_g (โคนมกลุ่มควบคุม)= 0.21 x (268 - (29.4 x (0.91/0.21))) = 30 g/d

NP_g (โคนมกลุ่มทดลอง)= 0.10 x (268 - (29.4 x (0.42/0.10))) = 15 g/d

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

$EffMP_NP_g$ (โคนมกลุ่มควบคุม) = (83.4 - (0.114 x 406.2))/100 = 0.37

$EffMP_NP_g$ (โคนมกลุ่มทดลอง) = (83.4 - (0.114 x 419.3))/100 = 0.36

MP_G (โคนมกลุ่มควบคุม) = 30/0.37 = 81 g/d

MP_G (โคนมกลุ่มทดลอง) = 15/0.36 = 43 g/d

MP_L (g/d) = (Yprotn/0.67) x 1,000

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

Yprotn (โคนมกลุ่มควบคุม) = 17.5 (kg/d) x (2.59/100) = 0.4 kg/d

Yprotn (โคนมกลุ่มทดลอง) = 17.8 (kg/d) x (2.63/100) = 0.5 kg/d

MP_L (โคนมกลุ่มควบคุม) = (0.4/0.67) x 1,000 = 664 g/d

MP_L (โคนมกลุ่มทดลอง) = (0.5/0.67) x 1,000 = 694 g/d

ดังนั้น MP_R (โคนมกลุ่มควบคุม) = 612 + 81 + 664 = 1,357 g/d

MP_R (โคนมกลุ่มทดลอง) = 639 + 43 + 694 = 1,376 g/d

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

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

MP_{RUP} (โคนมกลุ่มควบคุม) = 1,357 - (725 + 65) = 567 g/d

MP_{RUP} (โคนมกลุ่มทดลอง) = 1,376 - (771 + 68) = 537 g/d

โดย MP_{RUP} = 0.66 x total digest RUP

total digest RUP (โคนมกลุ่มควบคุม) = 567/0.66 = 859 g/d

total digest RUP (โคนมกลุ่มทดลอง) = 537/0.66 = 813 g/d

total digest RUP = 0.8 RUPreq

RUP_{req} (โคนมกลุ่มควบคุม) = 859/0.8 = 1,074

RUP_{req} (โคนมกลุ่มทดลอง) = 813/0.8 = 1,017

CP_{req} = $RDP_{req} + RUP_{req}$

CP_{req} (โคนมกลุ่มควบคุม) = 1,332 + 1,074 = 2,406 g/d

CP_{req} (โคนมกลุ่มทดลอง) = 1,417 + 1,017 = 2,434 g/d

ซึ่งโปรตีนในอาหาร RDP_{sup} = Total DMFed x 1,000 x Diet CP x CP_RDP

RDP_{sup} (ข้าวโพดหมักกลุ่มควบคุม) = 5.4 x 1,000 x 0.0991 x 0.5660 = 302 g/d

RDP_{sup} (ข้าวโพดหมักกลุ่มทดลอง) = 6.1 x 1,000 x 0.0991 x 0.5660 = 341 g/d

RDP_{sup} (อาหารข้นโคนมกลุ่มควบคุม) = 8.31 x 1,000 x 0.2135 x 0.6771 = 1,201 g/d

RDP_{sup} (อาหารข้นโคนมกลุ่มทดลอง) = 8.32 x 1,000 x 0.2135 x 0.6598 = 1,160 g/d

RDP_{sup} (โคนมกลุ่มควบคุม) = 302 + 1,201 = 1,503 g/d

RDP_{sup} (โคนมกลุ่มทดลอง) = 341 + 1,160 = 1,501 g/d

CP_{Total} (ข้าวโพดหมักกลุ่มควบคุม) = 5.4 x 1,000 x 0.0991 = 534 g/d

CP_{Total} (ข้าวโพดหมักกลุ่มทดลอง) = 6.1 x 1,000 x 0.0991 = 603 g/d

CP_{Total} (อาหารข้นโคนมกลุ่มควบคุม) = 8.31 x 1,000 x 0.2135 = 1,774 g/d

CP_{Total} (อาหารข้นโคนมกลุ่มทดลอง) = 8.32 x 1,000 x 0.2113 = 1,757 g/d

CP_{Total} (โคนมกลุ่มควบคุม) = 534 + 1,774 = 2,308 g/d

CP_{Total} (โคนมกลุ่มทดลอง) = 603 + 1,757 = 2,361 g/d

RUP_{sup} = $CP_{Total} - RDP_{sup}$

RUP_{sup} (โคนมกลุ่มควบคุม) = 2,308 - 1,503 = 805 g/d

RUP_{sup} (โคนมกลุ่มทดลอง) = 2,361 - 1,501 = 860 g/d

ดังนั้นเมื่อคำนวณความต้องการโปรตีนจากตัวโคเพื่อใช้ในกิจกรรมต่างๆ และคำนวณโปรตีนในอาหารแล้วพบว่า

	ความต้องการโปรตีน		โปรตีนในอาหาร		สมดุลโปรตีน (ขาด/เกิน)	
	กลุ่มควบคุม	กลุ่มทดลอง	กลุ่มควบคุม	กลุ่มทดลอง	กลุ่มควบคุม	กลุ่มทดลอง
CP (g/d)	2,406	2,434	2,308	2,361	98	73
RDP (g/d)	1,332	1,417	1,503	1,501	171	84
RUP (g/d)	1,074	1,017	805	860	-270	-157

