ผลของการเสริมไบโอตินในอาหารโคนมต่อผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบและกรดไขมันของน้ำนม

นายพิทักษ์พงษ์ แพงสาย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2552

EFFECTS OF BIOTIN SUPPLEMENTATION OF DAIRY COWS ON MILK PRODUCTION, MILK COMPOSITION AND FATTY ACIDS PROFILE

Pitakpong Pangsai

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 2009

ผลของการเสริมไบโอตินในอาหารโคนมต่อผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบและกรดไขมันของน้ำนม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

_____

(รศ. ดร.พงษ์ชาญ ณ ลำปาง)
ประธานกรรมการ

_____

(ผศ. ดร.พิพัฒน์ เหลืองลาวัณย์)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

_____

(รศ. ดร.วิศิษฐิพร สุขสมบัติ)
กรรมการ

_____

(ผศ. ดร.ปราโมทย์ แพงคำ)
กรรมการ

_____

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปีจำนงค์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

_____

(ผศ. ดร.สุเวทย์ นิงสานนท์)
คณบดีสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

พิทักษ์พงษ์ แพงสาย : ผลของการเสริมไบโอตินในอาหารโคนมต่อผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบและกรดไขมันของน้ำนม (Effects of biotin supplementation of dairy cows on milk production milk composition and fatty acids profile) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิพัฒน์ เหลืองลาวัณย์, 144 หน้า.

วิทยานิพนธ์นี้ศึกษาถึงการเสริมไบโอตินที่ระดับ 0, 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อตัวต่อวัน ต่อการให้ผลผลิตของโคนมและกรดไขมันในน้ำนมในโคนมลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชียน การศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วย 2 ส่วน กล่าวคือ การศึกษาเกี่ยวกับการหมักย่อยในกระเพาะหมัก และการศึกษาเกี่ยวกับผลผลิตน้ำนมตลอดจนปริมาณของกรดไขมันในน้ำนม

การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของการเสริมไบโอตินต่อระบบนิเวศวิทยาในกระเพาะหมักของโคนม โดยใช้โคเจาะกระเพาะลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชียน จำนวน 3 ตัว จัดการทดลองแบบ 3x3 Latin squares โดยให้โคเจาะกระเพาะได้รับอาหารข้นร่วมกับไบโอตินในระดับ 0, 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อตัวต่อวัน พบว่าโคนมที่ได้รับการเสริมไบโอติน 0, 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อตัวต่อวัน มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าความเข้มข้นแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) ความเข้มข้นของกรด อะซิติก กรดโพรพิออนิก กรดบิวทีริก และอัตราส่วนกรดอะซิติกต่อกรดโพรพิออนิก ของของเหลวในกระเพาะหมักของโคนม ทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากการทดลองทั้งหมดนี้สรุปได้ว่า การเสริมไบโอตินที่ระดับ 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อตัวต่อวัน ไม่ทำให้ระดับ pH, แอมโมเนียไนโตรเจน รวมไปถึงปริมาณของกรดไขมันระเหยได้ในกระเพาะหมักมีการเปลี่ยนแปลง

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของการเสริมไบโอตินที่ระดับ 0, 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อตัวต่อวัน ต่อการกินได้ของวัตถุแห้ง การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว ผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบทางเคมีและกรดไขมันในน้ำนมของโคนม โดยใช้โคนมลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชียน จำนวน 24 ตัว มีปริมาณน้ำนมเฉลี่ย 13 ± 2.4 กิโลกรัม จำนวนวันของการให้น้ำนมเฉลี่ย 64 ± 45 วัน น้ำหนักตัวเฉลี่ย 375 ± 26 กิโลกรัม อายุเริ่มต้นในการทดลองเฉลี่ย 55 ± 16 เดือน แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มการทดลอง กลุ่มละ 8 ตัว จัดแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) โดยทำการ block ด้วยปริมาณน้ำนม โดยที่กลุ่มควบคุมไม่ได้รับการเสริมไบโอติน กลุ่มการทดลองที่ 1 ได้รับการเสริมไบโอติน 20 มิลลิกรัมต่อตัวต่อวัน และกลุ่มการทดลองที่ 2 ได้รับการเสริมไบโอติน 40 มิลลิกรัมต่อตัวต่อวัน โคนมทั้ง 3 กลุ่มการทดลองได้รับหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ ใช้ระยะเวลาในการทดลอง 37 วัน ใช้ระยะเวลาในการปรับตัวของโคทดลอง 7 วัน และช่วงการเก็บข้อมูล 30 วัน แบ่งออก เป็น 6 ช่วงการทดลอง ช่วงละ 5 วัน มีการบันทึกข้อมูลการกินได้ของวัตถุแห้ง น้ำหนักตัว ผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบทางเคมีและกรดไขมันในน้ำนม ผลการทดลองพบว่า

การกินได้วัตถุแห้ง น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง ผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณของกรดไขมันในน้ำนม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) นอกจากนี้ในส่วนของโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDPsup) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RUPsup) และพลังงานสุทธิที่โคนมต้องการและพลังงานสุทธิที่ได้รับจากอาหารของทั้ง 3 กลุ่มการทดลองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ปีการศึกษา 2552 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม _____

PITAKPONG PANGSAI : EFFECTS OF BIOTIN SUPLEMENTATION OF DAIRY COWS ON MILK PRODUCTION, MILK COMPOSITION AND FATTY ACIDS PROFILE. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. PIPAT LOUNGLAWAN, Ph.D., 144 PP.

MILK FATTY ACIDS/MILK COMPOSITION/BIOTIN/MILK PRODUCTION/DAIRY COWS

The objective of this study was to determine the effects of biotin supplementation on milk production and milk fatty acids in crossbred Holstein Friesian dairy cows. This research was divided into 2 experiments.

The first experiment was carried out to investigate the effects of different levels of biotin supplementation in crossbred Holstein Friesian dairy cows on rumen ecology. In this experiment, three Holstein Friesian cows fitted with cannula were assigned to three treatments in a 3x3 Latin square. The treatments consist of 0 (control), 20 (Tr1) and 40 (Tr2) mg biotin/cow/day. The rumen pH, ammonia N, acetate, propionate, butyrate and acetate: propionate ratio in ruminal fluids were unaffected by treatments.

The second experiment was conducted to investigate the effects of biotin supplementation to dairy cows dairy cows on dry matter intake, live weight change, milk production, milk composition and milk fatty acids. Twenty-four Crossbred Holstein-Friesian cows with the average 13 ± 2.4 kg milk yield, 64 ± 45 days in milk, 375 ± 26 kg body weight, and age 55 ± 16 month were classified into 3 treatment groups (8 cows in each group). The experimental design was a Randomized

Completely Block Design (RCBD) in which cows were blocked by milk production. The first group was fed 21% CP concentrate, the second group 21% CP concentrate and 20 mg biotin, and the last group 21% CP concentrate and 40 mg biotin. All three groups were fed grass silage as roughage. The experiment lasted 37 days with the first 7 days being considered as adaptation period and measurements were made during the last 30 days in 6 periods of 5 days. Daily milk yields were recorded. Milk sample and dry matter intake were collected in 2 consecutive days during the 5-day period. Live weights were recorded at the start and at the end of the experiment. The results showed no significant statistical differences in dry matter intake, live weight change, milk yield milk compositions, and milk fatty acids ($P>0.05$). The rumen degradable protein (RDP), rumen undegradable protein (RUP) supplies and net energy intake were similar in all groups.

School of Animal Production Technology
Academic Year 2009

Student's Signature _____
Advisor's Signature_____
Co-advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการและด้านดำเนินงานวิจัยจาก

รองศาสตราจารย์ ดร.วิศิษฐิพร สุขสมบัติ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิพัฒน์ เหลืองลาวัณย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้โอกาสและทุนการศึกษาในการศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา ให้คำแนะนำและแนวคิดที่เป็นประโยชน์ทั้งในด้านวิชาการ ด้านการดำเนินการวิจัยตลอดรวมทั้งช่วยตรวจทาน แนะนำในการเขียนวิทยานิพนธ์ สนับสนุนงบประมาณในการดำเนินการวิจัยจนเสร็จสมบูรณ์ และกราบขอบพระคุณอาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ตลอดจนอาจารย์ทุก ๆ ท่านที่ได้กรุณาอบรมสั่งสอน ถ่ายทอดความรู้และประสบการณ์ต่าง ๆ จนเกิดความรู้และปัญญา

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

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา จนทำให้ประสบความสำเร็จในการศึกษา

พิทักษ์พงษ์ แพงสาย

สารบัญ

หน้า

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

บทที่

1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2
1.3 สมมติฐานของการวิจัย 2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
1.6 เอกสารอ้างอิง 2
2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 วิตามินที่ละลายในไขมัน(Fat-soluble vitamin) 4
2.1.1 วิตามินเอ (Vitamin A) 5
2.1.2 วิตามินดี (Vitamin D) 8
2.1.3 วิตามินอี (Vitamin E) 12
2.1.4 วิตามินเค (Vitamin K) 15
2.2 วิตามินที่ละลายในน้ำ (Water-soluble vitamins) 15
2.2.1 บี วิตามิน (B vitamin) 16
2.2.1.1 ไบโอติน (Biotin) 16

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.1.2 กรดโฟลิค (Folic acid) 21
2.2.1.3 อีโนซิตอล (Inositol) 22
2.2.1.4 ไนอาซิน (Niacin) 22
2.2.1.5 วิตามิน B_5 (Pantothenic acid) 23
2.2.1.6 วิตามิน B_2 (Riboflavin) 24
2.1.1.7 วิตามิน B_1 (Thiamin) 24
2.1.1.8 วิตามิน B_{12} (Vitamin B_{12}) 25
2.2.2 วิตามิน ซี (Vitamin C) 25
2.2.3 โคลีน (Choline) 25
2.3 ความต้องการพลังงานในโคนม 28
2.3.1 หน่วยของพลังงาน 29
2.3.1.1 โภชนะย่อยได้ทั้งหมด 29
2.3.1.2 Calorie System 29
2.3.2 การจำแนกประเภทของพลังงาน 29
2.3.2.1 พลังงานรวม 29
2.3.2.2 พลังงานย่อยได้ 30
2.3.2.3 พลังงานใช้ประโยชน์ 30
2.3.2.4 พลังงานสุทธิ 31
2.3.3 การประเมินคุณค่าทางพลังงานตาม NRC (2001) 34
2.3.3.1 พลังงานจาก NFC 35
2.3.3.2 พลังงานจากโปรตีน 36
2.3.3.3 พลังงานจากไขมัน 37
2.3.3.4 พลังงานจาก NDF 37
2.3.3.5 การประมาณค่า DE 40
2.3.3.6 การประมาณค่าพลังงานสุทธิ (Net energy, NE_L) 42
2.3.4 ความต้องการโปรตีนในโคนม 43
2.3.4.1 การคำนวณโปรตีนในอาหาร 44

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.4.2 การคำนวณความต้องการโปรตีนในตัวโคนม 44
2.4 การให้น้ำนมของโค 47
2.4.1 การสังเคราะห์นม (Milk synthesis) 47
2.4.1.1 การสังเคราะห์แล็คโตส (Lactose synthesis) 47
2.4.1.2 การสังเคราะห์โปรตีน (Protein synthesis) 48
2.4.1.3 การสังเคราะห์ไขมัน (Fat synthesis) 49
2.5 รายการอ้างอิง 49
3 การศึกษาผลของการเสริมไบโอตินต่อการหมักย่อยในกระเพาะหมัก 62
3.1 คำนำ 62
3.2 วัตถุประสงค์ 62
3.3 อุปกรณ์และวิธีการ 62
3.3.1 การจัดการโคเจาะกระเพาะสำหรับทดลองและการให้อาหาร 62
3.3.2 วิธีการทดลองและเก็บข้อมูล 63
3.3.2.1 ระดับความเป็นกรดด่าง (pH) ในกระเพาะหมัก 63
3.3.2.2 ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียในของเหลว
จากกระเพาะหมัก 63
3.3.2.3 การเก็บตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์หากรดไขมันระเหยได้ 64
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 64
3.5 สถานที่ทำการทดลองและระยะเวลาในการทำการทดลอง 65
3.6 ระยะเวลาทำการทดลอง 65
3.7 ผลการทดลอง และอภิปรายผลการทดลอง 65
3.7.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของของเหลวในกระเพาะหมัก 65
3.7.2 ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนของของเหลวในกระเพาะหมัก 65
3.7.3 ความเข้มข้นของกรดไขในระเหยได้ของของเหลวในกระเพาะหมัก 66
3.8 วิจารณ์ผลการทดลอง 68
3.8.1 ความเป็นกรดเป็นด่างของของเหลวในกระเพาะหมัก 68
3.8.2 ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนของของเหลวในกระเพาะหมัก 69

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.8.3 ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ของของเหลวในกระเพาะหมัก 69
3.9 สรุปผลการทดลอง 70
3.10 รายการอ้างอิง 71
4 การศึกษาผลของการเสริมไบโอตินต่อผลผลิต องค์ประกอบทางเคมี และกรดไขมันในน้ำนม 73
4.1 คำนำ 73
4.2 วัตถุประสงค์ 73
4.3 อุปกรณ์และวิธีการ 74
4.3.1 การจัดการสัตว์ทดลองและการให้อาหาร 74
4.3.2 วิธีการทดลองและเก็บข้อมูล 75
4.3.3 การศึกษาองค์ประกอบและปริมาณของกรดไขมัน 76
4.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 77
4.5 สถานที่ทำการทดลองและระยะเวลาในการทำการทดลอง 78
4.6 ระยะเวลาทำการทดลอง 78
4.7 ผลการทดลอง 78
4.7.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร 78
4.7.2 ปริมาณการกินได้ของโคนม 82
4.7.3 การประมาณค่าโปรตีนและพลังงานของโคนมที่ได้รับอาหารข้นสูตรทดลอง 84
4.7.4 น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง 87
4.7.5 ปริมาณน้ำนมและปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม 87
4.7.6 องค์ประกอบของกรดไขมันในสูตรอาหารและในน้ำนม 90
4.8 วิจารณ์ผลการทดลอง 93
4.8.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร 93
4.8.2 ปริมาณการกินได้ของโคนม 94
4.8.3 การประมาณค่าโปรตีนและพลังงานของโคนมที่ได้รับอาหารข้นสูตรทดลอง 94

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.8.4 น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง....96
4.8.5 ปริมาณน้ำนมและปริมาณองค์ประกอบของน้ำนม....96
4.8.6 องค์ประกอบของกรดไขมันในสูตรอาหารและในน้ำนม....97
4.9 สรุปผลการทดลอง....97
4.10 รายการอ้างอิง....98
5 สรุปและข้อเสนอแนะ....101
ภาคผนวก....103
ภาคผนวก ก การประเมินพลังงานและโปรตีน....103
ภาคผนวก ข ตารางวิเคราะห์วาเรียนซ์....112
ประวัติผู้เขียน....144

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ผลการเสริมไบโอตินต่อประสิทธิภาพการให้ผลผลิตในน้ำนม....20
2.2 ชนิดและหน้าที่การทำงานของวิตามิน....28
2.3 กระบวนการปรับปัจจัยสำหรับ NFC....36
2.4 ประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีนหยาบเพื่อใช้ในการประมาณค่า TDN_{1X}สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสัตว์....39
2.5 ประสิทธิภาพการย่อยได้เพื่อการดำรงชีวิตสำหรับอาหารสัตว์พวกไขมัน....39
3.1 การจัดกลุ่มทดลองโคเจาะกระเพาะ....63
3.2 ผลการเสริมไบโอตินต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับความเป็นกรด-ด่าง และแอมโมเนียไนโตรเจนภายในกระเพาะหมักที่เวลาต่างๆหลังการให้อาหาร....66
3.3 ผลการเสริมไบโอตินต่อความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ ของของเหลวในกระเพาะหมักที่เวลาต่าง ๆ หลังการให้อาหาร....67
4.1 แสดงลักษณะที่ใช้ในการจัดกลุ่มโคก่อนการทดลอง....74
4.2 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารข้นสำเร็จรูปและอาหารหยาบ....79
4.3 คุณค่าทางพลังงานในสูตรอาหารข้นสำเร็จรูป และข้าวโพดหมัก....80
4.4 การย่อยสลายวัตถุแห้งของอาหารข้นสำเร็จรูป และหญ้าหมัก....81
4.5 การย่อยสลายโปรตีนของอาหารข้นสำเร็จรูป และหญ้าหมัก....81
4.6 เปอร์เซ็นต์การย่อยสลายวัตถุแห้งและการย่อยสลายโปรตีนของ อาหารสำเร็จรูปและอาหารหยาบ....82
4.7 ผลของการเสริมไบโอตินต่อปริมาณการกินได้ของโคนม....83
4.8 ปริมาณของโปรตีนที่ได้รับจากอาหารและความโคนมต้องการ....85
4.9 พลังงานที่โคนมต้องการเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ และที่โคนมได้รับจากอาหาร....86
4.10 ผลของการเสริมไบโอตินในโคนมต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว....87
4.11 ผลของการเสริมไบโอตินต่อปริมาณผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบ ทางเคมีของน้ำนมในโคนม....89
4.12 ผลของการเสริมไบโอตินต่อองค์ประกอบของน้ำนมในโคนม....90