ภาคผนวก ค

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และตารางวิเคราะห์วาเรียนซ์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การทดลองแบบรวมกลุ่ม (Group Comparison)

ในการทดลองเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง 2 กลุ่มโดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย 2 กลุ่ม คือ X1- X2 ซึ่งมีการประมาณความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากร คือ ระหว่าง $\mu 1 - \mu 2$ การตรวจสอบทำได้โดย T- TEST

$$t = \frac{(X1- X2)\sqrt{n}}{S\sqrt{2}}$$

ในการคำนวณ t นี้กำหนดว่าทั้ง 2 ตัวแทนมีวาเรียนซ์เท่ากันคือ s^2 และ $df = 2(n-1)$

ตารางวิเคราะห์วาเรียนซ์

ตารางที่ 1 ค. แสดงวาเรียนซ์ขององค์ประกอบของแร่ธาตุในอาหารข้นที่ใช้ในการทดลอง

เปอร์เซ็นต์ Ca ในอาหารข้นโคสาว

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	2	0.6675	0.0133	0.0094	2	0.2796
กลุ่มทดลอง	2	0.7004	0.0287	0.0203		

For H_0: Variances are equal, F' = 4.66 DF = (1,1) Prob>F' = 0.5526

เปอร์เซ็นต์ P ในอาหารข้นโคสาว

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	2	0.4087	0.0046	0.0032	2	0.8285
กลุ่มทดลอง	2	0.4110	0.0123	0.0087		

For H_0: Variances are equal, F' = 7.33 DF = (1,1) Prob>F' = 0.4506

เปอร์เซ็นต์ K ในอาหารข้นโคสาว

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	2	0.5098	0.0084	0.0059	2	0.1326
กลุ่มทดลอง	2	0.5345	0.0114	0.0081		

For H_0: Variances are equal, F' = 1.87 DF = (1,1) Prob>F' = 0.8033

เปอร์เซ็นต์ Na ในอาหารข้นโคสาว

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	2	0.0862	0.0034	0.0024	2	0.2022
กลุ่มทดลอง	2	0.0917	0.0025	0.0017		

For H_0: Variances are equal, F' = 1.86 DF = (1,1) Prob>F' = 0.8060

เปอร์เซ็นต์ Cu ในอาหารข้นโคสาว

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	2	207.2025	26.6298	18.8301	2	0.0590
กลุ่มทดลอง	2	292.9545	15.5319	10.9827		

For H_0: Variances are equal, F' = 2.94 DF = (1,1) Prob>F' = 0.6723

เปอร์เซ็นต์ Fe ในอาหารข้นโคสาว

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	2	416.9966	40.5329	28.6611	2	0.4642
กลุ่มทดลอง	2	442.9128	4.9778	3.5198		

For H_0: Variances are equal, F' = 66.30 DF = (1,1) Prob>F' = 0.1556

เปอร์เซ็นต์ Zn ในอาหารข้นโคสาว

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	2	218.7750	8.9318	6.3157	2	0.6851
กลุ่มทดลอง	2	221.9547	3.4735	2.4562		

For H_0: Variances are equal, F' = 6.61 DF = (1,1) Prob>F' = 0.4722

ตารางที่ 2 ค. แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของการกินได้โภชนะของโคสาว

ปริมาณการกินได้วัตถุแห้ง อาหารหยาบ (g/kg $W^{0.75}$)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	87.5798	8.1913	2.3646	22	0.0362
กลุ่มทดลอง	12	95.9566	10.0626	2.9048		

For H_0: Variances are equal, F' = 1.51 DF = (11,11) Prob>F' = 0.5062

ปริมาณการกินได้โปรตีนจากอาหารหยาบ (g/kg $W^{0.75}$)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	2.7123	0.2538	0.0733	22	0.0359
กลุ่มทดลอง	12	2.9716	0.3118	0.0900		

For H_0: Variances are equal, F' = 1.51 DF = (11,11) Prob>F' = 0.5060

ปริมาณการกินได้พลังงาน (Mcal/ตัว/วัน)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	10.4492	0.7200	0.2078	22	0.1094
กลุ่มทดลอง	12	10.8630	0.4689	0.1354		

For H_0: Variances are equal, F' = 2.36 DF = (11,11) Prob>F' = 0.1706

ปริมาณการกินได้พลังงานจากอาหารหยาบ (Mcal/kg $W^{0.75}$)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	0.0903	0.0086	0.0025	22	0.0316
กลุ่มทดลอง	12	0.0993	0.0103	0.0030		

For H_0: Variances are equal, F' = 1.44 DF = (11,11) Prob>F' = 0.5526

ตารางที่ 3 ค. แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของปริมาณการกินได้แร่ธาตุของโคสาว

ปริมาณการกินได้ Ca (กรัมวัตถุแห้ง/ตัว/วัน)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	48.2539	3.4928	1.0083	22	0.0121
กลุ่มทดลอง	12	51.5448	2.2754	0.6569		

For H_0: Variances are equal, F' = 2.36 DF = (11,11) Prob>F' = 0.1709

ปริมาณการกินได้ P (กรัมวัตถุแห้ง/ตัว/วัน)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	20.9970	1.1397	0.3290	22	0.0479
กลุ่มทดลอง	12	21.8194	0.7425	0.2143		

For H_0: Variances are equal, F' = 2.36 DF = (11,11) Prob>F' = 0.1709

ปริมาณการกินได้ K (กรัมวัตถุแห้ง/ตัว/วัน)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	91.8204	9.0919	2.6246	22	0.0354
กลุ่มทดลอง	12	98.8426	5.9225	1.7097		

For H0: Variances are equal, F' = 2.36 DF = (11,11) Prob>F' = 0.1708

ปริมาณการกินได้ Mg (กรัมวัตถุแห้ง/ตัว/วัน)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	43.3037	2.7556	0.7955	22	0.0841
กลุ่มทดลอง	12	45.0211	1.7950	0.5182		

For H_0: Variances are equal, F' = 2.36 DF = (11,11) Prob>F' = 0.1708

ปริมาณการกินได้ Na (กรัมวัตถุแห้ง/ตัว/วัน)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	7.3058	0.5768	0.1665	22	0.0115
กลุ่มทดลอง	12	7.8539	0.3758	0.1085		

For H_0: Variances are equal, F' = 2.36 DF = (11,11) Prob>F' = 0.1709

ปริมาณการกินได้ Cu รวม (มิลลิกรัมวัตถุแห้ง/ตัว/วัน)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	602.0141	3.7337	1.0778	22	0.0001
กลุ่มทดลอง	12	838.1775	2.5120	0.7251		

For H_0: Variances are equal, F' = 2.21 DF = (11,11) Prob>F' = 0.2044

ปริมาณการกินได้ Fe (มิลลิกรัมวัตถุแห้ง/ตัว/วัน)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	2443.7621	151.5050	43.7357	22	0.0031
กลุ่มทดลอง	12	2617.2581	98.7104	28.4953		

For H_0: Variances are equal, F' = 2.36 DF = (11,11) Prob>F' = 0.1710

ปริมาณการกินได้ Zn รวม (มิลลิกรัมวัตถุแห้ง/ตัว/วัน)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	693.2590	10.6684	3.0797	22	0.0010
กลุ่มทดลอง	12	707.2349	6.9603	2.0093		

For H_0: Variances are equal, F' = 2.35 DF = (11,11) Prob>F' = 0.1723

ตารางที่ 4 ค. แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของน้ำหนักตัวและการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวของโคสาว

น้ำหนักตัวก่อนการทดลอง (กิโลกรัม)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	251.4167	27.0940	7.8214	22	0.9944
กลุ่มทดลอง	12	251.3333	30.4193	8.7813		

For H_0: Variances are equal, F' = 1.26 DF = (11,11) Prob>F' = 0.7077

น้ำหนักตัวหลังการทดลอง (กิโลกรัม)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	301.5000	28.7544	8.3007	22	0.6798
กลุ่มทดลอง	12	296.5000	29.7978	8.6019		

For H_0: Variances are equal, F' = 1.07 DF = (11,11) Prob>F' = 0.9080

น้ำหนักตัวเฉลี่ย (กิโลกรัม)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	278.0000	27.2797	7.8750	22	0.8276
กลุ่มทดลอง	12	275.5000	28.2827	8.1645		

For H_0: Variances are equal, F' = 1.07 DF = (11,11) Prob>F' = 0.9068

น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง (กรัม/ตัว/วัน)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	511.0000	162.1122	46.7978	22	0.5038
กลุ่มทดลอง	12	460.7500	198.2923	57.2421		

For H_0: Variances are equal, F' = 1.50 DF = (11,11) Prob>F' = 0.5150

ประสิทธิภาพการใช้อาหาร (NE/Gain)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	13.4733	0.9286	0.2681	22	0.1092
กลุ่มทดลอง	12	14.0075	0.6050	0.1747		

For H_0: Variances are equal, F' = 2.36 DF = (11,11) Prob>F' = 0.1710

ตารางที่ 5 ค. แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของความต้องการโปรตีนของโคสาวและปริมาณโปรตีนที่ได้รับจากอาหาร

ความต้องการโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{req})

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	684.7500	45.0134	12.9942	22	0.1620
กลุ่มทดลอง	12	707.1667	29.2134	8.4332		

For H_0: Variances are equal, F' = 2.37 DF = (11,11) Prob>F' = 0.1672

โปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{sup}) ที่ได้รับจากอาหาร

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	374.8333	8.1110	2.3414	22	0.0319
กลุ่มทดลอง	12	381.2500	5.3279	1.5380		

For H_0: Variances are equal, F' = 2.32 DF = (11,11) Prob>F' = 0.1790

ความต้องการโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP_{req})

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	469.5833	173.9684	50.2203	22	0.5132
กลุ่มทดลอง	12	417.0833	211.2351	60.9783		

For H_0: Variances are equal, F' = 1.47 DF = (11,11) Prob>F' = 0.5304

โปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP_{sup}) ที่ได้รับจากอาหาร

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	255.6667	13.6070	3.9280	22	0.2672
กลุ่มทดลอง	12	261.0000	8.8420	2.5525		