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.13 ปริมาณของกรดไขมันในสูตรอาหารข้นและหญ้าหมัก (% of total fatty acids)..... 91
4.14 ผลของการเสริมไบโอตินต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำนม 91

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1 การทำงานของไบโอตินในขบวนการ Gluconeogenic และ lipogenic.....17
2.2 ขั้นตอนการจำแนกพลังงานประเภทต่าง ๆ.....34

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ADF	=	Acid detergent fiber
ADICP	=	Acid detergent insoluble crude protein
ADIN	=	Acid detergent insoluble N
ADL	=	Acid detergent lignin
C4:0	=	Butyric acid
C6:0	=	Caproic acid
C8:0	=	Caprylic acid
C10:0	=	Capric acid
C11:0	=	Cis-10-Pentadecenoic acid
C12:0	=	Lauric acid
C13:0	=	Tridecanoic acid
C14:0	=	Myristic acid
C14:1	=	Myristoleic acid
C15:0	=	Pentadecanoic acid
C16:0	=	Palmitic acid
C16:1	=	Palmitoleic acid
C18:0	=	Stearic acid
C18:1n9t	=	Elaidic acid
C18:1n9c	=	Oleic acid
C18:2n6t	=	Linolelaidic acid
C18:2n6c	=	Linoleic acid
C18:3n3	=	α -Linoleic acid
C20:0	=	Arachidic acid
C20:1n9	=	cis-11-Eicosenoic acid
C20:3n6	=	cis-8,11,14-Eicosatrienoic acid
C22:0	=	Behenic acid
C22:2	=	cis-13,16-Docosadienoic

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

FCM	=	Fat corrected milk
IU	=	international unit
NAD	=	nicotinamide adenine dinucleotide
NADP	=	nicotinamide adenine dinucleotide phosphate
NDF	=	Neutral detergent fiber
NDICP	=	Neutral detergent insoluble crude protein
NDIN	=	Neutral detergent insoluble N
NE	=	Net energy
NFC	=	Non-fiber carbohydrate
NPN	=	Non protein nitrogen
NRC	=	National research council
ppm	=	part per million
RDP	=	Rumen degradable protein
RDPreq	=	Rumen degradable protein requirement
RDPsup	=	Rumen degradable protein supply
RUP	=	Rumen undegradable protein
RUPreq	=	Rumen undegradable protein requirement
RUPsup	=	Rumen undegradable protein supply
tdCP	=	Truly digested crude protein

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ถึงแม้การเลี้ยงโคนมและความต้องการการบริโภคน้ำนมในประเทศไทยจะมีการขยายตัวเป็นอย่างมากในช่วงเวลาหลายปีที่ผ่านมา แต่เมื่อพิจาราณาถึงความสามารถการให้ผลผลิตของโคนมในประเทศไทยในปัจจุบันยังถือว่าอยู่ในระดับต่ำ คือ 9-11 กิโลกรัม/ตัว/วัน ดังนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพการให้ผลผลิตของโคนมจึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะทำให้เกษตรกรมีรายได้จากการเลี้ยงโคนมเพิ่มสูงขึ้น ไบโอตินนิยมถูกใช้ในการเสริมร่วมกับอาหารของโคนมเพื่อป้องกันการเกิดปัญหาเกี่ยวกับสุขภาพกีบ (Hoof health) ต่าง ๆ เช่น Lameness (Midla, Hoblet, Weiss, and Moeschberger, 1998; Potzsch, Collis, Blowey, Packington, and Green, 2003) ยังพบว่าการเสริมไบโอตินในอาหารของโคนมสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการให้ผลผลิตน้ำนมของโคนมได้อีกด้วย โดยไบโอตินจะเป็นโคเอนไซม์ Pyruvate carboxylase ซึ่งจะช่วยเร่งในปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลง Pyruvate ให้เป็น Oxaloacetate ในไมโตคอนเดรีย โดย Oxaloacetate เป็นสารตัวกลางในการสังเคราะห์กลูโคส ซึ่งกลูโคสนั้นโคนมจะใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์เป็นน้ำนม Zimmerly and Weiss (2001) พบว่าสามารถเพิ่มผลผลิตน้ำนมได้ 3.3 กิโลกรัม/วัน เมื่อเสริมไบโอตินให้กับโค 20 มิลลิกรัม/ตัว/วัน เช่นเดียวกับ Majee, Schwab, Bertics, Seymour, and Shaver (2003) ที่เสริมไบโอตินให้กับโคนมแล้วสามารถเพิ่มผลผลิตน้ำนมได้วันละ 1.7 กิโลกรัม นอกจากคุณสมบัติของไบโอตินที่กล่าวมาแล้วข้างต้น Mellenberger, Bauman, and Nelson (1973) ยังพบว่าไบโอตินนั้นเป็น Cofactor ของเอนไซม์ Acetyl-CoA carboxylase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ถูกใช้ในขั้นตอนแรกของการสังเคราะห์กรดไขมันจาก Acetate และกรดไขมันในน้ำนม โดยเอนไซม์นี้จะหลั่งมาจากต่อมน้ำนมแต่จะถูกหลั่งในปริมาณที่จำกัด ทั้งนี้ยังพบว่าไบโอตินนั้นจำเป็นสำหรับจุลินทรีย์กลุ่ม Cellulolytic bacteria (Scott and Dehority, 1965) ซึ่งแบคทีเรียกลุ่มนี้นั้นมีความจำเป็นในขบวนการเปลี่ยนไขมันที่เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวไปเป็นกรดไขมันชนิดที่อิ่มตัว (Biohydrogenation) ซึ่งขบวนการ Biohydrogenation นี้อาจจะทำให้ปริมาณของกรดไขมันที่อิ่มตัวในน้ำนมเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งพบว่ากรดไขมันที่อิ่มนี้ตัวเป็นสาเหตุในการเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดโรคต่างๆในมนุษย์ (Harfoot and Hazlewood, 1988) ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงเป็นไปเพื่อแสดงให้เห็นถึง การเสริมไบโอตินในโคนมต่อประสิทธิภาพการให้ผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบและสัดส่วนของกรดไขมันในน้ำนมในโคนม

ระยะแรก (Early lactation) ของการให้นม

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของการเสริมไบโอตินต่อผลผลิตน้ำนมในโคนม

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของการเสริมไบโอตินต่อองค์ประกอบและกรดไขมันของน้ำนมในโคนม

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1.3.1 การเสริมไบโอตินในอาหารโคนมสามารถส่งเสริมให้ผลผลิตน้ำนมสูงขึ้น

1.3.2 การเสริมไบโอตินในอาหารโคนมสามารถส่งผลให้องค์ประกอบทางเคมีในน้ำนมสูงขึ้น

1.3.3 การเสริมไบโอตินในอาหารโคนมไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของกรดไขมันในน้ำนมของโคนม

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาถึงผลการใช้ไบโอตินในระดับ 20 มิลลิกรัมต่อตัวต่อวัน และ 40 มิลลิกรัมต่อตัวต่อวัน ในโคนมลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชียน (Crossbred Holstein Friesian) ในช่วงต้นของการให้นมเพื่อศึกษาผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบน้ำนม และกรดไขมันในน้ำนมของโคม

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบถึงปริมาณผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนมในโคนม ที่ได้รับการเสริมไบโอติน

1.5.2 ทราบถึงสัดส่วนของกรดไขมันในน้ำนมของโคนมเมื่อได้รับการเสริมไบโอติน

1.5.3 ทราบถึงระดับที่เหมาะสมของไบโอตินที่จะเสริมให้กับโคนม

1.6 เอกสารอ้างอิง

Harfoot, C., and Hazlewood, G. P. (1988). Lipid metabolism in the rumen. In Hobson, P. N. (ed.), **The Rumen Microbial Ecosystem** (pp 285-322). London: Elsevier Science Publishers.

Majee, D. N., Schwab, E. C., Bertics, S. J., Seymour, W. M., and Shaver, R. D. (2003). Lactation performance by dairy cows fed supplemental biotin and a B-Vitamin Blend. **J. Dairy Sci**. 86: 2106-2112.

Mellenberger, R. W., Bauman, D. E., and Nelson, D. R. (1973). Fatty acid and lactose synthesis in cow mammary tissue. **J. Biochem**. 136: 741–748.

Midla, L. T., Hoblet, K. H., Weiss, W. P., and Moeschberger, M. L. (1998). Supplemental dietary biotin for prevention of lesions associated with aseptic subclinical laminitis (pododermatitis aseptica diffusa) in primiparous cows. **Am. J. Vet. Res**. 59: 733–738.

Potzsch, C. J., Collis, V. J., Blowey, R. W., Packington, A. J., and Green, L. E. (2003). The impact on parity and duration of biotin supplementation on white line lameness in dairy cattle. **J. Dairy Sci**. 86: 2577-2582.

Scott, H. W., and Dehority, B. A. (1965). Vitamin requirements of several cellulolytic rumen bacteria. **J. Bacteriol**. 89: 1169–1175.

Zimmerly, C. A., and Weiss, W. P. (2001). Effects of supplemental dietary biotin on performance of Holstein cows during early lactation. **J. Dairy Sci**. 84: 498-506.

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง (Ruminants) นั้นมีความต้องการวิตามินที่แตกต่างกันออกไปจากสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง (Non-ruminants) ซึ่งโคนมต้องการวิตามินเพื่อการเจริญเติบโตและเพื่อรักษาสุขภาพของตัวโคนมเอง จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักและระบบทางเดินอาหาร สามารถที่จะสังเคราะห์จากอาหารที่โคได้รับในแต่ละวัน เช่น วิตามินบีรวม (B-complex) วิตามินเค (K) นั้นจุลินทรีย์สามารถสังเคราะห์ได้พอเพียงกับความต้องการของโค วิตามินซี (C) โคจะสามารถสังเคราะห์ได้เอง ดังนั้นความต้องการเติมวิตามินในอาหารโคนม จึงจำเป็นเฉพาะในกลุ่มวิตามิน A, D และ E (วิตามินที่ละลายในไขมัน) แต่ในลูกโคถึงระยะหย่านมนั้นต้องการวิตามินเกือบทุกชนิด เพราะกระเพาะหมักนั้นยังไม่พัฒนาเต็มที่ จึงยังไม่สามารถสังเคราะห์วิตามินเองได้ (วิโรจน์ ภัทรจินดา, 2546)

วิตามินนั้นถูกจัดออกเป็น 2 ประเภทคือ วิตามินที่ละลายในไขมันและวิตามินที่ละลายในน้ำ โดยวิตามินที่ละลายในไขมันประกอบไปด้วย วิตามิน A, D, E และ K ส่วนวิตามินที่ละลายในไขมันนั้นประกอบไปด้วยวิตามิน C และ B-vitamins วิตามินมีหน้าที่การทำงานที่หลากหลาย เช่น ขบวนการเมแทบอลิซึมต่าง ๆ ของร่างกาย ระบบภูมิคุ้มกันและควบคุมการทำงานของเซลล์ การขาดวิตามินนั้นจะทำให้เกิดผลกระทบต่อร่างกาย เช่น การขาดวิตามิน D จะทำให้เกิดภาวะโรคกระดูกอ่อน ในบางครั้งการขาดวิตามินในปริมาณน้อยนั้นไม่ทำให้เกิดโรคในสัตว์แต่พบว่าสุขภาพของสัตว์นั้นจะอ่อนแอ

2.1 วิตามินที่ละลายในไขมัน (Fat-soluble vitamin)

โคนมนั้นต้องการวิตามินที่ละลายในไขมัน คือวิตามิน A, D, E และ K แต่อย่างไรก็ตามพบว่า วิตามินที่โคนมต้องการในอาหารนั้นคือ วิตามิน A และ E โดยวิตามิน K นั้นโคนมสามารถสังเคราะห์ได้โดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในลำไส้ วิตามิน D สามารถสังเคราะห์ได้จากแสงแดดโดยผิวหนังของโคเอง ถึงแม้สัตว์จะสังเคราะห์วิตามิน K และ D ได้โดยตัวสัตว์และได้รับจากอาหารสัตว์ สัตว์ก็มีโอกาสที่จะขาดวิตามินเหล่านี้ได้ เพราะปริมาณของวิตามินนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบอาหารสัตว์ และปริมาณของแสงแดดที่โคได้รับ ซึ่งพบว่าระบบการเลี้ยงโคนมที่สัตว์ถูกกักขังอยู่ในคอกและมีโอกาสสัมผัสกับแสงแดดน้อย รวมไปถึงโคนมที่ได้รับอาหารที่เป็นหญ้าสดเพียงอย่างเดียวนั้นสัตว์มีโอกาสที่จะขาดวิตามินเหล่านี้ได้ ดังนั้นจึงควรที่เสริม วิตามิน A, D และ E

2.1.1 วิตามินเอ (Vitamin A)

วิตามิน A นั้นจะประกอบไปด้วยเรตินอล (Retinol หรือ Vitamin A1) ซึ่งพบว่า 1 International Unit (IU) ของวิตามิน A จะประกอบไปด้วย 0.3 μg ของ all– *trans* Retinol (0.344 μg ของ *-tran* retinyl acetate หรือ 0.550 μg ของ *-tran* retinyl palmitate) ซึ่งเรตินอลนี้ไม่สามารถพบได้ในพืช แต่พบว่าในวัตถุดิบอาหารนั้นมีเบตาแคโรทีน (β-carotene) (Provitamin A) ซึ่งสามารถเปลี่ยนไปเป็นวิตามิน A ได้ แต่ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนเบตาแคโรทีนไปเป็นวิตามิน A นั้นจะต่ำมากและในวัตถุดิบอาหารสัตว์มักมีเบตาแคโรทีนที่ต่ำ เบตาแคโรทีนส่วนมากจะพบในวัตถุดิบอาหารจำพวกผักและหญ้า แต่ส่วนมากจะพบในธัญพืชและผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับธัญพืช เช่น ผลพลอยได้จากข้าวโพด โดยพบว่าปริมาณของเบตาแคโรทีนนั้นจะลดลงเมื่อหญ้ามีอายุในการปลูกเพิ่มขึ้น (Park, Anderson, Walters, and Mahoney, 1983) เบตาแคโรทีนจะถูกอ๊อกซิไดซ์ (Oxidize) อย่างรวดเมื่อพืชอาหารสัตว์ถูกตัด และจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อพืชอาหารสัตว์นั้นถูกนำไปเก็บรักษาไว้ เช่น ในรูปของหญ้าแห้ง หรือหญ้าหมัก ซึ่งปริมาณของเบตาแคโรทีนในหญ้าที่ถูกเก็บไว้นั้นจะต่ำกว่า เบตาแคโรทีนที่อยู่ในหญ้าสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Bruhn and Oliver, 1978; Park et al., 1983) ระยะในการเก็บรักษาพืชอาหารสัตว์นั้นจะมีผลโดยตรงต่อปริมาณของเบตาแคโรทีน ซึ่งพบว่าถ้าเก็บพืชอาหารสัตว์ไว้เป็นระยะเวลานานจะทำให้เบตาแคโรทีนนั้นมีปริมาณลดลง ปริมาณของเบตาแคโรทีนในพืชอาหารสัตว์ก็จะมีปริมาณที่แตกต่างกันไป

รูปแบบทั่วไปของวิตามินที่ใช้เสริมในอาหารสัตว์ในประเทศสหรัฐอเมริกานั้นมีทั้งรูปแบบของ *-tran* retinyl acetate และ *-tran* retinyl palmitate การจัดเก็บวิตามินนั้นหากเก็บไว้ในที่ที่เหมาะสมจะมีสูญเสียร้อยละ 1 ต่อเดือน แต่หากเก็บไว้รวมกับแร่ธาตุ วัตถุดิบอาหาร หรือในรูปของการอัดเม็ดจะมีการสูญเสียเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 5-9 ต่อเดือน

การออกฤทธิ์ (Bioavailability) การศึกษา Bioavailability ในรูปแบบต่าง ๆ ของวิตามิน A และเบตาแคโรทีน มีข้อจำกัดเป็นอย่างมาก เพราะว่า Bioavailability ของวิตามิน A ขึ้นอยู่กับการสลายและประสิทธิภาพการดูดซึมของลำไส้เล็ก นอกจากนี้ Bioavailability ของวิตามิน A ยังเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงจากรูปของวิตามิน A และเบตาแคโรทีนไปเป็น Retinol โดย เบตาแคโรทีนจะเปลี่ยนไปเป็น Retinol ได้โดยเอนไซม์จากเซลล์ของลำไส้ส่วน Mucosal และโคนมจะทำการดูดซึมและเก็บสะสมเบตาแคโรทีนไว้ โดยพบว่าในเลือดและน้ำนมของโคพันธุ์ Guernsey และ Jersey นั้นจะมีเบตาแคโรทีนปะปนอยู่มากกว่าโคสายพันธุ์อื่นเนื่องจากประสิทธิภาพในการดูดซึมและเปลี่ยนสภาพเบตาแคโรทีนไปเป็น Retinol นั้นต่ำ การเปลี่ยนแปลงของเบตาแคโรทีนไปเป็นวิตามิน A ในโคนั้นกำหนดให้ 1 มิลลิกรัมของ เบตาแคโรทีน เท่ากับ 400 IU ของวิตามิน A (120 ไมโครกรัมของ retinol) แต่ในหนูจะต่ำกว่าโคคือ 1 มิลลิกรัมของ เบตาแคโรทีน เท่ากับ 1800 IU ของวิตามิน A