For H_0: Variances are equal, F' = 2.37 DF = (11,11) Prob>F' = 0.1684

ตารางที่ 6 ค. แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของของพลังงานที่โคสาวต้องการเพื่อกิจกรรมต่างๆ และประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

ปริมาณการกินได้ กินได้พลังงานสุทธิ (NE_{intake}) (Mcal/วัน)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	10.4483	0.7193	0.2076	22	0.1087
กลุ่มทดลอง	12	10.8625	0.4679	0.1351		

For H_0: Variances are equal, F' = 2.36 DF = (11,11) Prob>F' = 0.1694

พลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (NE_M) (Mcal/วัน)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	5.8100	0.4498	0.1298	22	0.8297
กลุ่มทดลอง	12	5.8492	0.4316	0.1246		

For H_0: Variances are equal, F' = 1.09 DF = (11,11) Prob>F' = 0.8936

พลังงานสุทธิเพื่อการเพิ่มน้ำหนักตัว (NE_G) (Mcal/วัน)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	3.2650	1.5820	0.4567	22	0.4927
กลุ่มทดลอง	12	3.6808	1.3270	0.3831		

For H_0: Variances are equal, F' = 1.42 DF = (11,11) Prob>F' = 0.5697

พลังงานสุทธิสะสม (NE_R) (Mcal/วัน)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	9.0758	1.6933	0.4888	22	0.4969
กลุ่มทดลอง	12	9.5308	1.5290	0.4414		

For H_0: Variances are equal, F' = 1.23 DF = (11,11) Prob>F' = 0.7408

ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (efficiency)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	0.8317	0.1344	0.0388	22	0.1410
กลุ่มทดลอง	12	0.9125	0.1247	0.0360		

For H_0: Variances are equal, F' = 1.16 DF = (11,11) Prob>F' = 0.8076

ตารางที่ 7 ค. แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของปริมาณแร่ธาตุในพลาสมาของโคสาว

ปริมาณแคลเซียมในพลาสมาสิ้นสุดการทดลอง (mmol/l)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	2.6518	0.1484	0.0447	22	0.9545
กลุ่มทดลอง	12	2.6564	0.2144	0.0647		

For H_0: Variances are equal, F' = 2.09 DF = (10,10) Prob>F' = 0.2611

ปริมาณฟอสฟอรัสในพลาสมาสิ้นสุดการทดลอง (mmol/l)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	1.8071	0.2038	0.0545	22	0.7345
กลุ่มทดลอง	12	1.7818	0.1520	0.0458		

For H_0: Variances are equal, F' = 1.80 DF = (13,10) Prob>F' = 0.3573

ปริมาณโพแทสเซียมในพลาสมาสิ้นสุดการทดลอง (mmol/l)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	4.6800	0.2809	0.0751	22	0.8614
กลุ่มทดลอง	12	4.6550	0.4354	0.1257		

For H_0: Variances are equal, F' = 2.40 DF = (11,13) Prob>F' = 0.1356

ปริมาณแมกนีเซียมในพลาสมาสิ้นสุดการทดลอง (mmol/l)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	0.7286	0.0398	0.0106	22	0.7958
กลุ่มทดลอง	12	0.7336	0.0570	0.0172		

For H_0: Variances are equal, F' = 2.05 DF = (10,13) Prob>F' = 0.2249

ปริมาณโซเดียมในพลาสมาสิ้นสุดการทดลอง (mmol/l)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	133.4650	9.5254	2.5458	22	0.4837
กลุ่มทดลอง	12	140.6082	36.1732	10.9066		

For H_0: Variances are equal, F' = 14.42 DF = (10,13) Prob>F' = 0.0000

ปริมาณทองแดงในพลาสมาสิ้นสุดการทดลอง (µmol/l)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	15.2243	3.7702	1.0076	22	0.3633
กลุ่มทดลอง	12	16.9488	4.8568	1.7171		

For H_0: Variances are equal, F' = 1.66 DF = (7,13) Prob>F' = 0.4083

ปริมาณเหล็กในพลาสมาระหว่างการทดลอง (µmol/l)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	26.3975	3.4211	1.2095	22	0.0549
กลุ่มทดลอง	12	29.6733	1.7703	0.7227		

For H_0: Variances are equal, F' = 3.73 DF = (7,5) Prob>F' = 0.1660

ปริมาณสังกะสีในพลาสมาสิ้นสุดการทดลอง (µmol/l)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	15.9771	2.2062	0.5896	22	0.8058
กลุ่มทดลอง	12	16.1909	2.0334	0.6131		

For H_0: Variances are equal, F' = 1.18 DF = (13,10) Prob>F' = 0.8095

ตารางที่ 8 ค. แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของการเป็นสัดและการผสมติดของโคสาว

อายุที่ผสมครั้งแรก (เดือน)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	17.7300	1.9113	0.6758	12	0.9373
กลุ่มทดลอง	12	17.6617	0.9154	0.3737		

For H_0: Variances are equal, F' = 4.36 DF = (7,5) Prob>F' = 0.1242

อายุที่ผสมติด (เดือน)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	18.4063	2.0313	0.7182	12	0.9379
กลุ่มทดลอง	12	18.3283	1.4519	0.5927		

For H_0: Variances are equal, F' = 1.96 DF = (7,5) Prob>F' = 0.4772

อัตราการผสมติด (ครั้ง)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	1.6250	0.9161	0.3239	12	0.7979
กลุ่มทดลอง	12	1.5000	0.8367	0.3416		

For H_0: Variances are equal, F' = 1.20 DF = (7,5) Prob>F' = 0.8712

ตารางที่ 9 ค. แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของ nitrogen และ phosphorus ในมูลโคสาว

เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งในมูลสิ้นสุดการทดลอง

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	22.3497	1.0386	0.2998	22	0.1739
กลุ่มทดลอง	12	23.1689	1.7314	0.4998		

For H_0: Variances are equal, F' = 2.78 DF = (11,11) Prob>F' = 0.1045

เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในมูลสิ้นสุดการทดลอง

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	0.4744	0.0909	0.0262	22	0.4202
กลุ่มทดลอง	12	0.5023	0.0748	0.0216		

For H_0: Variances are equal, F' = 1.47 DF = (11,11) Prob>F' = 0.5306

เปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสในมูลสิ้นสุดการทดลอง

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	0.2075	0.1219	0.0352	22	0.4195
กลุ่มทดลอง	12	0.1717	0.0889	0.0257		

For H_0: Variances are equal, F' = 1.88 DF = (11,11) Prob>F' = 0.3103

ตารางที่ 10 ค. แสดงวาเรียนซ์ขององค์ประกอบของแร่ธาตุในอาหารข้นที่ใช้ในการทดลอง

เปอร์เซ็นต์ Ca ในอาหารข้น

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	2	1.0578	0.0179	0.0127	2	0.0113
กลุ่มทดลอง	2	1.1759	0.0001	0.0001		

For H_0: Variances are equal, F' = 9999.99 DF = (1,1) Prob>F' = 0.0001

เปอร์เซ็นต์ P ในอาหารข้น

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	2	0.5210	0.0001	0.0001	2	0.5877
กลุ่มทดลอง	2	0.5224	0.0032	0.0023		

For H_0: Variances are equal, F' = 844.11 DF = (1,1) Prob>F' = 0.0438

เปอร์เซ็นต์ K ในอาหารข้น

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	2	1.5078	0.0021	0.0015	2	0.4379
กลุ่มทดลอง	2	1.5209	0.0193	0.0136		

For H_0: Variances are equal, F' = 81.38 DF = (1,1) Prob>F' = 0.1406

เปอร์เซ็นต์ Mg ในอาหารข้น

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	2	1.2326	0.0353	0.0250	2	0.3173
กลุ่มทดลอง	2	1.2666	0.0088	0.0062		

For H_0: Variances are equal, F' = 16.15 DF = (1,1) Prob>F' = 0.3105

เปอร์เซ็นต์ Na ในอาหารข้น

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	2	0.2567	0.0018	0.0013	2	0.4036
กลุ่มทดลอง	2	0.2620	0.0068	0.0048		

For H_0: Variances are equal, F' = 14.57 DF = (1,1) Prob>F' = 0.3262

เปอร์เซ็นต์ Cu ในอาหารข้น

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	2	266.1530	8.9337	6.3170	2	0.1431
กลุ่มทดลอง	2	283.8449	5.7876	4.0925		

For H_0: Variances are equal, F' = 2.38 DF = (1,1) Prob>F' = 0.7319

เปอร์เซ็นต์ Fe ในอาหารข้น

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	2	134.0973	3.9337	2.7815	2	0.0045
กลุ่มทดลอง	2	205.8886	5.5421	3.9188		

For H_0: Variances are equal, F' = 1.98 DF = (1,1) Prob>F' = 0.7859

เปอร์เซ็นต์ Zn ในอาหารข้น

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	2	334.7127	16.6444	11.7694	2	0.2302
กลุ่มทดลอง	2	358.5741	10.7013	7.5669		

For H_0: Variances are equal, F' = 2.42 DF = (1,1) Prob>F' = 0.7275

ตารางที่ 11 ค. แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของการกินได้โภชนะของโคนม

ปริมาณการกินได้วัตถุแห้ง (กิโลกรัมวัตถุแห้ง/ตัว/วัน)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	13.6983	1.0042	0.2899	22	0.0551
กลุ่มทดลอง	12	14.4025	0.6645	0.1918		

For H_0: Variances are equal, F' = 2.37 DF = (11,11) Prob>F' = 0.1678

ปริมาณการกินได้วัตถุแห้ง (g/kg $W^{0.75}$)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	142.2267	7.5777	2.1875	22	0.3097
กลุ่มทดลอง	12	147.4875	15.8016	4.5615		

For H_0: Variances are equal, F' = 4.35 DF = (11,11) Prob>F' = 0.0221

ปริมาณการกินได้โปรตีน (กรัม/ตัว/วัน)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	2307.8867	99.4910	28.7206	22	0.1403
กลุ่มทดลอง	12	2360.5483	65.7450	18.9790		

For H_0: Variances are equal, F' = 2.29 DF = (11,11) Prob>F' = 0.1851

ปริมาณการกินได้โปรตีน (g/kg $W^{0.75}$)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	23.9950	1.1413	0.3295	22	0.8183
กลุ่มทดลอง	12	24.1858	2.6045	0.7518		