การสลายของวิตามิน A ไม่แน่นอน โดยพบว่าร้อยละ 60 ของวิตามิน A จะถูกทำลายภายในกระเพาะหมักเมื่อสัตว์กินหญ้า หรือข้าวโพด (Warner, Mitchell, Little, and Alderson, 1970) โดยข้อมูลที่เก็บรวมมานั้นจะเป็นการทดลองในกระเพาะหมักเทียม (in vitro rumen system) (Rode, McAllister, and Cheng, 1990; Weiss, Smith, Hogan, and Steiner, 1995) จากการทดลองในกระเพาะหมักเทียมพบว่าการย่อยสลายของวิตามิน A อยู่ที่ประมาณร้อยละ 20 เมื่อสัตว์กินหญ้าในปริมาณมาก และจะเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 70 เมื่อสัตว์ได้รับอาหารข้นที่สัดส่วนร้อยละ 50-70 จากการทดลองเกี่ยวกับเบตาแคโรทีนที่สามารถทำได้อย่างจำกัดนั้น ข้อมูลที่ได้บ่งบอกว่าประมาณของเบตาแคโรทีนที่สลายในกระเพาะหมัก อยู่ที่ประมาณร้อยละ 0-35 ของปริมาณเบตาแคโรทีนทั้งหมดที่สัตว์กินเข้าไป (Potanski, Tucker, Mitchell, and Schelling, 1974) และไม่มีข้อมูลยืนยันที่แน่นอนว่าปริมาณของ Retinyl ester ที่ถูกดูดซึมที่ลำไส้ของโคมีปริมาณเท่าใด แต่จากการศึกษาในมนุษย์และหนูนั้นพบว่าประมาณร้อยละ 20-60 (Blomhoff, Green, Green, Berg, and Norum, 1991) โดยปริมาณที่ดูดซึมนี้จะมีความสัมพันธ์กับจำนวนและชนิดของไขมันที่บริโภค การย่อยได้ของ เบตาแคโรทีนนั้น Wing (1969) ได้รายงานว่าเบตาแคโรทีนสามารถย่อยได้ถึงร้อยละ 77 ในโคที่ปล่อยให้แทะเล็มหญ้าซึ่งมีหญ้าหลายชนิดปะปนกัน ส่วน Cohen-Fernandez, Budowski, Ascarelli, Neumark, and Bondi (1976) พบว่าแกะนั้นสามารถย่อยเบตาแคโรทีนได้ถึงร้อยละ 90

หน้าที่ของวิตามิน A (Function and animal responnse) วิตามิน A (Retinaldehyde) นั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อ rhodupsin ซึ่งมีหน้าที่ในการมองเห็นภาพที่เกิดจากแสงจากวัตถุไปตกกระทบที่เรตินา โดยจะมีแท่งรงควัตถุสีแดง (ทำหน้าที่ในการมองเห็นสี) และจำเป็นอย่างมากเมื่อมองในที่ที่มีแสงต่ำ นอกจากนี้วิตามิน A ยังจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของร่างกาย เช่น การเจริญเติบโตของเด็กทารก ช่วยในขบวนการสร้าง Sperm ดูแลรักษาเนื้อเยื่อกระดูกและเซลล์ Epithelial เพิ่มอัตราการรอดของลูกโคที่คลอดออกมาและลูกโคที่อยู่ในครรภ์ Ross and Ternus (1993) รายงานว่าวิตามิน A มีผลต่อภูมิคุ้มกันโรค เพราะว่ามีผลต่อเซลล์ที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการป้องกันโรค นอกจากนี้ยังพบว่าเบตาแคโรทีนยังทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และเพิ่มความสามารถในการทำลาย Neutrophils (Chew, 1993) ในงานทดลองของ Chew (1987) พบว่าการเสริมวิตามิน A ที่ 150,000 และ 250,000 IU ต่อวัน หรือเสริมเบตาแคโรทีน 300-600 มิลลิกรัมต่อวัน สามารถลดการติดเชื้อของเต้านมและการเกิดเต้านมอักเสบในโคนมได้ แต่ในงานทดลองของ Michal et al. (1994) ไม่ได้ผลที่ตรงกัน โดยโคที่ใช้ทดลองนั้นเป็นโคที่ไม่ได้ให้นม (Dry-off) และโคตั้งท้องครั้งแรก (Peripartum)

วิตามิน A จำเป็นอย่างยิ่งต่อระบบการสืบพันธุ์ของโคและบางข้อมูลชี้แนะว่าเบตาแคโรทีนมีประโยชน์ต่อระบบสืบพันธุ์เช่นกัน โดย Hurley and Doane (1989) ได้รายงานการเสริมเบตาแคโรทีน 300-400 มิลลิกรัมต่อวัน สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบสืบพันธุ์เพิ่มมาก

ขึ้นใน 12 จาก 22 งานทดลอง แต่การทดลองในเขตอเมริกาพบว่าเบตาแคโรทีนไม่มีผลต่อระบบสืบพันธุ์ถึง 4 ใน 5 การทดลอง

อิทธิพลและปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการ (Factors that affect requirements) เนื่องจากว่าเบตาแคโรทีนมีปริมาณที่ไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบอาหาร และชื่อของเบตาแคโรทีนนั้นไม่เป็นที่รู้จักในเชิงการค้า ดังนั้นถ้ากล่าวถึงเรื่องการเสริมวิตามิน A จะอยู่ในรูปของวิตามิน A โดยจะไม่รวมพืชอาหารสัตว์สดที่มีวิตามิน A โดยปรกติพบว่าหญ้าสดมีปริมาณเบตาแคโรทีนที่สูง ดังนั้นวิตามิน A จึงจำเป็นในสัตว์ที่ได้รับพืชอาหารสัตว์ที่ถูกถนอมไว้ เช่น หญ้าหมัก หญ้าแห้ง มากกว่า

จากข้อมูลเก่าที่ได้รวบรวมไว้เกี่ยวกับวิตามินนั้น พบว่าสัตว์ที่อยู่ในช่วงกำลังเจริญเติบโตต้องการวิตามิน A ประมาณ 80 IU ต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัว NRC (1989) ระบุไว้ว่าโคนมที่อยู่ในช่วงของการเจริญเติบโตจะต้องการวิตามิน A ที่ 42 IU ต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัว โดยปริมาณวิตามิน A ในลูกโคที่ต้องการนั้นจะใช้ในการรักษาสภาพความดันของของเหลวในกระดูกสันหลัง (Cerebrospinal fluid) ให้อยู่คงที่คือ 120 มิลลิเมตรปรอท (mmHg) (Rousseau et al., 1954) ข้อมูลของ Rousseau et al. (1954) และ Eaton, Rousseau, Hall, Frier, and Lucas (1972) พบว่าวิตามิน A ที่โคนมในวัยเจริญเติบโตต้องการนั้นอยู่ระหว่าง 60-100 IU ต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัว ซึ่งข้อมูลจากทั้งสองงานทดลองนั้นถูกยอมรับว่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสม

ส่วนวิตามิน A ที่ต้องการในโคนมที่เจริญเติบโตเต็มที่ อยู่ที่ 110 IU ต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัว แต่ NRC (1989) ระบุว่าอยู่ที่ 76 IU ต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัว ซึ่งข้อมูลที่ได้นั้นรวบรวมมาจากการทดลองจำนวนมาก และใช้เวลาเก็บข้อมูลเป็นเวลานานในการทดลองที่เกี่ยวกับวิตามิน A กับระบบสืบพันธุ์ โดยในการทดลองนี้แหล่งของวิตามิน A ที่สัตว์ได้รับมาจากเบตาแคโรทีน และสัตว์ได้รับอาหารข้นในสัดส่วนที่ต่ำ (Ronning, Berousek, Griffiths, and Gallop, 1959) ซึ่งข้อมูลสอดคล้องกับ Swanson, Martin, Pardue, and Gorman (1968) ที่ระบุว่าปริมาณของวิตามิน A ที่ 76 IU ต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัวนั้นเพียงพอต่อความต้องการของโคนมในระยะให้น้ำนม โดยโคนมที่ใช้ทดลองให้น้ำนมเฉลี่ย 3,500 กิโลกรัมต่อระยะการให้นม 40 สัปดาห์ ปัจจุบันพบว่าโคนมสามารถให้น้ำนมเฉลี่ยที่สูงขึ้นจาก 35 กิโลกรัมต่อวันเป็น 40 กิโลกรัมต่อวัน เมื่ออยู่ในช่วงแรกของการให้นม (Early lactation) เมื่อสัตว์ได้รับวิตามิน A 75 IU ต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัว เปรียบเทียบกับโคที่ได้รับ 280 IU ต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัว (Oldham, Eberhart, and Muller, 1991) ซึ่งปริมาณความต้องการวิตามิน A ที่ 110 IU ต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัวนั้นได้ใช้เป็นข้อมูลที่อยู่ใน NRC (1998) และข้อมูลของ Bioavailability ของวิตามิน A (Retinyl ester) นั้นอยู่ที่ร้อยละ 50 ซึ่งน้อยกว่าปริมาณของเบตาแคโรทีนที่สัตว์กินเข้าไปเมื่อสัตว์ได้รับอาหารข้นในสัดส่วนที่สูง เพราะว่าเกิดการสลายในกระเพาะหมัก โคนมที่อยู่ในระยะที่ไม่ให้น้ำนมมักจะได้รับอาหารใน

สัดส่วนที่ต่ำ และพบว่า Bioavailability ของวิตามิน A นั้นสูงกว่าโคนมที่อยู่ในระยะให้น้ำนม ความต้องการวิตามิน A ที่ 76 IU ต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัวนั้น ถือว่าอยู่ในระดับที่เหมาะสม แต่พบว่าถ้าเสริมในปริมาณที่เพิ่มขึ้นอีกจะสามารถทำให้สุขภาพของเต้านมดีขึ้นและน้ำนมสูงขึ้นอีกด้วย ดังนั้นความต้องการที่เหมาะสมของวิตามิน A ในโคนมระยะให้นมจะอยู่ที่ 110 IU ต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัว

2.1.2 วิตามินดี (Vitamin D)

วิตามิน D เป็นโปรฮอร์โมน (Pro-hormone) ทำหน้าที่เป็นฮอร์โมนที่ควบคุมการผลิตแคลเซียม (Calcium) ซึ่งมีชื่อว่า 1,25-dihydroxyvitamin D วิตามิน D สามารถผลิตได้ที่ผิวหนังของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม รวมทั้งโคนมด้วย ซึ่งเป็นผลของการเปลี่ยนแปลงของขบวนการ Photochemical เพื่อเปลี่ยน 7-dehydrocholesterol เป็นวิตามิน D_3 ส่วนในพืชนั้นพืชจะใช้ขบวนการ Photochemical เพื่อเปลี่ยน Ergosterol ไปเป็นวิตามิน D_2 การที่ร่างกายจะได้รับวิตามิน D สามารถรับได้ทั้งจากการสังเคราะห์ทางผิวหนังและจากอาหาร วิตามิน D จะถูกขนส่งอย่างรวดเร็วและถูกแยกออกโดยตับ ซึ่งการที่ร่างกายขนส่งวิตามิน D อย่างรวดเร็วนั้นเป็นการป้องกันความเข้มข้นของวิตามิน D ในเลือดไม่ให้สูงจนเกินไป ความเข้มข้นทั่วไปของวิตามิน D ในเลือดจะเท่ากับ 1-2 นาโนกรัม (ng) วิตามิน D ต่อ 1 มิลลิลิตรของพลาสมา (Plasma) (Horst and Littledike, 1982) ภายในตับวิตามิน D สามารถเปลี่ยนเป็น 25-hydroxyvitamin D โดย vitamin D 25-hydroxylase และถูกปลดปล่อยเข้าสู่กระแสเลือด ซึ่งผลผลิตของ 25-hydroxyvitamin D ภายในตับจะขึ้นอยู่กับปริมาณของวิตามิน D ในอาหาร ดังนั้นความเข้มข้นของ 25-hydroxyvitamin D ในพลาสมาจะเป็นตัวชี้วัดที่ดีเกี่ยวกับสถานะของวิตามิน D ในสัตว์

25-hydroxyvitamin D ที่ไหลเวียนอยู่ในไตสามารถที่จะเปลี่ยนเป็น 1,25-hydroxy vitamin D ซึ่งฮอร์โมนนี้สามารถที่จะกระตุ้นการเกิด Active transport ของแคลเซียมและฟอสฟอรัส เข้าสู่เซลล์ Epithelial ของลำไส้ และช่วยให้เกิดการเสริมแคลเซียมที่กระดูก ซึ่งทั้งสองหน้าที่สำคัญอย่างมากในการรักษาความสมดุลของแคลเซียมและฟอสฟอรัสในร่างกาย นอกจากรักษาความสมดุลของแคลเซียมและฟอสฟอรัสแล้ว 1, 5-hydroxy vitamin D ยังช่วยในการรักษาระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย (Reinhardt and Hustmyer, 1987) ซึ่งโดยปรกติแล้ว 1,25-hydroxy vitamin D จะช่วยในการส่งเสริมภูมิคุ้มกัน Th_2 (Humoral) และยับยั้งภูมิคุ้มกัน Th_1 (Cell mediated) (Daynes, Araneo, Hennebold, Enioutina, and Mu, 1995)

ฮอร์โมน 1,25-dihydroxyvitamin D ที่ถูกผลิตจากไตจะถูกควบคุมการผลิตโดยความเข้มข้นของ 1,25-dihydroxyvitamin D เอง ซึ่งฮอร์โมน 1,25-dihydroxyvitamin D-1-α hydroxylase จะถูกกระตุ้นให้ทำงานโดยฮอร์โมน Parathyroid และจะถูกปลดปล่อยออกมาเมื่อระดับความเข้มข้นของแคลเซียมในเลือดต่ำ (DeLuca, 1979) เมื่อมีแคลเซียมในเลือดสูงฮอร์โมน Parathyroid

1,25-dihydroxyvitamin D สามารถที่จะ Hydroxylate ที่ไตเป็น 24,25-dihydroxyvitamin D ซึ่งเป็นขั้นตอนหลักในการ Inactivation และ Catabolism ของวิตามิน D Vitamin D Catabolic enzyme เป็นการทำงานเพื่อยกเลิกการหลั่งของฮอร์โมน 1,25-dihydroxyvitamin D โดยฮอร์โมนที่ยับยั้งการทำงานของ 1,25-dihydroxyvitamin D นั้นจะอยู่ตามเนื้อเยื่อส่วนต่างๆตามร่างกาย โดยขบวนการยับยั้งนั้นจะถูกกระตุ้นโดยปริมาณของ 1,25-dihydroxyvitamin D ที่มีอยู่สูงในพลาสมา (Plasma) (Goff, Reinhardt, Engstrom, and Horst, 1992; Reinhardt and Horst, 1989)

ปริมาณความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเลือดสามารถที่จะเพิ่มปริมาณของ 1,25-dihydroxyvitamin D ซึ่งผลิตโดยไต โดยฮอร์โมนนี้จะหลั่งจนกระทั่งความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเลือดถึงระดับปรกติ (Tanaka and DeLuca, 1973; Gray and Napoli, 1983) แต่ถ้าในเลือดมีระดับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่สูงเกินไป ปริมาณของฮอร์โมน 1,25-dihydroxyvitamin D ก็จะยับยั้งการทำงานของไตให้ผลิต 1,25-dihydroxyvitamin D ลดลง ซึ่งเป็นปัจจัยร่วมที่ทำให้เกิดโรคไข้น้ำนมในโคนมที่เพิ่งคลอดลูกใหม่ (Periparturient cow) (Barton, Jorgensen, and DeLuca, 1987)

วิตามิน D_2 (vitamin D_2) เป็นรูปแบบของวิตามิน D ที่พบได้ในพืช และวิตามิน D_3 เป็นรูปแบบที่พบได้ในสัตว์ที่มีกระดูกสันหลัง วิตามินทั้งสองชนิดนี้มักถูกเสริมเข้าไปในสูตรอาหารสัตว์ เพราะเป็นวิตามินที่จำเป็นและใช้ในขบวนการทางชีววิทยาของโคนม อย่างไรก็ตาม Horst and Littledike, (1982) ได้กล่าวว่าชนิดของวิตามิน D_2 ในโคนั้นมีความแตกต่างจากวิตามิน D_2ที่มาจากสัตว์ที่มีกระดูกสันหลัง เนื่องจากวิตามิน D_2 ในโคนั้นจะลดพันธะในการจับกันและ Metabolite ไปเป็นวิตามิน D ที่มีพันธะจับกับโปรตีนในเลือดซึ่งจะเป็นการเร่งให้เกิดการ Metabolite ให้วิตามิน D_2 สลายไปจากพลาสมาเร็วขึ้น อย่างไรก็ตามไม่ได้มีการปรับปริมาณความต้องการพื้นฐานของวิตามิน D ในการเสริมลงไปในสูตรอาหารสัตว์