For H_0: Variances are equal, F' = 5.21 DF = (11,11) Prob>F' = 0.0109

ปริมาณการกินได้พลังงานรวม (Mcal/ตัว/วัน)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	19.7842	1.1883	0.3430	22	0.2678
กลุ่มทดลอง	12	20.2517	0.7854	0.2267		

For H_0: Variances are equal, F' = 2.29 DF = (11,11) Prob>F' = 0.1853

ปริมาณการกินได้พลังงานรวม (Mcal/kg $W^{0.75}$)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	0.2058	0.0108	0.0031	22	0.7426
กลุ่มทดลอง	12	0.2083	0.0237	0.0068		

For H_0: Variances are equal, F' = 4.77 DF = (11,11) Prob>F' = 0.0154

ตารางที่ 12 ค. แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของปริมาณการกินได้แร่ธาตุของโคนม

ปริมาณการกินได้ Ca (กรัมวัตถุแห้ง/ตัว/วัน)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	125.3140	6.9699	2.0120	22	0.0001
กลุ่มทดลอง	12	140.0368	4.6059	1.3296		

For H_0: Variances are equal, F' = 2.29 DF = (11,11) Prob>F' = 0.1851

ปริมาณการกินได้ P (กรัมวัตถุแห้ง/ตัว/วัน)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	64.2255	3.9000	1.1258	22	0.0456
กลุ่มทดลอง	12	67.0857	2.5772	0.7440		

For H_0: Variances are equal, F' = 2.29 DF = (11,11) Prob>F' = 0.1851

ปริมาณการกินได้ K (กรัมวัตถุแห้ง/ตัว/วัน)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	179.7219	10.1398	2.9271	22	0.0285
กลุ่มทดลอง	12	187.9464	6.7005	1.9343		

For H_0: Variances are equal, F' = 2.29 DF = (11,11) Prob>F' = 0.1851

ปริมาณการกินได้ Mg (กรัมวัตถุแห้ง/ตัว/วัน)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	145.8623	8.0925	2.3361	22	0.0440
กลุ่มทดลอง	12	154.3841	5.3477	1.5437		

For H_0: Variances are equal, F' = 2.29 DF = (11,11) Prob>F' = 0.1851

ปริมาณการกินได้ Na (กรัมวัตถุแห้ง/ตัว/วัน)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	24.6777	0.6227	0.1798	22	0.0427
กลุ่มทดลอง	12	25.5591	0.4115	0.1188		

For H_0: Variances are equal, F' = 2.29 DF = (11,11) Prob>F' = 0.1851

ปริมาณการกินได้ Cu (มิลลิกรัมวัตถุแห้ง/ตัว/วัน)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	2248.0648	6.7348	1.9442	22	0.0001
กลุ่มทดลอง	12	2401.1770	4.4505	1.2847		

For H_0: Variances are equal, F' = 2.29 DF = (11,11) Prob>F' = 0.1851

ปริมาณการกินได้ Fe (มิลลิกรัมวัตถุแห้ง/ตัว/วัน)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	1716.3275	112.1565	32.3768	22	0.0001
กลุ่มทดลอง	12	2392.0173	74.1151	21.3952		

For H_0: Variances are equal, F' = 2.29 DF = (11,11) Prob>F' = 0.1851

ปริมาณการกินได้ Zn (มิลลิกรัมวัตถุแห้ง/ตัว/วัน)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	2935.6698	28.6905	8.2822	22	0.0001
กลุ่มทดลอง	12	3155.6993	18.9593	5.4731		

For H_0: Variances are equal, F' = 2.29 DF = (11,11) Prob>F' = 0.1851

ตารางที่ 13 ค. แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม

ไขมันนม (เปอร์เซ็นต์)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	3.2825	0.5718	0.1651	22	0.5744
กลุ่มทดลอง	12	3.3933	0.3558	0.1027		
For H_0: Variances are equal,		F' = 2.58	DF = (11,11)	Prob>F' = 0.1307		

โปรตีน (เปอร์เซ็นต์)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	2.5875	0.3733	0.1078	22	0.7270
กลุ่มทดลอง	12	2.6325	0.2345	0.0677		
For H_0: Variances are equal,		F' = 2.53	DF = (11,11)	Prob>F' = 0.1384		

แล็คโตส (เปอร์เซ็นต์)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	4.3900	0.2744	0.0792	22	0.3002
กลุ่มทดลอง	12	4.4950	0.2055	0.0593		
For H_0: Variances are equal,		F' = 1.78	DF = (11,11)	Prob>F' = 0.3521		

ของแข็งพร่องในไขมัน (เปอร์เซ็นต์)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	7.9183	0.5517	0.1593	22	0.4963
กลุ่มทดลอง	12	8.0483	0.3455	0.0997		
For H_0: Variances are equal,		F' = 2.55	DF = (11,11)	Prob>F' = 0.1357		

ของแข็งในน้ำนม (เปอร์เซ็นต์)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	11.2000	1.0006	0.2888	22	0.4971
กลุ่มทดลอง	12	11.4292	0.5664	0.1635		
For H_0: Variances are equal,		F' = 3.12	DF = (11,11)	Prob>F' = 0.0719		

ตารางที่ 14 ค. แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของผลผลิตและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม

ปริมาณน้ำนม (กิโลกรัม/วัน)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	17.5008	2.7671	0.7988	22	0.7773
กลุ่มทดลอง	12	17.7658	1.6198	0.4676		

For H_0: Variances are equal, F' = 2.92 DF = (11,11) Prob>F' = 0.0895

ปริมาณน้ำนมปรับไขมัน 4 เปอร์เซ็นต์ (กิโลกรัม/วัน)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	15.4183	1.4492	0.4184	22	0.2574
กลุ่มทดลอง	12	16.1158	1.4893	0.4299		

For H_0: Variances are equal, F' = 1.06 DF = (11,11) Prob>F' = 0.9296

ปริมาณไขมันนม (กรัม/วัน)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	562.1967	48.9301	14.1249	22	0.1230
กลุ่มทดลอง	12	601.5900	69.6119	20.0952		

For H_0: Variances are equal, F' = 2.02 DF = (11,11) Prob>F' = 0.2577

ปริมาณโปรตีนนม (กรัม/วัน)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	444.5800	38.4714	11.1057	22	0.1497
กลุ่มทดลอง	12	464.9342	27.3988	7.9093		

For H_0: Variances are equal, F' = 1.97 DF = (11,11) Prob>F' = 0.2755

ปริมาณแล็คโตส (กรัม/วัน)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	765.9508	113.6961	32.8212	22	0.4189
กลุ่มทดลอง	12	797.6500	69.5556	20.0790		

For H_0: Variances are equal, F' = 2.67 DF = (11,11) Prob>F' = 0.1179

ปริมาณของแข็งพร่องไขมัน (กรัม/วัน)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	1375.7283	165.7974	47.8616	22	0.3691
กลุ่มทดลอง	12	1426.0358	92.8650	26.8078		

For H_0: Variances are equal, F' = 3.19 DF = (11,11) Prob>F' = 0.0670

ปริมาณของแข็งรวมในนม (กรัม/วัน)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	1937.8133	179.2533	51.7460	22	0.2023
กลุ่มทดลอง	12	2025.5400	146.0722	42.1674		

For H_0: Variances are equal, F' = 1.51 DF = (11,11) Prob>F' = 0.5083

ตารางที่ 15 ค. แสดงวาเรียนซ์ของน้ำหนักตัวและการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวของโคนม

น้ำหนักตัวก่อนการทดลอง (กิโลกรัม)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	439.4167	38.2348	11.0374	22	0.4474
กลุ่มทดลอง	12	455.3333	60.1564	17.3656		

For H_0: Variances are equal, F' = 2.48 DF = (11,11) Prob>F' = 0.1482

น้ำหนักตัวหลังการทดลอง (กิโลกรัม)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	445.7500	52.1399	15.0515	22	0.6329
กลุ่มทดลอง	12	458.4167	74.0669	21.3813		

For H_0: Variances are equal, F' = 2.02 DF = (11,11) Prob>F' = 0.2597

น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง (กรัม/ตัว/วัน)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	211.1108	1184.0968	341.8193	22	0.8061
กลุ่มทดลอง	12	102.7783	937.9167	270.7532		

For H_0: Variances are equal, F' = 1.59 DF = (11,11) Prob>F' = 0.4518

น้ำหนักตัวเฉลี่ย (กิโลกรัม)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	442.5833	42.1280	12.1613	22	0.5337
กลุ่มทดลอง	12	456.8750	65.9880	19.0491		

For H_0: Variances are equal, F' = 2.45 DF = (11,11) Prob>F' = 0.1521

ตารางที่ 16 ค. แสดงวาเรียนซ์ของความต้องการโปรตีนของโคนมและปริมาณโปรตีนที่ได้รับจากอาหาร

โปรตีนที่ได้รับจากจุลินทรีย์ (MCP)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	1132.2675	67.7094	19.5460	22	0.0054
กลุ่มทดลอง	12	1204.4850	44.7427	12.9161		

For H_0: Variances are equal, F' = 2.29 DF = (11,11) Prob>F' = 0.1851

ความต้องการโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{req})

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	1332.0808	79.6588	22.9955	22	0.0054
กลุ่มทดลอง	12	1417.0408	52.6400	15.1958		

For H_0: Variances are equal, F' = 2.29 DF = (11,11) Prob>F' = 0.1852

โปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP) ขาด/เกิน

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	171.2292	23.3499	6.7405	22	0.0001
กลุ่มทดลอง	12	83.8183	15.4296	4.4541		

For H_0: Variances are equal, F' = 2.29 DF = (11,11) Prob>F' = 0.1851

โปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP_{sup})

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	804.5783	43.1823	12.4656	22	0.0013
กลุ่มทดลอง	12	859.6867	28.5353	8.2374		

For H_0: Variances are equal, F' = 2.29 DF = (11,11) Prob>F' = 0.1851

โปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP) ขาด/เกิน

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	-269.5567	122.4621	35.3518	22	0.0203
กลุ่มทดลอง	12	-157.0150	96.2878	27.7959		

For H_0: Variances are equal, F' = 1.62 DF = (11,11) Prob>F' = 0.4377

ตารางที่ 17 ค. แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของพลังงานที่โคนมต้องการเพื่อกิจกรรมต่างๆ และประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