การขาดวิตามิน D จะทำให้ลดความสามารถของขบวนการ Homeostasis ของแคลเซียมและฟอสฟอรัส เป็นผลทำให้ปริมาณของฟอสฟอรัสและแคลเซียมในพลาสมาลดลง ซึ่งจะเป็นสาเหตุให้เกิดโรคกระดูกผุในสัตว์ที่อายุน้อยและเกิดโรค Osteomalacia ในสัตว์สูงอายุ ซึ่งโรคทั้งสองนี้เป็นโรคที่เกี่ยวกับกระดูก ผลก็คือในสัตว์อายุน้อยจะทำให้สัตว์แคระแกรน และมีอาการเจ็บที่ข้อต่อของกระดูก ในสัตว์ที่สูงอายุจะมีอาการเจ็บกีบเท้าและเจ็บบริเวณกระดูกเชิงกราน

ความต้องการของวิตามินดี (Requirement) การระบุปริมาณความต้องการที่แน่นอนของวิตามิน D เพื่อที่จะไปสร้างเป็น 1,25-dihydroxyvitamin D ให้เพียงพออย่างเหมาะสมนั้นเป็นเรื่องที่ยาก เพราะสัตว์ที่ได้รับแสงแดดและได้รับหญ้าสดเป็นอาหารเป็นประจำอาจจะไม่ต้องการวิตามิน D จากอาหารเลย แต่การเสริมวิตามิน D ในอาหาร ก็เป็นเรื่องที่จำเป็นเพราะป้องกันการขาดวิตามิน D ในโคนม (Thomas and Moore, 1951) การพิจารณาความต้องการของวิตามิน D จะไม่รวมในกรณีของสัตว์ที่ได้รับแสงแดดและหญ้าสดเป็นประจำ ซึ่งความต้องการวิตามิน D ของโคนม

โดยทั่วไปจะพิจารณาปริมาณของวิตามิน D ทั้งหมดที่โคต้องการและต้องเสริมลงไปในอาหารสัตว์

Horst, Goff, and Reinhardt (1994) ได้วัดปริมาณของ 25-dihydroxyvitamin D ในพลาสมาพบว่าถ้ามีปริมาณ 25-dihydroxyvitamin D ต่ำกว่า 5 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตรพลาสมาแสดงว่าสัตว์มีภาวะขาดวิตามิน D แต่ถ้ามี 25-dihydroxyvitamin D มากว่า 200-300 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตรพลาสมาแสดงว่ามี 25-dihydroxyvitamin D มากเกินไปอาจทำให้เกิดความเป็นพิษ ซึ่งปริมาณของ 25-dihydroxyvitamin D ที่เหมาะสมในพลาสมาจะเท่ากับ 20-50 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตรพลาสมา

ในโคที่ไม่ได้ให้น้ำนมและโคตั้งท้องที่เลี้ยงในโรงเรือนและได้รับข้าวโพดหมักเป็นอาหาร ในพลาสมาจะมีความเข้มข้นของ 25-dihydroxyvitamin D 19 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตรพลาสมา ในที่ 14 วันก่อนคลอด และ 10.5 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตรพลาสมาหลังจากที่คลอด 35 วัน การเสริม วิตามิน D ลงไปในอาหาร 5,000 (7.5 IU วิตามิน D ต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว) หรือ 10,000 IU (15 IU วิตามิน D ต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว) วิตามิน D จะรักษาระดับความเข้มข้นของ 25-dihydroxyvitamin D ให้อยู่ที่ 25-31 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตรพลาสมา อย่างไรก็ตามการเสริมในระดับนี้ใช้ในโครระยะไม่ได้ให้น้ำนมและระยะของการให้น้ำนม (Vinet, Conrad, Reinhardt, and Horst, 1985)

Ward, Marion, Campbell, and Dunham (1971) รายงานว่าโคที่ได้รับอาหารหยาบที่เป็นถั่ว alfalfa แห้งอย่างน้อยหนึ่งครั้งต่อสัปดาห์จะได้รับวิตามิน D ประมาณ 300,000 IU ต่อสัปดาห์ (ประมาณวันละ 43,000 IU ต่อวัน) โดย Ward, Dobson, and Dunham (1972) ได้อธิบายว่าโคที่ได้รับวิตามิน D_3 300,000 IU ต่อสัปดาห์นั้นสามารถที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพการดูดซึมแคลเซียมได้ Hibbs and Conrad, (1983) ได้สรุปงานวิจัยของมหาวิทยาลัย Ohio State ว่าโคที่ได้รับการเสริมวิตามิน D_2 ที่ 40,000 IU ต่อวัน (ประมาณ 50-70 IU ต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว) จะให้ผลผลิตน้ำนมที่ดีกว่าและมีการกินได้ที่สูงกว่าโคที่ได้รับวิตามิน D 80,000 IU ต่อวันขึ้นไป การที่โคได้รับวิตามินD มากเกินไปจะส่งผลให้ผลผลิตน้ำนมลดลง ซึ่งเกิดจาการเป็นพิษของวิตามิน D (Intoxicosis)

McDermott, Beitz, Littledike, and Horst (1985) พบว่าโคนมพันธุ์โฮสไตน์ฟรีเซี่ยนที่ได้รับหญ้า Orchard และข้าวโพดหมักเป็นอาหารหยาบหลักและเสริมวิตามิน D_3 ที่ 0, 10,000, 50,000 และ 250,000 IU ต่อวันในช่วงปลายของการตั้งท้องและในช่วง 12 สัปดาห์แรกของการให้นม โดยโคไม่ได้สัมผัสกับแสงแดด 2 สัปดาห์จนกระทั่งลูกโคมีอายุได้ 4 วัน หลังจากนั้นให้โคได้รับแสงแดดวันละ 1-2 ชั่วโมง ปริมาณของ 25-dihydroxyvitamin D ในพลาสมาของโคกลุ่มที่ไม่ได้เสริมวิตามิน D_3 จะอยู่ที่ 20 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตรพลาสมา ส่วนปริมาณของ 25-dihydroxyvitamin D ในกลุ่มโคที่ได้รับการเสริมวิตามิน D_3 ที่ 10,000 และ 50,000 IU นั้นปริมาณ

ของ 25-dihydroxyvitamin D จะอยู่ที่ 30 และ 45 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตรพลาสมา ตามลำดับ ส่วนโคกลุ่มที่ได้รับ 250,000 IU นั้นความเข้มข้นของ 25-dihydroxyvitamin D จะเท่ากับ 60-80 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตรพลาสมา และพบว่าโคกลุ่มที่ได้รับการเสริม วิตามิน D_3 ที่ 250,000 มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ 25-dihydroxyvitamin D, 24, 25-dihydroxyvitamin D และวิตามิน D อย่างรวดเร็ว ซึ่งทำให้วิตามิน D นั้นถูกนำไปเก็บสะสมในตับมากเกินไป แม้ว่าการเสริมวิตามิน D ที่มากเกินไปในการทดลองนี้จะไม่มีการแสดงออกของความเป็นพิษของวิตามินดี D ตาม

ในปัจจุบันการเสริมวิตามิน D 10,000 IU/วัน (16 IU วิตามิน D /กิโลกรัมน้ำหนักตัว) นั้นเพียงพอสำหรับโคนมในช่วงปลายของการตั้งท้อง Astrup and Nedkvitne (1987) รายงานว่าโคนมที่ให้ผลผลิตน้ำนมเฉลี่ย 20 กิโลกรัมต่อวัน นั้นจะต้องการวิตามิน D 10 IU ต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว เพื่อรักษาระดับความเข้มข้นของแคลเซียมและฟอสฟอรัสในเลือด รายงานนี้เป็นการศึกษาในนอร์เวย์และสัตว์ได้รับแสงแดดในปริมาณน้อย

NRC, (1989) ได้ระบุความต้องการวิตามิน D ในโคนมที่เจริญเติบโตเต็มที่ จะต้องการที่ระดับ 30 IU ต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว ซึ่งเป็นปริมาณที่มากกว่าปริมาณที่จำเป็นสำหรับการรักษาระดับความเข้มข้นของ 25-dihydroxyvitamin D (27 IU/กิโลกรัมน้ำหนักตัว) (McDermott et al., 1985) แคลเซียมและฟอสฟอรัส (10 IU/กิโลกรัมน้ำหนักตัว) (Astrup and Nedkvitne, 1987) ในพลาสมา อย่างไรก็ตาม Ward et al. (1971, 1972) และ Hibbs and Conrad (1983) ได้แนะนำว่าเมื่อโคนมได้รับการเสริมวิตามิน D ที่ 70 IU/กิโลกรัมน้ำหนักตัวสัตว์จะมีปริมาณน้ำนมที่สูงขึ้น รวมไปถึงสุขภาพและระบบสืบพันธุ์ของสัตว์นั้นจะ D ขึ้นอีกด้วย แต่จากข้อมูลที่ได้รวบรวมมาทั้งหมดนี้สรุปได้ว่าโคนมนั้นต้องการวิตามิน D ที่ 30 IU/กิโลกรัมน้ำหนักตัว ก็เพียงพอและเหมาะสม (NRC, 1989)

ความเป็นพิษ (Toxicity) ความเป็นพิษของวิตามิน D จะเกี่ยวข้องกับกับความเข้มข้นของแคลเซียมและฟอสฟอรัสในอาหาร McDermott et al. (1985) รายงานว่าการเสริมวิตามิน D_3 ที่ 50,000 IU ต่อวัน (80 IU/กิโลกรัมน้ำหนักตัว) นั้นเป็นปริมาณที่เหมาะสม ส่วน Hibbs and Conrad (1983) พบว่าปริมาณน้ำนมของโคนมลดลงเล็กน้อยเมื่อเสริมวิตามิน D_2 ที่ 80,000 IU ต่อวัน (160 IU/Kg BW) NRC (1987) ได้ระบุว่าการเสริมวิตามิน D ในอาหารที่โคนมกินติดต่อกันเป็นเวลานาน (มากกว่า 60 วัน) สามารถเสริมได้ที่ระดับ 2,200 IU ต่อกิโลกรัมอาหาร ส่วนในระยะสั้นสามารถเสริมได้ในระดับ 25,000 IU ต่อกิโลกรัมอาหาร การที่สัตว์ได้รับวิตามิน D มากเกินไป จะทำให้สัตว์มีการกินได้ลดลง สัตว์จะมีการถ่ายปัสสาวะมากกว่าปรกติจนกระทั่งสัตว์ไม่ปัสสาวะ มูลมีลักษณะแห้ง ปริมาณน้ำนมลดลง มีหินปูนจับที่ไต หลอดเลือด Abomasum และหลอดลมอักเสบ (Littledike and Horst, 1980)

วิตามิน D บางส่วนจะถูกย่อยที่กระเพาะหมักโดยแบคทีเรียและจะถูก metabolites (Sommerfeldt, Napoli, Littledike, Beitz, and Horst, 1983; Gardner, Reinhardt, and Horst, 1988) ทำให้วิตามิน D บางส่วนสูญเสียไป อย่างไรก็ตาม วิตามิน D ที่โคนมได้รับอยู่ในปัจจุบันนั้นไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดโรคที่รุนแรงในโคได้ (Littledike and Horst, 1980)

2.1.3 วิตามินอี (Vitamin E)

วิตามิน E เป็นชื่อสามัญของสารกลุ่ม Lipid-soluble compounds ที่เรียกว่า Tocopherols และ Tocotrienols โดย Tocopherols และ Tocotrienols ที่มีมากที่สุดคือ ∝-tocopherol ซึ่งเป็นรูปแบบของวิตามิน E ที่พบมากทั่วไปในวัตถุดิบอาหารสัตว์ และรูปแบบ Isomer ของ ∝-tocopherol ที่มี Biologic มากที่สุด คือ RRR-∝-tocopherol ปริมาณของวิตามิน E ที่มีอยู่ในวัตถุดิบอาหารนั้นมีปริมาณที่ไม่แน่นอนขึ้นอยู่ชนิดและอายุของวัตุดิบอาหารสัตว์ Tramontano, Ganci, Pennino and Dierenfeld, 1993; Jukola, Hakkarainen, Saloniemi, and Sankari, 1996) ซึ่งพบว่าในหญ้าสดมีจะมีวิตามิน E ประมาณ 80-200 IU/ต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง (kg of DM) พืชอาหารสัตว์ที่ถูกตัดจากต้นพบว่าปริมาณของ ∝-tocopherol จะลดลงอย่างรวดเร็ว โดยปัจจัยที่ช่วยกระตุ้นให้วิตามิน E สูญเสียอย่างรวดเร็วเมื่อถูกตัดจากลำต้นคือ แสงแดด และออกซิเจน (Thafvelin and Oksanen, 1966) โดยหญ้าแห้งและหญ้าหมักจะมีวิตามิน E น้อยกว่าหญ้าสดประมาณ 20-80% และพบว่าปรกติวิตามิน E ที่มีอยู่ในวัตถุดิบอาหารสัตว์นั้นจะมีปริมาณน้อย ยกเว้น ถั่วเหลืองดิบและเมล็ดฝ้ายดิบ ซึ่งการแปรรูปถั่วเหลืองโดยวิธีการต่าง ๆ ที่ใช้ความร้อนจะทำให้ปริมาณของ ∝-tocopherol ลดลง และปริมาณของ ∝-tocopherol ในวัตถุดิบอาหารสัตว์จะแปรผกผันกับระยะเวลาในการเก็บอาหารสัตว์

All-rac-∝-tocopherol acetate คือรูปแบบของวิตามิน E ที่ใช้ในทางการค้าร่วมกับอาหารโคนม ซึ่งเป็นรูปของวิตามิน E ที่มีความเสถียรเมื่อผสมร่วมกับ Premixs แล้วมีอัตราของ Biological ลดลงเพียง 1% /เดือน ซึ่งพบว่าวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ผ่านขบวนการ Extrude มีอัตราการสูญเสียถึง 6% (Coelho, 1991)

การออกฤทธิ์ (Bioavailability) วิตามิน E ที่โคกินเข้าจะมีการเสื่อมสลายที่กระเพาะหมัก Alderson, Mitchell, Little, Warner, and Tucker (1971) พบว่าปริมาณการเสื่อมสลายของวิตามิน E ในกระเพาะหมักจะแปรผันโดยตรงกับปริมาณของวิตามิน E ที่โคกินเข้าไป แต่ Leedle, Leedle, and Butine (1993) และ Weiss et al. (1995) พบว่าวิตามิน E (all-rac-∝-tocopherol acetate) ไม่เสื่อมสลายในกระเพาะหมักเทียม ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าในกระเพาะหมักเทียมมีการย่อย Tocopherol ออกมาได้ต่ำ เลยทำให้เกิดการสลายตัวของ Tocopherol ต่ำตามไปด้วย

The United States Pharmacopeia (USP) ได้กำหนดให้ 1 IU ของวิตามิน E นั้นเท่ากับ 1 มิลลิกรัมของ RRR-∝-tocopherol Hidiroglou, Laflamme, and McDowell (1988) และ

Hidiroglou, McDowell, and Balbuena (1989) ได้ศึกษาถึงการออกฤทธิ์ของ Tocopherol ใน Steroisomer ต่างๆพบว่าปริมาณของ ∝-tocopherol ในพลาสมาและเนื้อเยื่อมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเมื่อโคได้รับวิตามิน E ในรูปแบบของ all-rac-∝-tocopherol acetate และ all-rac-∝-tocophenyl acetate แต่ในโคเนื้อพบว่าปริมาณของ ∝-tocopherol ในพลาสมาและในเลือดของโคกลุ่มที่ได้รับ RRR-∝-tocopherol มีมากกว่าโคกลุ่มที่ได้รับ All-rac-∝-tocophenyl acetate ประมาณ 20-60% (Hidiroglou et al., 1988)

การทำงานและการตอบสนองในสัตว์ (Function and animal responses) ข้อมูลที่มีการทราบมากที่สุดของวิตามิน E คือ การที่ทำหน้าที่เป็นสาร Anti-oxidant (Hogan, Weiss, and Smith, 1993) นอกจากนี้แล้ววิตามิน E ยังมีหน้าที่เกี่ยวกับการดูแลรักษาเนื้อเยื่อของเซลล์, เมแทบอลิซึมของ Arachidonic acid ระบบภูมิคุ้มกันและระบบสืบพันธุ์ ในสัตว์การขาดวิตามิน E จะทำให้สัตว์แสดงอาการของโรค เช่น โรคกล้ามเนื้อขาว (White muscle) เป็นโรคที่เกิดขึ้นในโคเมื่อสัตว์ขาดวิตามิน E ซึ่งการป้องกันลูกโคในอายุช่วงก่อนหย่านมไม่ให้เป็นโรคกล้ามเนื้อขาวนั้น สามารถทำได้โดยการเสริมวิตามิน E ที่ระดับ 50 IU/วัน (Blaxter, Watts, and Woods, 1952) การทดลองเกี่ยวกับวิตามิน E ในปัจจุบันจะเน้นไปที่ความสัมพันธ์ระหว่างวิตามิน E กับความผิดปรกติของระบบสืบพันธุ์ ระบบภูมิคุ้มกัน และโรคเต้านมอักเสบ ซึ่งพบว่าการเสริมวิตามิน E ให้กับโคนมช่วงก่อนคลอดจะช่วยให้ความสามารถในการทำงานของ Neutrophils และ Macrophange ดีขึ้น (Hogan, Smith, Weiss, Todhunter, and Shockey, 1990; Hogan, Weiss, Todhunter, Smith, and Schoenberg, 1992; Politis et al., 1995; 1996) และการเสริมวิตามิน E (all-rac-∞-tocopherol acetate) ร่วมกับ Selenium อย่างเพียงพอนั้นพบว่าทำให้ลดการสะสมของวิตามิน E ที่เนื้อเยื่อของรก (Fetal membrane) (Harrison, Hancock, and Conrad, 1984; Miller, Brzezinska-Slebodzinska, and Madsen, 1993) แต่ไม่ใช่ทุกงานทดลองซึ่ง Wichtel, Craigie, Thompson, and Williamson (1996) พบว่าการให้วิตามิน E ที่ระดับประมาณ 700 IU ร่วมกับ Selenium 50 มิลลิกรัม ให้กับลูกโคไม่มีผลในทางบวกต่อลูกโค