การกินได้พลังงานสุทธิ ($NE_{L\ intake}$) (Mcal/วัน)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	19.7842	1.1883	0.3430	22	0.2678
กลุ่มทดลอง	12	20.2517	0.7854	0.2267		

For H_0: Variances are equal, F' = 2.29 DF = (11,11) Prob>F' = 0.1853

พลังงานสุทธิเพื่อการเพิ่มน้ำหนักตัว(NE_{LG}) (Mcal/วัน)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	0.5400	0.0000	0.0000	22	0.0001
กลุ่มทดลอง	12	0.2600	0.0000	0.0000		

NOTE: All values are the same for one CLASS level

พลังงานสุทธิสะสม (NE_{LR}) (Mcal/วัน)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	19.1200	0.8850	0.2555	22	0.2254
กลุ่มทดลอง	12	19.2600	1.0611	0.3063		

For H_0: Variances are equal, F' = 1.44 DF = (11,11) Prob>F' = 0.5574

ตารางที่ 18 ค. แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของปริมาณแร่ธาตุในพลาสมาของโคนม

ปริมาณแคลเซียมในพลาสมาสิ้นสุดการทดลอง (mmol/l)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	2.9550	0.2472	0.0714	22	0.4187
กลุ่มทดลอง	12	3.2400	1.1721	0.3384		

For H_0: Variances are equal, F' = 22.48 DF = (11,11) Prob>F' = 0.0000

ปริมาณฟอสฟอรัสในพลาสมาสิ้นสุดการทดลอง (mmol/l)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	2.4155	0.3341	0.0964	22	0.8171
กลุ่มทดลอง	12	2.4645	0.6435	0.1858		

For H_0: Variances are equal, F' = 3.71 DF = (11,11) Prob>F' = 0.0396

ปริมาณโพแทสเซียมในพลาสมาสิ้นสุดการทดลอง (mmol/l)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	5.2703	0.6393	0.1845	22	0.1386
กลุ่มทดลอง	12	5.6222	0.4242	0.1279		

For H_0: Variances are equal, F' = 2.27 DF = (11,10) Prob>F' = 0.2072

ปริมาณแมกนีเซียมในพลาสมาสิ้นสุดการทดลอง (mmol/l)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	0.7309	0.0865	0.0250	22	0.7438
กลุ่มทดลอง	12	0.7204	0.0632	0.0191		

For H_0: Variances are equal, F' = 1.87 DF = (11,10) Prob>F' = 0.3325

ปริมาณโซเดียมในพลาสมาสิ้นสุดการทดลอง (mmol/l)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	143.4958	15.9900	4.6159	22	0.1673
กลุ่มทดลอง	12	135.4236	10.1292	3.0541		

For H_0: Variances are equal, F' = 2.49 DF = (11,10) Prob>F' = 0.1615

ปริมาณทองแดงในพลาสมาสิ้นสุดการทดลอง (µmol/l)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	13.8892	2.7806	0.8027	22	0.3329
กลุ่มทดลอง	12	14.9482	2.2923	0.6911		

For H_0: Variances are equal, F' = 1.47 DF = (11,10) Prob>F' = 0.5507

ปริมาณเหล็กในพลาสมาสิ้นสุดการทดลอง (µmol/l)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	15.7550	3.0594	0.8832	22	0.0003
กลุ่มทดลอง	12	20.3280	0.6525	0.2175		

For H_0: Variances are equal, F' = 21.98 DF = (11,8) Prob>F' = 0.0001

ปริมาณสังกะสีในพลาสมาสิ้นสุดการทดลอง (µmol/l)

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	17.1053	2.5478	0.7355	22	0.7373
กลุ่มทดลอง	12	17.4267	2.0613	0.5950		

For H_0: Variances are equal, F' = 1.53 DF = (11,11) Prob>F' = 0.4936

ตารางที่ 19 ค. แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของ nitrogen และ phosphorus ในมูลโคนม

เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งในมูลสิ้นสุดการทดลอง

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	20.0945	1.1528	0.3328	22	0.0248
กลุ่มทดลอง	12	21.2204	1.1369	0.3282		

For H_0: Variances are equal, F' = 1.03 DF = (11,11) Prob>F' = 0.9639

เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในมูลสิ้นสุดการทดลอง

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	0.6321	0.1211	0.0349	22	0.7233
กลุ่มทดลอง	12	0.6481	0.0966	0.0279		

For H_0: Variances are equal, F' = 1.57 DF = (11,11) Prob>F' = 0.4658

เปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสในมูลสิ้นสุดการทดลอง

TRT	N	Mean	Std Dev	Std Error	DF	Prob>T
กลุ่มควบคุม	12	0.4100	0.1147	0.0331	22	0.5274
กลุ่มทดลอง	12	0.3808	0.1077	0.0311		

For H_0: Variances are equal, F' = 1.13 DF = (11,11) Prob>F' = 0.8403

ประวัติผู้เขียน

นางสาวชิดชนก นวลฉิมพลี เกิดเมื่อวันที่ 4 พฤษภาคม พ.ศ. 2523 ที่จังหวัดนครราชสีมา ศึกษาระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนปักธงชัยประชานิรมิต และสำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2540 ศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาเมื่อปีการศึกษา 2544 และได้ศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ในปีการศึกษา พ.ศ. 2545