การเสริมวิตามิน E 1000 IU/วัน ให้กับโคช่วงก่อนคลอดและโคที่ให้น้ำนม พบว่าช่วยลดอัตราการติดเชื้อในระบบเต้านมและโรคเต้านมอักเสบ (Smith, Harrison, Hancock, Todhunter, and Conrad, 1984; Hogan, Weiss, and Smith, 1993) แต่ Batra, Hidiroglou, and Smith (1992) พบว่าการเสริมวิตามิน E ให้กับโคนมไม่ช่วยลดการเกิดเต้านมอักเสบในโค และพบว่าโคที่ใช้ในการทดลองนั้นมี selenium ในพลาสมาต่ำ (<35 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร) ซึ่งแสดงว่าโคในงานทดลองขาด Selenium ส่วนในงานทดลองของ Weiss, Hogan, Todhunter, and Smith (1997) รายงานว่าอาหารที่ใช้ในงานทดลองเป็นอาหารที่มี Selenium ต่ำ (<0.15 ppm) แต่พบว่าโคมี Selenium ในเลือดสูง (>50 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร) เสริมร่วมกับวิตามิน E 1000 IU/วัน พบว่า

สามารถลดการเกิดเต้านมอักเสบได้ 30 % แต่ไม่มีผลต่อการติดเชื้อภายในระบบเต้านม

ความต้องการวิตามินE (Requiments) ความต้องวิตามิน E ในโคที่ระดับ 15 IU/กิโลกรัมวัตถุแห้ง ใน NRC, (1989) นั้นเป็นปริมาณของวิตามิน E ทั้งหมดที่โคนมต้องการ โดยความต้องการทั้งหมดของโคดูได้จากปริมาณของวิตามิน E ที่โคได้รับแล้วไม่ทำให้เกิดโรค ซึ่งวิตามิน E ที่อยู่ในอาหารนั้นมีปริมาณมากน้อยแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารซึ่งเป็นเรื่องยากที่จะสามารถระบุได้ โดยพบว่าหญ้าสดนั้นเป็นแหล่งของวิตามิน E ที่สูงมาก ดังนั้นการเสริมวิตามิน E ให้กับสัตว์ที่เลี้ยงแบบปล่อยแปลงหญ้าจึงจำเป็นน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับโคที่กินอาหารหยาบที่ผ่านขบวนการถนอมอาหารมาแล้ว จากข้อมูลปริมาณความต้องการวิตามิน E ใน NRC, (1989) เมื่อนำไปใช้แล้วยังพบว่าโคนมยังเกิดโรคเต้านมอักเสบและความผิดปรกติของระบบสืบพันธุ์ แสดงว่าโคนมยังขาดวิตามิน E อยู่ และจากข้อมูลสุขภาพและระบบภูมิคุ้มกันในโคพบว่าระดับความเข้มข้นของ α-tocopherol ในพลาสมาของโคช่วงระยะก่อนคลอดนั้นพบว่ามีปริมาณ 3 μ g/มิลลิลิตรของพลาสมา (Weiss, Hogan, and Smith, 1994; Weiss et al., 1997) ซึ่งการที่จะรักษาระดับความเข้มข้นของ α-tocopherol ให้อยู่ที่ระดับ 3 ไมโครกรัมมิลลิลิตร ของพลาสมานั้น พบว่าโคสาวและโคที่ตั้งท้องมากกว่า 60 วันขึ้นไป จะต้องการวิตามิน E ประมาณ 1.6 IU/กิโลกรัมน้ำหนักตัว (80 IU/kg of DMI) ซึ่งพบว่าผลที่ได้จากการเสริมวิตามิน E นั้นจะทำให้โคที่ให้ผลผลิตและโคสาวมีสุขภาพที่ดีขึ้น ส่วน Van Saun, Herdt, and Stowe (1989) พบว่าวิตามิน E สามารถส่งผ่านทางสายรกได้เล็กน้อย ดังนั้นลูกโคที่เกิดใหม่จะได้รับวิตามิน E จากส่วนนี้ โดยการเสริมวิตามิน E เพิ่มขึ้นในโคช่วงก่อนคลอดพบว่าทำให้ลูกโคได้รับวิตามิน E เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นปริมาณการเสริมวิตามิน E จึงควรเปลี่ยนไปเป็น 0.8 IU/กิโลกรัมน้ำหนักตัว (หรือประมาณ 20 IU/กิโลกรัมวัตถุแห้ง) ในสัตว์ที่ได้รับอาหารหยาบที่ไม่ใช่อาหารหยาบสด การที่โคได้รับวิตามิน E ในระดับนี้จะทำให้ลดอัตราการเกิดเต้านมอักเสบ ส่วนโคที่อยู่ในช่วงสุดท้ายของการตั้งท้องและช่วงที่ให้ผลผลิตพบว่า ควรเสริมวิตามิน E ที่ 2.6 IU/กิโลกรัมน้ำหนักตัว และ 1 IU/กิโลกรัมน้ำหนักตัว ในโคที่ไม่อยู่ในช่วงให้ผลผลิต อย่างไรก็ตามปริมาณความต้องการวิตามิน E ขึ้นอยู่กับโคและชนิดของอาหารสัตว์ รวมไปถึงอาหารหยาบที่พบว่าอาหารหยาบสดจะมีวิตามิน E ในปริมาณสูง

ความเป็นพิษ (Toxicity) วิตามิน E เป็นวิตามินที่มีความเป็นพิษน้อยมากเพราะว่าวิตามิน E เป็นวิตามินที่ดูดซึมได้ช้า ซึ่งข้อมูลความเป็นพิษของวิตามิน E ในสัตว์เคี้ยวเอื้องไม่เป็นปรากฏ แต่ในหนูพบว่าการที่หนูได้รับวิตามิน E มากกว่า 75 IU/กิโลกรัมน้ำหนักตัว/วัน จะทำให้เกิดความเป็นพิษในหนู (NRC, 1987)

2.1.4 วิตามินเค (Vitamin K)

วิตามิน K เป็นรูปแบบทั่วไปของ Quinine compounds ซึ่งเกี่ยวข้องกับ Antihemorrharic โครงสร้างพื้นฐานของวิตามิน K จะอยู่ในรูปแบบ 2-methyl-1, 4-naphthoquinone ซึ่ง Isomer ของวิตามิน K จะมีความแตกต่างตรงที่ความยาวและตำแหน่งของพันธะของโครงสร้าง (Frye, Williams, and Graham, 1991) รูปแบบทั่วไปของ Isomer หรือ Vitamer ของวิตามิน K คือ Phyllquinone (Vitamin K_1), Menaquinones (Vitamin K_2) และ Menadione (Vitamin K_3) โดย Phyllquinone จะพบได้ทั่วไปใน Chloroplast ของพืชสีเขียวและตำแหน่งพันธะของโครงสร้างมี Isoprenoid ส่วน Menaquinones จะถูกสังเคราะห์โดยจุลินทรีย์และมี Isoprene อยู่ตรงพันธะคู่ของโครงสร้าง และ Menadione (2-methyl-1, 4-naphthoquinone) ที่ไม่พบตามธรรมชาติ เพราะถูกสังเคราะห์ขึ้นมาเพื่อใช้เกี่ยวกับอาหารสัตว์ (Combs, 1992)โคนมนั้นต้องการวิตามิน K เพื่อที่จะนำไปสังเคราะห์โปรตีนขนาดเล็ก ซึ่งจะเป็นเกล็ดเลือดทำหน้าที่ให้เลือดแข็งตัว 4 ชนิดคือ Prothrombin (factor II), factor VII, IX และ X และทำหน้าที่ในการกระตุ้นให้เกิดการหลั่ง Thrombin และทำให้เลือดจับกันเป็นลิ่ม (Combs, 1992)

Menaquinones ส่วนใหญ่จะได้จากการสังเคราะห์โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักและอาหารสัตว์ที่มาจากพืชสีเขียวและพืชอาหารสัตว์ที่มี Phylloquinones สูง การขาดวิตามิน K มักไม่ปรากฏ โดยมีงานวิจัยเพียงครั้งเดียวเท่านั้นที่รายงานการขาดวิตามิน K เพราะว่าโคได้รับอาหารที่เป็นถั่วที่เก็บไว้นานและขึ้นรา (NRC, 1989) โดยสาร Dicoumarol เป็นผลผลิตที่ได้จากการเจริญเติบโตของเชื้อราและสาร Dicoumarol จะยับยั้งปัจจัยที่ทำให้เลือดจับแข็งตัว โดยลูกโคนมพันธุ์ Holstein ที่ได้รับถั่วที่มี Dicoumarol 18 มิลลิกรัม/กิโลกรัมของ Dicoumarol เป็นเวลามากว่า 2 สัปดาห์ขึ้นไป Dicoumarol จะแสดงความเป็นพิษ (Yamini, Poppenga, Braselton, and Judge, 1995) สัญญาณเริ่มแรกที่บ่งบอกให้รู้ว่าโคนมขาดวิตามิน K คือ เกิดการเจ็บกีบ หรือมีการห้อเลือดตามเนื้อเยื่อ การที่สัตว์ได้รับ Dicoumarol เป็นเวลานานจะทำให้ไม่สามารถควบคุมการผสมพันธุ์ได้ และ Dicoumarol สามารถส่งผ่านทางสายรกและส่งผลต่อลูกสัตว์ในครรภ์หรือลูกโคที่เกิดใหม่ได้ (Frye et al., 1991) นอกจากนี้ยังพบว่าการเสริมวิตามิน K จะไม่มีผลในการป้องกันโรคเมื่อโคได้รับ Dicoumarol (Casper, Alstad, Tacke, Johnson, and Lloyd, 1989) ข้อมูลปริมาณความเป็นพิษของของวิตามิน K นั้นมีน้อยมาก แต่ในมนุษย์คาดการว่าการที่ได้รับวิตามิน K มากกว่า 1000 เท่า ของความต้องการจะทำให้เกิดพิษ (NRC, 1987) แต่ไม่พบข้อมูลความเป็นพิษในโคนม

2.2 วิตามินที่ละลายในน้ำ (Water-soluble vitamins)

จุลินทรีย์ที่อยู่ในกระเพาะหมักของโคนมสามารถสังเคราะห์วิตามินที่ละลายในน้ำได้

(biotin, folic acid, pantothenic acid, pyridoxine, riboflavin, thiamin, vitamin B_{12}) และพบว่าในวัตถุดิบอาหารสัตว์ทั่วไปก็มีวิตามินที่ละลายในน้ำอยู่ในปริมาณมาก เนื่องจากวิตามินสามารถถูกสังเคราะห์โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก ทำให้การที่โคนมจะขาดวิตามินที่ละลายในน้ำพบได้ไม่บ่อยนัก งานวิจัยที่เกี่ยวกับวิตามินในโคนมปัจจุบันจะเน้นไปที่วิตามินที่ละลายในน้ำ โดยโรคที่เกิดจากการขาดวิตามินส่วนมากจะเกิดจากการขาดวิตามินบี (B vitamin) และมักเกิดกับลูกโคที่ยังไม่ได้กินอาหารข้นและอาหารหยาบแต่ก็พบในปริมาณน้อยเพราะลูกโคยังได้รับวิตามินจากน้ำนม

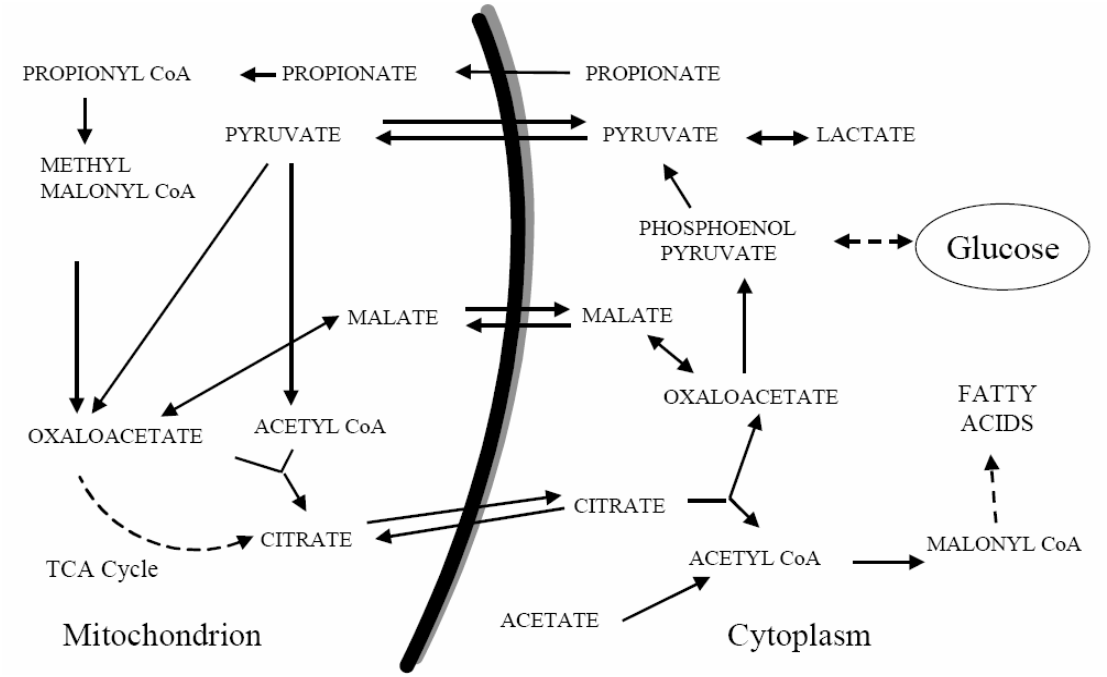
2.2.1 บี วิตามิน (B vitamin)

2.2.1.1 ไบโอติน (Biotin)

ไบโอตินมีโครงสร้างคล้ายกับวิตามินบี 1 ตรงที่มีธาตุกำมะถันเป็นองค์ประกอบ สามารถละลายได้ในน้ำและแอลกอฮอล์ แต่ไม่ละลายในอีเทอร์ คลอโรฟอร์มและอะซิโตน มีความทนทานต่อแสงแดดและความร้อน แต่ไม่ทนต่อกรดและด่างเข้มข้น ไบโอตินในทางการค้าจะอยู่ในรูป ดี-ไบโอติน (D-biotin) ไบโอตินมีหน้าที่ในการทำงานหลายชนิด เช่น การเมแทบอลิซึมของกรดอะมิโน (Amino acid metabolism) การทำงานของเซลล์ ขบวนการ Gluconeogenesis และขบวนการสังเคราะห์กรดไขมัน นอกจากนี้ยังเป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์ Acetyl-CoA carboxylase, Pyruvate carboxylase, B-methylcrotonyl-CoA carboxylase และเอนไซม์ Propionyl-CoA carboxylase โดยไบโอตินจะช่วยการทำงานของเอนไซม์ที่กล่าวมาแล้วข้างต้นในการขนย้ายคาร์บอนจากสารตั้งต้นเพื่อนำไปสร้างผลผลิต นอกจากนี้ยังพบว่าจุลินทรีย์กลุ่ม Cellulolytic bacteria ในกระเพาะหมักต้องการไบโอตินเพื่อช่วยในการเจริญเติบโต (Baldwin and Allison, 1983) โดย Bentley, Johnson, Vanecko, and Hunt (1954); Milligan, Asplund, and Robblee (1967) พบว่าไบโอตินเพิ่มการย่อยได้ของเยื่อใยในกระเพาะหมักเทียม โดยโคนมนั้นจะได้รับไบโอตินจากทางอาหารที่สัตว์กินเข้าไป โดยอาหารที่มีโปรตีนสูงจะมีไบโอตินมากกว่าอาหารที่มีโปรตีนต่ำ นอกจากนี้อาหารจำพวก Byproduct เช่น กากเบียร์ จะมีไบโอตินอยู่ในปริมาณสูง ซึ่งโดยทั่วไปในสูตรอาหารของโคนมจะมีไบโอตินประมาณ 0.2-0.4 มิลลิกรัม/กิโลกรัมวัตถุแห้ง

จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักและลำไส้ใหญ่ของโคนมสามารถสังเคราะห์ไบโอตินได้ โดยพบว่าในโคเนื้อที่ได้รับอาหารในปริมาณต่ำ (น้อยกว่า 6 กิโลกรัมวัตถุแห้ง/วัน) และโคนมที่ไม่ให้ผลผลิตที่ได้รับอาหารเป็นหญ้าแห้งไม่เกิน 15 กิโลกรัมวัตถุแห้ง/วัน จะมีการสังเคราะห์ไบโอติน 0-2 มิลลิกรัมต่อวัน (Miller, Meiske, and Goodrich, 1986; Zinn, Owens, Stuart, Dunbar, and Norman, 1987) การสังเคราะห์ไบโอตินในโคนมที่ให้ผลผลิตนั้นน่าจะประมาณ 1-10 มิลลิกรัมต่อวัน โดยพบว่าการสังเคราะห์ไบโอตินนั้นจะขึ้นอยู่กับปริมารอาหารหยาบที่โคได้รับ โดยพบว่าเมื่อโคนมได้รับอาหารหยาบลดลงจะมีความสามารถในการสังเคราะห์

ไบโอตินได้น้อยลง (Da Costa Gomez, Masri, Steinberg, and Abel, 1998)



ภาพที่ 2.1 การทำงานของไบโอตินในขบวนการ Gluconeogenic และ lipogenic
ที่มา: Weiss, 2001

หน้าที่ของไบโอติน ทำหน้าที่เป็นโคเอนไซม์ของเอนไซม์ คาร์บอกซิเลส (carboxylases) หลายชนิด เช่นในปฏิกิริยาต่าง ๆ ของร่างกาย ในการจับตัวกับ Enzyme protein เป็น CO_2 – biotin enzyme complex ซึ่งเป็นรูปที่ Active CO_2 เพื่อเปลี่ยน Leucine เป็น Isoleucine และเปลี่ยน Active CO_2 เป็น Malonyl-CoA เปลี่ยน Pyruvate เป็น Oxalocetate นอกจากนี้ไบโอตินยังมีความจำเป็นในกระบวนการ Gluconeogenesis เพื่อควบคุม Blood glucose ในร่างกาย โดยเปลี่ยนจากไขมันและโปรตีนเมื่อร่างกายขาดอาหารที่มี Carbohydrate (ยุคล ลิ้มแหลมทอง, 2533) ซึ่งช่วยเร่งปฏิกิริยาในเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และลิพิด และยังเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์กรดแอสพาร์ติก

เมแทบอลิซึมของไบโอติน ไบโอตินเป็นโคเอนไซม์ของเอนไซม์ไพรูเวตคาร์บอกซิเลส (Pyruvate carboxylase) ซึ่งช่วยเร่งในปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงไพรูเวต (Pyruvate) ให้เป็นออกซาโลอะซิเตต (Oxaloacetate) ในไมโตคอนเดรีย ซึ่งออกซาโลอะซิเตต เป็นสารตัวกลางในการสังเคราะห์กลูโคส และเมื่อออกซาโลอะซิเตตรวมตัวกับอะซิติลโคเอนไซม์เอ (Acetyl-Co A)

จะเปลี่ยนเป็นซิเตรทก่อนที่จะเข้าสู่ไซโตพลาสซึม เพื่อเข้าขั้นตอนของการสังเคราะห์ไขมัน

อะซิติลโคเอนไซม์เอ คาร์บอกซิเลส เป็นเอนไซม์ที่มีไบโอตินเป็นโคเอนไซม์ จะช่วยเร่งการเปลี่ยนอะซิติลโคเอนไซม์เอให้เป็นมาโลนิลโคเอนไซม์เอ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์กรดไขมัน นอกจากนี้ไบโอตินยังเป็นโคเอนไซม์โพรพิออนิลโคเอนไซม์เอคาร์บอกซิเลส (Propionyl CoA carboxylase) ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงโพรพิออนิล โคเอนไซม์เอ ให้เป็น เมทิลมาโลนิล โคเอนไซม์เอ (Methyl malonyl CoA) สารนี้เป็นตัวกลางในการเปลี่ยนแปลงกรดโพรพิออนิก เป็นกรดไขมันที่ระเหยได้ง่าย ที่สำคัญชนิดหนึ่งที่ถูกเปลี่ยนแปลงเป็นกลูโคสหรือเปลี่ยนแปลงให้พลังงานแก่สัตว์ ปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงกรดโพรพิออนิกให้เป็นพลังงานได้ นอกจากนั้นเอนไซม์อื่นๆ ที่มีไบโอตินเป็นโคเอนไซม์จะเกี่ยวข้องโดยตรงกับกระบวนการเกิดกลูโคสจากสารอื่น และการสังเคราะห์ไขมัน

กลไกการทำงานของไบโอติน ในการทำงานของไบโอติน เนื่องจากเป็น Co-enzyme ของ Pyruvate carboxylase ซึ่งจะช่วยเร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลง Pyruvate ให้เป็น Oxaloacetate ในไมโตรอนเดรีย (Mitochondria) ซึ่งผลผลิตที่ได้ เป็นน้ำตาลกลูโคส (Glucose) และเมื่อมีการสังเคราะห์กลูโคสเพิ่มมากขึ้น จะมีผลต่อการสังเคราะห์วิตามิน C ในตับ โดยวิตามิน C จะเกี่ยวข้องกับเอนไซม์ในกระบวนการหายใจของเซลล์ในร่างกาย ซึ่งร่างกายสัตว์ต้องการวิตามิน C ในกระบวนการสังเคราะห์ Hydroxyproline โดยสารประกอบ 2 ชนิดนี้จะเป็นส่วนประกอบของ Collagen ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของกระดูก ฟัน ผนังเส้นเลือดฝอย และเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน การเสริมวิตามิน C จะช่วยในการสังเคราะห์ Collagen เพื่อซ่อมแซมเส้นเลือดฝอยที่กีบโคนมให้มีความแข็งแรงขึ้น ถ้าสัตว์ขาดไบโอติน (Biotin) และไนอะซิน (Niacin) จะส่งผลทำให้สัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์วิตามิน C ได้ ซึ่งไบโอตินและไนอะซิน จะทำหน้าที่ในการเป็นโคเอนไซม์ เร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงกรด ดี-กลูคูโรนิก (D-Glucuronic acid) ไปเป็นกรด แอล-แอสคอร์บิก (L-Ascorbic acid) วิตามิน C ในร่างกายสัตว์จะพบอยู่ตามเนื้อเยื่อต่าง ๆ เช่น ต่อมใต้สมอง ต่อมหมวกไต คอร์ปัส-ลูเทียม (Corpus luteum) ต่อมน้ำลาย เป็นต้น ซึ่งพบว่าในต่อมเหล่านี้จะมีวิตามิน C ในปริมาณสูง ส่วนในหลอดเลือดวิตามิน C จะอยู่ในรูปกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) (เสาวนิต คูประเสริฐ, 2537)

เนื่องจากไบโอติน เป็นกลุ่มของวิตามินบีรวม (B-Complex) หรือเรียกว่าวิตามิน H เป็นวิตามินที่ละลายในน้ำ ปรกติไบโอตินจะพบในธรรมชาติ พวกพืช และสัตว์จะได้รับจากการกินอาหาร ไบโอตินจะถูกสังเคราะห์ขึ้นในกระเพาะหมัก แต่จะมีความผันแปรขึ้นอยู่กับโภชนะที่มีในอาหารสัตว์ ไบโอตินเป็นปัจจัยที่สำคัญและเป็น Co-factor ของเอนไซม์ในกระบวนการของ Biological carboxylation เป็นส่วนประกอบใน Tricarboxylic acid cycle, Gluconeogenesis และ Fat synthesis การศึกษาผลการเสริมไบโอตินในอาหารโคนมพบว่าที่ระดับ

การเสริม 20 มิลลิกรัม/วัน จะทำให้ลดการอักเสบของกีบ ในการเกิด Sole hemorrhages โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่มีการเสริมไบโอติน Bergsten, Greenough, Gay, Seymour, and Gay, 2003) และมีความสำคัญในการพัฒนากีบเท้าและเขาให้มีความแข็งแรง ไบโอตินยังมีความเกี่ยวข้องกับ Epidermal cell และการผลิต Keratin และ Intracellular cementing substance ในการเสริมไบโอตินที่ระดับ 20 มิลลิกรัม/วัน จะช่วยลด Lameness และ White line disease โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่มีการเสริมไบโอติน ซึ่งการป้องกันการเกิดนี้โดยการเสริมไบโอติน เพื่อทำให้ White line แข็งแรง โดยทำให้ Extracellular ของ White line มีความแข็งคงทน (Potzsch, Collis, Blowey, Packington, and Green, 2003; Hedges, Blowey, Packington, O'Callaghan, and Green, 2001) การเสริมไบโอตินให้โคนมช่วงการให้น้ำนม จะแสดงการเพิ่มขึ้นของ ระดับความเข้มข้นของไบโอตินใน Plasma และลดปัญหาการเจ็บกีบ โดยพบว่าการเสริมไบโอตินที่ระดับ 10 มิลลิกรัม/วัน จะช่วยลดการเกิด Vertical fissures ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบทียบกับกลุ่มที่ไม่มีการเสริมไบโอติน (Campbell, Greenough, and Petrie, 2000) และในการทดลองของ Fitzgerald, Norton, Elliott, Podlich, and Svendsen (2000) ซึ่งทำการเสริมไบโอตินที่ระดับ 20 มิลลิกรัม/วัน จะลดปัญหาการเกิด Damage to digits โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่มีการเสริมไบโอติน แม้จะพบว่าจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก สามารถสังเคราะห์ไบโอติน และวิตามิน B ชนิดอื่น ๆ ได้ และภาวะการขาดไบโอตินจะไม่ค่อยพบในสัตว์เคี้ยวเอื้อง แต่ถ้ากระเพาะหมักมีความเป็นกรดมาก เนื่องจากการเกิดสภาวะ acidosis หรือการหมักย่อยคาร์โบไฮเดรตอย่างรวดเร็ว จะทำให้ลดการสังเคราะห์ไบโอตินได้ ซึ่งจะพบมากช่วงโคให้นม periparturient period และ early lactation (Hedges et al., 2001)

ผลการเสริมไบโอตินต่อประสิทธิภาพการให้ผลผลิตน้ำนม Ferreira, Weiss, and Willett (2007) ทำการศึกษาผลการเสริมไบโอตินที่ระดับ 24 มิลลิกรัม/วัน เป็นระยะเวลา 16 วัน พบว่าผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้นโดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่มีการเสริมไบโอติน แต่ไม่มีผลต่อเปอร์เซนต์ไขมันในน้ำนม สอดคล้องกับการทดลองของ Majee, Schwab, Bertics, Seymour, and Shaver (2003) ที่ทำการเสริมไบโอตินที่ระดับ 20 มิลลิกรัม/วัน เป็นระยะเวลา 28 วัน สามารถเพิ่มผลผลิตน้ำนม 1.7 กิโลกรัม/วัน Bergsten et al. (2003) ได้ทำการศึกษาถึงผลของการเสริมไบโอตินที่ระดับ 20 มิลลิกรัม/วัน เป็นระยะเวลา 14 เดือน พบว่าผลผลิตน้ำนม และเปอร์เซนต์ไขมันในน้ำนมเพิ่มขึ้น โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่มีการเสริมไบโอตินและ Zimmerly and Weiss (2001) เสริมไบโอตินที่ระดับ 10 และ 20 มิลลิกรัม/วัน เป็นเวลา 98 วัน ทำให้ผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อ

เปอร์เซนต์ไขมันในน้ำนม Ferreira and Weiss (2007) เสริม ไบโอตินที่ระดับ 27 มิลลิกรัม/วัน ที่ระยะเวลา 21 วัน ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณผลผลิตน้ำนม เช่นเดียวกับ Rosendo et al. (2004) ที่ทำการเสริมไบโอตินที่ระดับ 30 มิลลิกรัม/วัน ที่ระยะเวลา 70 วัน

ตารางที่ 2.1 ผลการเสริมไบโอตินต่อประสิทธิภาพการให้ผลผลิตน้ำนมในโคนม

Level (mg/d)	Period of Supplemention (day)	Performance		References
		Milk yield (kg/d)	Milk fat (%)	
0	16	41.8	3.47	Ferreira, Weiss, and Willett, 2007
24		44.5*	3.59	
0	21	39.1	3.59	Ferreira and Weiss, 2007
27		39.3	3.66	
0	70	35.8	3.59	Rosendo et al., 2004
30		34.8	3.69	
0	14 (month)	32.0	3.51	Bergsten, Greenough, Gay, Seymour, and Gay, 2003
20		36.3*	3.77*	
0	28	37.2	3.34	Majee, Schwab, Bertics, Seymour, and Shaver, 2003
20		38.9*	3.24	
0	98	36.9	3.63	Zimmerly and Weiss., 2001
10		37.8	3.50	
20		39.7*	3.45	

การขาดไบโอติน ปกติสัตว์จะไม่ขาดไบโอติน เนื่องจากมีในอาหารสัตว์เกือบทุกชนิด และสัตว์ต้องการในปริมาณน้อย แต่จากการทดลองเพื่อศึกษาอาการขาดไบโอตินของสัตว์ พบว่าอาการขาดไบโอตินในสัตว์ชนิดต่าง ๆ แตกต่างกันออกไป อาการโดยทั่วไปคือ เบื่ออาหาร อัตราการเจริญลดลง ประสิทธิภาพการใช้อาหารลดลง ผิวหนังอักเสบ

นอกจากนี้การขาดไบโอตินทำให้กลูโคสในเลือดลดลง ซึ่งกลูโคสนี้เป็นแหล่งพลังงานของระบบประสาทส่วนกลาง ดังนั้นจึงทำให้เกิดวิการที่เส้นประสาท และการที่กลูโคสในเลือดลดลงจะทำให้มีการนำกรดไขมันในร่างกายมาใช้อย่างรวดเร็ว เพื่อให้ได้อะซิติลโค

เอนไซม์เอ ซึ่งร่างกายจะนำไปเปลี่ยนให้เป็นพลังงาน และเมื่อกระบวนการสลายกรดไขมันเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจะทำให้ตับและไตเปลี่ยนแปลงอะซิติลโคเอนไซม์เอเป็นพลังงานไม่หมด เกิดสารคีโตนขึ้นในปริมาณมากในเลือด (Ketonemia) ซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์ นอกจากการที่กลูโคสในเลือดลดลงอาจลดการสังเคราะห์วิตามิน C ด้วย

การขาดไบโอตินทำให้การทำงานของเอนไซม์ อะซิติลโคเอนไซม์เอคาร์บอกซิเลสลดลง ซึ่งมีผลทำให้ไขมันในเนื้อเยื่อไขมันลดลง และลดการสะสมกรดปาล์มิติกและกรดสเตียริก แต่จะเพิ่มการสะสมกรดปาล์มิโตเลอิก กรดลิโนเลอิก และกรดลิโนเลนิก ถ้ามีกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณมากจะทำให้ซากสัตว์มีไขมันเหลวมากตามไปด้วย และทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันไขมัน และไขมันเกิดการเหม็นหืนอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นสิ่งที่ผู้บริโภคไม่ต้องการ (เสาวนิต คูประเสริฐ, 2537)

2.2.1.2 กรดโฟลิค (Folic acid)

กรดโฟลิคจะรวมตัวกับ Coenzymes ที่มีจำนวนคาร์บอนในโครงสร้างหนึ่งตำแหน่งและทำหน้าที่ในขบวนการขนส่งทางชีวเคมีต่าง ๆ ในร่างกาย โดยกรดโฟลิคจะจับรวมกับเมทไธโอนีน (Methionine) นอกจากนี้กรดโฟลิคยังจำเป็นในการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก (Nucleic acid) โดยการศึกษาความต้องการของโคนมต่อกรดโฟลิคนั้น จะสามารถดูได้จากอัตราการเจริญเติบโต (Growth rate) และการศึกษาทางด้านโลหิตวิทยา (Hematologic) โดยพบว่ากรดโฟลิคนั้นถูกสลายที่กระเพาะหมักน้อยมาก (Zinn et al., 1987) ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับผลของการเสริมกรดโฟลิคนั้นจึงสามารถที่จะเสริมเข้าไปกับอาหารทางปากของโคได้

การฉีดกรดโฟลิคในปริมาณ 40 มิลลิกรัมเป็นประจำทุกสัปดาห์จาก 45 วันก่อนการผสมพันธุ์จนกระทั่งก่อนคลอด 6 สัปดาห์พบว่าไม่มีผลต่อพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในเลือดรวมไปถึงน้ำหนักตัวของลูกโคแรกเกิด โดยพบว่ากรดโฟลิคที่โคได้รับจากอาหารและการสังเคราะห์ของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักก็เพียงพอที่จะทำให้โคในระยะเจริญเติบโตเต็มที่ไม่แสดงลักษณะอาการที่เกี่ยวกับการขาดกรดโฟลิค (Girard, Matte, and Tremblay, 1995) ในลูกโคที่จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักยังเจริญเติบโตไม่เต็มที่จะมีความอ่อนไหวต่อการขาดกรดโฟลิคมาก โดยลูกโคที่ได้รับการฉีดกรด โฟลิคเป็นประจำทุกสัปดาห์ในปริมาณ 40 มิลลิกรัม โดยเริ่มฉีดตั้งแต่อายุ 10 วันจนถึงอายุ 16 สัปดาห์มีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น 8% หลังจากหย่านม 5 สัปดาห์ (Dumoulin, Girard, Matte, and St-Laurent, 1991) นอกจากนี้ยังพบว่าลูกโคที่ได้รับกรดโฟลิคยังมีปริมาณ Folate ในน้ำเหลือง, ฮีโมโกลบิน และส่วนที่ทำให้เลือดเกิดการแข็งตัวเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นกรดโฟลิค จึงมีความจำเป็นต่อลูกโค

การเสริมกรดโฟลิค 160 มิลลิกรัมทุกสัปดาห์ โดยเริ่มจาก 45 วันหลังจากตั้งท้องจนถึง 6 สัปดาห์หลังคลอดมีผลทำให้ปริมาณน้ำนมและโปรตีนในน้ำนมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

ในช่วงกลางและช่วงสุดท้ายของการให้นมในโคนมที่มีการให้นมตั้งแต่ Lactation ที่ 2 ขึ้นไป (Girard et al., 1995) อาการของการขาดกรดโฟลิคในโคนั้นยังไม่มีข้อมูลปรากฏ แต่พบว่าเมื่อทำการเสริมกรดโฟลิคให้กับโคนมสามารถเพิ่มผลผลิตน้ำนมในโคนมได้

2.2.1.3 อิโนซิตอล (Inositol)

อิโนซิตอล เป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อขบวนการเมแทบอลิซึมและการขนส่งไขมันในร่างกาย นอกจากนี้ยังเป็นส่วนประกอบของ Phospholipids และเกี่ยวข้องกับการทำงานของ Lipotropic โดย Myo-inositol พบอยู่ในวัตถุดิบอาหารสัตว์โดยรวมอยู่กับ Phytic acid (Gerloff, Emery, and Wells, 1984) เพราะ Phytic acid นั้นสามารถย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก อาการของการขาด Inositol ยังไม่ปรากฏ อย่างไรก็ตาม พบว่า โรค Fatty liver หรือ Hepatic lipidosis อาจเกิดได้จากการที่สัตว์ได้รับ Inositol ในปริมาณน้อยเกินไป โดยพบว่าการเสริม Inositol ช่วยลดการสะสมของ Triglyceride ในตับ แต่ Gerloff et al. (1984) พบว่าการเสริม Nonphytate myo- inositol 17 กรัมในโคช่วงก่อนคลอดและหลังคลอด พบว่า Nonphytate myo-inositol ไม่ทำให้ลดการสะสมไขมันในตับ ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Grummer, Armentano, and Marcus (1987) ที่พบว่าการเสริม 37 กรัมของ Myo- inositol ไม่ทำให้ปริมาณน้ำนมและไขมันในน้ำนมเพิ่มขึ้น ไม่มีข้อมูลปริมาณความต้องการที่แน่นอนของ Inositol ในภาวะปรกติของโคนม เพราะว่าจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักและ Inositol ในอาหารนั้นมีเพียงพอต่อความต้องการของสัตว์

2.2.1.4 ไนอาซิน (Niacin)

Niacin เป็นชื่อสามัญของ Pyridine 3-carboxylic acids โดยมีแหล่งที่มาและการทำงานคล้ายคลึงกับ Amide โดย Niacin จะทำหน้าที่เป็น Co-enzyme ของ Pyridine nucleotide electron ทำหน้าที่ในการขนส่ง NAD (H) และ NADP (H) ดังนั้น Niacin จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการทำงานของ Mitochondrial เมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และกรดอะมิโน

Niacin นั้นน่าจะสามารถถูกสังเคราะห์ขึ้นในกระเพาะหมักของโคได้ เพราะพบว่าปริมาณของ Niacin ในลำไส้ของโคมีมากกว่าปริมาณที่สัตว์กินเข้าไป (Zinn et al., 1987) โดยปริมาณการสังเคราะห์ Niacin ในกระเพาะหมักจะแปรผกผันกับปริมาณของ Niacin ที่สัตว์ได้รับ (Abdouli and Schaefer, 1986b) โดยพบว่าในโคที่ได้รับการเสริม Niacin พบปริมาณของ Niacin ในลำไส้น้อยกว่าปริมาณของ Niacin ที่สัตว์ได้รับ ซึ่งแสดงว่า Niacin ถูกย่อยสลายและดูดซึมในกระเพาะหมัก (Zinn et al., 1987) การดูดซึมของ Niacin ในกระเพาะหมักนั้นมีอัตราที่ต่ำ (Erickson, Murphy, McSweeney, and Trusk, 1991) การเสริม Niacin ให้กับโคพบว่าทำให้ปริมาณของ Niacin ที่ไหลเวียนอยู่ในกระเพาะหมักและลำไส้เล็กส่วนต้นเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นหลักฐานที่แสดงว่า Niacin สามารถเดินทางมาถึงลำไส้เล็ก (Zinn et al., 1987; Campbell, Murphy, Christensen, and Overton,

1994) โดยพบว่ามี Niacin ประมาณ 17- 30% ที่สามารถมาถึงลำไส้เล็ก (Harmeyer and Kollenkirchen, 1989; Campbell et al., 1994) นอกจากนี้ยังพบว่า Nicotinamide สามารถเปลี่ยนเป็น Nicotinic acid ได้อย่างรวดเร็วในกระเพาะหมักส่วน Reticulo-rumen (Harmeyer and Kollenkirchen, 1989; Cambell et al., 1994)

Niacin สามารถเพิ่มการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนได้ (Shields, Schaefer, and Perry, 1983; Riddell, Bartley, and Dayton, 1980, 1981) อย่างไรก็ตามในหลายงานทดลองพบว่า Niacin ไม่มีผลต่อปริมาณของจุลินทรีย์โปรตีน (Hannah and Stern, 1985; Abdouli and Achaefer, 1986a; Doreau and Otto, 1996) โดยการทดลองทั้งหมดเป็นการทดลองในกระเพาะหมักเทียม และสัตว์ในกลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริม Niacin แต่พบว่าสัตว์นั้นยังสามารถรับ Niacin จากอาหารส่วนอื่นที่มี Niacin รวมอยู่ด้วย เช่นรวมอยู่กับ B-vitamin ชนิดอื่น ๆ ในสูตรอาหารของโคนม (Zinn et al., 1987) หรืออยู่ในรูปอื่น เช่น Nicotinic acid หรือ Nicotinamide ที่เป็นอาหารของโคนม (Doreu and Otto, 1996) ดังนั้นจึงทำให้ไม่มีผลต่อปริมาณการไหลเวียนของจุลินทรีย์ในลำไส้

Niacin เป็นสารอาหารที่จำเป็นสำหรับลูกโคนมที่ยังไม่หย่านม โดยลูกโคที่กินนมสังเคราะห์อาจจะขาด Niacin (Hopper and Johnson, 1955) โดยพบว่า Niacin ที่โคได้รับทั้งจากการกินและการฉีดเข้ากล้ามเนื้อจะทำให้ลูกโคมีภูมิคุ้มกันที่ดีขึ้น แต่ไม่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต (Riddell et al., 1981) Niacin เป็น Antilipolytic และมักถูกเสริมลงไปในสูตรอาหารสัตว์เพื่อป้องกันการเกิด Fatty liver และ Ketosis ซึ่งงานวิจัยล่าสุดพบว่าการเสริม Niacin สามารถลด Blood ketone (Fronk and Schultz, 1979; Waterman, Schwalm, and Schultz, 1972) นอกจากนี้ยังพบว่าการเสริม Niacin ช่วยลดปริมาณ Nonesterified fatty acid ในพลาสมาแต่ไม่มีผลต่อ Beta-hydroxybutyrate (Jaster, Bell, and McPherron, 1983)

ปริมาณความต้องการที่แน่นอนของ Niacin ในโคนมยังไม่สามารถระบุได้ แต่ Niacin จำเป็นต้องถูกเสริมให้ลูกโคที่ไม่ได้รับน้ำนมจากแม่ (Hopper and Johnson, 1955) แต่ไม่จำเป็นสำหรับลูกโคที่หย่านมแล้ว (Riddell et al., 1981) การทดลองส่วนใหญ่พบว่าการเสริม Niacin ทำให้ประสิทธิภาพการให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นนอกจากนี้ยังทำให้ลดความเสี่ยงในการเกิดโรค Ketosis และ Fatty liver

2.2.1.5 วิตามิน B_5 (Pantothenic acid)

Pantothenic acid เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของ Coenzyme A และเกี่ยวข้องกับการทำงานหลักของร่างกาย เช่น ขบวนการออกซิเดชั่น (oxidation) ของไขมัน การ Catabolism ของ Amino acid และการสังเคราะห์ Acetylcholine (Smith and Song, 1996) โดยพบว่าโคนมไม่ต้องการการเสริม Pantothenic acid เพราะว่าจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักนั้นสามารถสังเคราะห์ได้ โดยปริมาณของ Pantothenic acid ที่สามารถสังเคราะห์ได้ในกระเพาะหมักประมาณ

2.2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ของสารอินทรีย์ที่ย่อยได้จากการกินอาหารในหนึ่งวัน ส่วนการย่อย Pantothenic acid ในกระเพาะหมักนั้นสามารถย่อยได้ประมาณ 78% (Zinn et al., 1987) ซึ่งพบว่าการเสริม Pantothenic acid นั้นไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตของโคนม (Cole, McLaren, and Hutcheson, 1982; Zinn et al., 1987) อาการของการขาด Pantothenic acid มีอาการที่ไม่แน่นอน โดยในสัตว์กระเพาะเดี่ยวอาการขาดของ Pantothenic acid ที่พบได้แก่ การผิดปรกติของ Nervous, Gastrointestinal, ระบบภูมิคุ้มกัน อัตราการเจริญเติบโตลดลง การกินได้ลดลง ผิวหนังเกิดรอยช้ำขนร่วง เกิดการเปลี่ยนแปลงของเมแทบอลิซึมของไขมัน และคาร์โบไฮเดรต และตาย (Smith and Song, 1996)

2.2.1.6 วิตามิน B_2 (Riboflavin)

Riboflavin เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์หลายชนิดที่ทำหน้าเกี่ยวกับขบวนการเมแทบอลิซึมของ Intermediary ซึ่งปริมาณความต้องการของ Riboflavin ในโคนม ยังไม่มีปริมาณระบุที่แน่นอน โดยพบว่าจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักสามารถสลาย Riboflavin จากอาหารที่ได้รับได้ถึง 100% (Zinn et al., 1987) ส่วน Miller et al. (1986) พบว่าจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักสามารถที่จะสังเคราะห์ Riboflavin จากอาหารที่สัตว์ได้รับถึง 148% และดูดซึมจากลำใส้เล็ก 23% โดยปริมาณของ Riboflavin ที่สังเคราะห์ได้ในกระเพาะหมักและที่หมุนเวียนอยู่ในลำใส้นั้นไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของอาหารที่โคได้รับ Zinn et al. (1987) พบว่าปริมาณของ Riboflavin ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นในกระเพาะหมักมีปริมาณ 15.2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ของสารอินทรีย์ที่ย่อยได้จากการปริโภคอาหารในหนึ่งวันและ Riboflavin ถูกดูดซึมจากลำใส้เล็กประมาณ 25%

2.2.1.7 วิตามิน B_1 (Thiamin)

Thiamin เป็นวิตามินที่ละลายในน้ำอีกชนิดหนึ่ง โดย Thiamin ที่บริสุทธิ์จะมีสีขาวและมีกลิ่นคล้ายกำมะถัน โดย Thiamin มีหน้าที่การทำงานที่สำคัญหลายอย่าง เช่น เป็น Coenzyme ที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการขนส่งของพลังงาน (Combs, 1992) Thiamin ส่วนมากจะมีในอาหารสัตว์พวกเมล็ดธัญพืช หรือ By-product จากเมล็ดธัญพืช Thiamin สามารถถูกสังเคราะห์ขึ้นได้ในกระเพาะหมักประมาณ 28-72 มิลลิกรัม (Breves, Brandt, Hoeller, and Rohr, 1981) โดยทั่วไปปริมาณของ Thiamin ในวัตถุดิบอาหารสัตว์และ Thiamin ที่ได้จากการสังเคราะห์ในกระเพาะหมักนั้นมากเกินความต้องการของโค และพบว่า Thiamin จะถูกสลายในกระเพาะหมักประมาณ 48 % (Zinn et al., 1987) ปรกติ Thiamin ไม่มีความเป็นพิษซึ่งพบว่าในสัตว์กระเพาะเดี่ยวสัตว์สามารถบริโภค Thiamin ได้ถึง 1000 เท่าของความต้องการ (NRC, 1987) แต่ระดับความต้องการที่เหมาะสมของ Thiamin ในสัตว์กระเพาะรวมนั้นยังไม่มีข้อมูลระบุ อาการของการขาด Thiamin ในโคนมนั้นก็ยังไม่มีข้อมูลปรากฏ

2.2.1.8 วิตามิน B_{12} (Vitamin B_{12})

Vitamin B_{12} เป็น Cofactor ของเอนไซม์หลัก ๆ 2 ชนิด คือ Methylmalonyl coenzyme A ซึ่งจำเป็นในการเปลี่ยน Propionate ไปเป็น Succinate และ Tetrahydrofolate methyl transferase ที่ทำหน้าที่ในการขนส่งกลุ่ม Methyl จาก 5-methyltetrahydrofolate จากรูปแบบ Methionine และ Tetrahydrofolate ไปยัง Homocysteine โดย Vitamin B_{12} นั้นไม่พบในเนื้อเยื่อของพืช ซึ่งจุลินทรีย์นั้นเป็นแหล่งเดียวในธรรมชาติที่พบ Vitamin B_{12} การขาดวิตามิน Vitamin B_{12} ในโคนมมักพบในสัตว์ที่ได้รับอาหารที่ไม่มีแหล่งโปรตีนที่มาจากสัตว์ (Lassiter, Ward, Huffman, Duncan, and Welester, 1953) โดยพบว่า Vitamin B_{12} เป็นสารอาหารที่จำเป็นสำหรับโคนม และพบว่าความต้องการของ Vitamin B_{12} ในโคนมจะอยู่ที่ 0.34-0.68 ไมโครกรัมกิโลกรัมของน้ำหนักโค

การสังเคราะห์ Vitamin B_{12} ในกระเพาะหมักของโคพบว่าโคที่ได้รับหญ้าสดเป็นอาหารจะสังเคราะห์ได้ดีกว่าโคที่ได้รับอาหารข้นในปริมาณสูง (Sutton and Elliot, 1972; Walker and Elliot, 1972) ในสัตว์กระเพาะรวมที่เจริญเติบโตเต็มที่แล้ว Vitamin B_{12} มีความสำคัญมากเพราะว่า Vitamin B_{12} มีผลต่อขบวนการเมแทบอลิซึมของ Propionate (gluconeogenesis) และการสังเคราะห์ Methionine โดยพบว่าในโคที่ได้รับอาหารที่มีเมล็ดธัญพืชในปริมาณสูงและขาด Vitamin B_{12} จะทำให้โคมีไขมันในน้ำนมต่ำ (Frobish and Davis, 1977)

2.2.2 วิตามิน ซี (Vitamin C) Vitamin C หรือ Ascorbic acid ถูกสังเคราะห์จาก L-gulonic ภายในเซลล์ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง ลูกโคไม่สามารถสังเคราะห์ Ascorbic acid ได้จนกระทั่งอายุครบ 3 สัปดาห์ (Cummins and Brunner, 1991) ดังนั้นวิตามินซีจึงถูกจัดเป็นวิตามินที่ไม่จำเป็นสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องที่มีอายุมากกว่า 3 สัปดาห์ขึ้นไป การเสริมวิตามินซีให้กับโคนมไม่พบความแตกต่างของการเจริญเติบโต เพราะว่าวิตามินซีส่วนมากจะทำหน้าที่เกี่ยวกับ Antioxidant ซึ่งงานวิจัยส่วนใหญ่ของวิตามินซีจะเน้นเกี่ยวกับระบบภูมิคุ้มกันของสัตว์ แต่การเสริมวิตามินซีนั้นพบว่าไม่มีผลต่อ Immunoglobulin titer ในลูกโค (Cummins and Brunner, 1989; Hidiroglou, Batra, Ivan, and Markham, 1995)

2.2.3 โคลีน (Choline)

โคลีนจัดเป็นโภชนะที่สำคัญสำหรับสัตว์ชนิดหนึ่ง หน้าที่หลักของโคลีนในร่างกายได้แก่

- สร้างและคงสภาพการสร้างของเซลล์ร่างกาย
- ทำหน้าที่เกี่ยวกับขบวนเมแทบอลิซึมของไขมัน (Fat metabolism)
- สร้างอะซิติลโคลีน (Formation of Acetylcroline)
- เป็นตัวให้เมทิลกรุ๊ป ($-CH_3$) (Methyl Donation)

- ป้องกันโรคเพอโรซิส (Perosis) ในสัตว์ปีก

การเสริมโคลีนลงในอาหารส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของ โคลีนคลอไรด์ โดยโคลีนคลอไรด์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดจะมี 2 รูปแบบคือ ของเหลว และแบบผง นอกจากนี้ยังมีความเข้มข้นต่างกัน

โคลีนจึงเป็นวิตามินบีที่มีความจำเป็นสำหรับการรักษาสุขภาพของสัตว์ โดยในหนูพบว่าเมื่อขาดโคลีน ทำให้มีการสะสมของ Triglycerides ในตับเพิ่มขึ้น (Rien, Krasin, and Sheard, 1997) ซึ่งอาจคล้ายกับโคช่วงหลังคลอด ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าโคลีนมีความจำเป็นสำหรับแม่โคหลังคลอด ปรกติแล้วโคลีนเมื่อถูกโคกินเข้าไปจะถูกย่อยอย่างรวดเร็วในกระเพาะหมักของโค ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนารูปแบบการเสริมโคลีน คือ Rumen-protected choline (RPC) ก่อนที่จะทำการเสริมให้กับโค Deuchler, Piperova, and Erdman (1998) พบว่าเมื่อเสริมโคลีนในรูป Rumen-protected choline ทำให้โคสามารถดูดซึมโคลีนได้เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าโคลีนยังสามารถช่วยเพิ่มผลผลิตน้ำนมได้ (Erdman and Sharema, 1991; Hartwell, Cecava, and Donkin, 2000)

โคลีน (Choline) (2-hydroxy-N,N,N-trimethyl-ethanaminium) เป็นส่วนหนึ่งของ predominant phospholipids ซึ่งมีปริมาณมากกว่า 50 % ของส่วนประกอบในเยื่อหุ้มเซลล์ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมและยังเกี่ยวข้องกับขบวนการเมแทลิซึมของไขมัน เช่น การขนส่งไขมัน การป้องกันการสะสมไขมันในตับ และเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของ Acetylcholine ซึ่งเป็น Neurotransmitter โดยโคลีนสามารถสังเคราะห์ได้ในกระเพาะหมัก ปรกติ Oral choline ที่เสริมเข้าไปจะไม่มีผลต่อโคนมเพราะถูกย่อยสลายอย่างรวดเร็วในกระเพาะหมัก (McDowell, 2000) ดังนั้นจึงต้องเสริมโคลีนที่อยู่ในรูป Post-rumen choline หรือ Rumen-protected choline ซึ่งเป็น Choline ที่ไม่ถูกย่อยในกระเพาะหมักและมีผลตอบสนองในโคนมและอาจจะสามารถลดอันตรายจากกระบวนการเมแทบอลิกที่เกี่ยวข้องกับการตั้งท้องของโคนมได้ การใช้ Post-rumen choline โดยการฉีดโคลีนเข้าโดยตรงหรือการเสริม Rumen protected choline ทำให้สุขภาพของแม่โคดีขึ้นได้โดย Rumen protected choline สามารถลดอัตราเสี่ยงที่จะเกิด Ketosis และ Fatty liver ได้ (Cooke et al., 2007)

ในอาหารปรกติจะพบโคลีนโดยเป็นส่วนประกอบของ Lecithin ถ้าอาหารผ่านการย่อยสลายในกระเพาะหมักปริมาณ 1 ใน 3 จะถูกดูดซึมและ 2 ใน 3 จะเปลี่ยนเป็น Trimethylamine ภายในลำไส้เล็กและ Lecithin จะสามารถ Hydrolyze เป็น Choline อิสระได้และจะถูกดูดซึมในรูปของ Lyssophosphatidylcholine (Deacylated ในตำแหน่ง β ใน brush border cell) และ Lyssophosphatidylcholine จะสามารถ Deacylated ไปในรูป Glycerophosphocholine หรือสามารถ Acylated กลับไปเป็น Lecithin ได้และจะถูกส่งไปยังเนื้อเยื่อต่าง ๆ โดยเอนไซม์ Phospholipase C ในทางตรงกันข้าม Lecithin ที่ถูกแยกออกมาจะถูกนำไปสร้างเป็น Diglyceride ส่น Phosphorycholine จะถูก Oxidized ไปเป็น Betaine aldehyde โดยเอนไซม์ Betaine dehydrogenase

ใน Mitochondria และเปลี่ยนเป็น Betaine โดยเอนไซม์ Benatine aldehyde dehydrogenase ใน Cytosol ซึ่ง betaine เป็นแหล่งสำคัญของ Methyl group ในการ Mobilized เนื้อเยื่อที่สะสมในร่างกาย และทำให้ลดการกินได้ในช่วงคลอด และทำให้ระดับการไหลเวียนของ Non esterifield fatty acid ใน plasma เพิ่มขึ้น ส่วนในตับของสัตว์เคี้ยวเอื้องนั้นมีความสามารถในการ Extraorditionary ต่อการ uptake แต่มีความสามารถที่จำกัดต่อการไหลเวียนและการใช้ประโยชน์ของ NEFAs ส่วน NEFAs ที่ตับดูดซึมจะถูก Oxidize และใช้ประโยชน์สำหรับเป็นพลังงาน และบางส่วนจะถูก Oxidize กลายเป็น Ketone bodies หรือถูก Esterified กลายเป็น Triacylglyceride (TG) โดย Triacylglycerides ที่ตับนั้นตับจะขับออกในรูปของ Very low density lopoproteins (VLDL) หรือเก็บไว้ที่ตับในรูป Triacylglycerides (McDowell, 2000)

โรคที่เกิดจากเมแทบอลิซึมของร่างกายเช่น Fatty liver และ Bovine ketosis ซึ่งเป็นผลมาจากเนื้อเยื่อไขมันในร่างกายมีการ Mobilized เพิ่มขึ้น และการกินได้ลดลงในช่วงคลอด สำหรับการสะสมไขมันในตับมากเกินไปจะมีผลต่อสัตว์ที่มีน้ำหนักตัวสูงเกินไป และโคที่ให้ผลผลิตสูง โดยจะทำให้มีระดับของ Triacylglycerides ในตับสูง ส่วน Ketosis เกิดขึ้นเมื่อระดับ Ketone body ใน Plasma สูงขึ้นและโคมีการกินอาหารได้ลดลง รวมถึงการสูญเสียน้ำหนักตัวอย่างรวดเร็ว ถ้าอาการนี้ไม่พบในระยะแรกอาจทำให้สัตว์ตายได้

การเปลี่ยนของผลผลิตเมื่อมีการเสริมโคลีนนั้นอาจเป็นไปได้ว่าโคลีนมีคุณสมบัติต่อความสามารถให้หมู่ Methyl ของโคลีน ซึ่งสามารถสังเคราะห์ทางกายภาพจากกรดอะมิโน Methionine โดย Methionine ที่อยู่ในอาหารสามารถจะเปลี่ยนไปเป็น S-Adenosylmethionine (SAM) และมีการใช้ ATP และเอนไซม์ Methionine adenosyltranscferase หลังจากนั้นหมู่ Methyl จะถูกให้กับ Phosphatidylethanoleamine เพื่อผลิตเป็น Phosphatidylcholine ซึ่งผลผลิตของ S-adenosylmethionine จะขึ้นอยู่กับ Folic acid และวิตามิน B_{12} ถ้ามีการขาดวิตามินหนึ่งในสองชนิดนี้จะทำให้เป็นการเพิ่มการขาดโคลีนไปด้วยเช่นกัน เมื่อโคลีนมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นสามารถเปลี่ยนกลับไปอยู่ในรูปของ Phosphatidylcholine ได้ โดย Methionine จะถูกเก็บไว้ แต่เมื่อมีความจำเป็นที่ต้องให้หมู่ Methyl จาก Methionine จะสามารถใช้ประโยชน์ในหลาย Pathways เช่น การสังเคราะห์น้ำนม หรือการสังเคราะห์โปรตีนในน้ำนม

Choline, Betaine และ Methionine เป็นสาร 3 ชนิดหลักที่มีการเปลี่ยนแปลงของหมู่ Methyl ในอาหารสัตว์และพิจารณาไปถึงสารประกอบที่จำเป็นในการควบคุมกระบวนการ Methylation (การใส่ methyl group ลงในสารประกอบ) Methionine เป็น Frist limiting amino acid ในอาหารสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง และเป็นตัวที่ให้หมู่ Methyl ด้วยเช่นกัน หมู่ Methyl ของโคลีนจะใช้ประโยชน์ได้เมื่อโคลีนถูก Oxidize ไปเป็น Betaine การทำงานของ Betaine จะมีส่วนร่วมในกระบวนการเมตาบอลิซึมของ Methionine โดยจะให้หมู่ Methyl กับกระบวนการ Remethylation

ของ Homocysteine ไปเป็น Methionine ดังนั้นการเสริมโคลีนหรือ Betaine บางส่วนสามารถทดแทน Methionine ในการให้หมู่ Methyl ได้และทำให้การใช้ประโยชน์จาก Methionine สำหรับการสังเคราะห์โปรตีนเพิ่มขึ้นนอกจากนี้หมู่ Methyl ของโคลีนและ Betaine อาจไปเพิ่มการสังเคราะห์ของ Carnitine และอาจมีอิทธิพลต่อการสะสมไขมันในร่างกายด้วย (Banskalieva, Puchala, Goetsch, Luo, and Sahlu, 2005)

ตารางที่ 2.2 ชนิดและหน้าที่การทำงานของวิตามิน

วิตามิน	หน้าที่
วิตามินที่ละลายในไขมัน	
Vitamin A	การทำงานของยีน, ภูมิคุ้มกัน, การมองเห็น
Vitamin D	การเผาพลาญอาหาร, การทำงานของยีน
Vitamin E	การต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant)
Vitamin K	การแข็งตัวของเลือด (Blood clotting)
น้ำวิตามินที่ละลายในน้ำ	
Biotin	การเผาผลาญอาหาร คาร์โบไฮเดรต, ไขมันและโปรตีน
Choline	การเผาผลาญอาหารไขมันและขนส่ง
Folic acid	กรดอะมิโนและการเผาผลาญอาหาร
Niacin	พลังงาน การเผาผลาญอาหาร
Pyridoxine (vitamin B_6)	กรดอะมิโนการเผาผลาญอาหาร
Riboflavin	พลังงาน การเผาผลาญอาหาร
Thiamin	คาร์โบไฮเดรตโปรตีนและการเผาผลาญอาหาร
Vitamin B_{12}	กรดอะมิโนและการเผาผลาญอาหาร
Vitamin C	Antioxidant, กรดอะมิโนการเผาผลาญอาหาร

ที่มา: Weiss and Ferreira, 2006

2.3 ความต้องการพลังงานในโคนม

ในสัตว์ทุกชนิดรวมทั้งสัตว์เคี้ยวเอื้องมีความต้องการพลังงานในระดับหนึ่ง เพื่อใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ทั้งเพื่อการดำรงชีพและการให้ผลผลิต ดังนั้นในการประกอบสูตรอาหารสัตว์จึงมีความจำเป็นต้องคำนึงถึงพลังงานเป็นอันดับแรก เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของร่างกายสัตว์

ในทางผลิตสัตว์พลังงานเป็นต้นทุนส่วนใหญ่ในอาหารซึ่งโภชนะที่ให้พลังงานได้คือพวกที่มีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบได้แก่ ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และโปรตีน ซึ่งกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในร่างกาย เช่น การกินอาหาร การดูดซึมสารอาหารและการเมแทบอลิซึมของร่างกายต่างต้องเกี่ยวข้องกับพลังงานทั้งสิ้น

2.3.1 หน่วยของพลังงาน

ระบบประเมินคุณค่าทางพลังงานของอาหารและระบบประเมินความต้องการอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีอยู่ด้วยกันหลายระบบอาทิ NRC (National Research Council) ของสหรัฐอเมริกา (TDN และ Net Energy System), ARC (Agricultural Research Council) ของสหราชอาณาจักร (Metabolisable Energy System) สำหรับประเทศไทยส่วนใหญ่อ้างอิงจาก NRC และ ARC ในสหรัฐอเมริกานิยมใช้หน่วยวัดพลังงานอยู่ 2 วิธี ด้วยกัน

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

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

2.3.1.2 Calorie System เป็นระบบที่ใช้วัดค่าพลังงานในอาหารโดยที่ 1 cal หมายถึง ปริมาณพลังงานความร้อนที่ต้องการทำให้น้ำ 1 กรัม มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1°C (โดยปรกติเพิ่มจาก 14.5°C เป็น 15.5°C) การวัดพลังงานความร้อนกระทำได้โดยการเครื่องมือที่เรียกว่า Bomb calorimeter เพื่อเผาผลาญอาหารที่ต้องการวัดค่าพลังงานในสภาพที่มี Oxygen

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

1 cal = 4.184 joules

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

2.3.2 การจำแนกประเภทของพลังงาน (Partition of energy)

2.3.2.1 พลังงานรวม หรือ Gross energy (GE) เป็นความเข้มข้นของพลังงานทั้งหมด ในอาหารหรือในเนื้อเยื่อของสัตว์มีชื่อเรียกว่าส่วนประกอบของอาหารที่ให้พลังงานได้แก่ ไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต ซึ่งมีพลังงานอยู่โดยประมาณเท่ากับ 39, 24 และ 17.5 MJ/kgDM ตามลำดับ GE จึงผันแปรตามส่วนประกอบของเนื้อเยื่อต่าง ๆ แต่โดยทั่วไปแล้วอาหารสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องจะมี GE อยู่ในช่วง 18-19 MJ/kgDM เมื่อสัตว์กินอาหารเข้าไปส่วนของ GE เพียงบางส่วนเท่านั้นจะถูกนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการสร้างเนื้อเยื่อและสร้างผลผลิต ทั้งนี้เป็นเพราะในระหว่างการเกิดขบวนการย่อย (Digestion) และเมแทบอลิซึม (Metabolism) ภายในร่างกายจะมีการสูญเสียพลังงานบางส่วนไป

2.3.2.2 พลังงานย่อยได้ (Digestible energy, DE) เป็นส่วนแตกต่างระหว่าง GE ที่สัตว์กินเข้าไปกับพลังงานในอุจจาระ (Faecal energy, FE) พลังงานในอุจจาระเป็นส่วนหนึ่งของ GE ในอาหารที่ไม่ถูกย่อยการวัดพลังงานในอุจจาระวัดได้โดยการวัดปริมาณอุจจาระที่ขับถ่ายออกมา (kg DM) และวัดความเข้มข้นของพลังงานในอุจจาระโดยใช้ Bomb calorimeter กล่าวคือ

GE Intake - Faecal energy output = DE Intake

หรือ DE = GE - Faecal Energy

2.3.2.3 พลังงานใช้ประโยชน์ (Metabolisable energy, ME) เป็นส่วนของ DE ที่ไม่ปรากฏในปัสสาวะและแก๊สมีเทน (ซึ่งผลิตขึ้นระหว่างการหมักย่อยในกระเพาะหมัก) กล่าวคือ DE เมื่อถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายจะเกิดการสลายตัวขณะเดียวกันจะมีพลังงานบางส่วนถูกขับออกภายนอกร่างกายโดยไม่ได้ใช้ประโยชน์ได้แก่พลังงานที่ขับออกทางปัสสาวะ (Urinary energy, UE) และพลังงานที่ขับออก ในรูปแก๊ส (Gaseous หรือ Methane energy)

DE Intake - (Urinary energy + Methane energy) = ME Intake

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

ME = 0.82DE

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

$$q = ME/GE$$

2.3.2.4 พลังงานสุทธิ (Net energy)

ในสัตว์ทุกชนิดรวมทั้งสัตว์เคี้ยวเอื้อง มีความต้องการพลังงานระดับหนึ่งเพื่อการดำรงชีพ (Requirement for maintenance) เพื่อการเจริญเติบโต (Requirement for growth) เพื่อสร้างผลผลิต (Requirement for production) และเพื่อการสืบพันธุ์ (Requirement for reproduction) โดยพลังงานที่กล่าวถึงนั้นจะเป็นพลังงานที่นำไปใช้ประโยชน์ (Metabolisable energy, ME) และพลังงานสุทธิ (Net energy, NE) ที่สัตว์ต้องการเพื่อการดังกล่าวข้างต้น

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

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

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

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

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

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

1. ความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพ (Net energy lactation requirement for maintenance)

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

ในขณะที่โคสาวนั้นจะมีสมการในการหาความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพ คือ

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

2. ความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโต (Net energy lactation requirement for growth)

ความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตในการเจริญเติบโตของสัตว์นั้นดัชนีที่บ่งบอกได้อย่างชัดเจนก็คือน้ำหนักตัวของตัวสัตว์ Moe and Tyrrell (1974) พบว่าพลังงานที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม นั้นมีค่าพลังงานเท่ากับ 6 Mcal ซึ่ง Moe, Tyrrell, and Flatt (1971) ได้ประมาณการใช้พลังงานเพื่อการเจริญเติบโตไว้ว่าการสร้างน้ำนม 1 กิโลกรัม นั้นจะมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานจากน้ำหนักตัว 82% ดังนั้นในการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวที่ลดลง 1 กิโลกรัมของโคนมในระยะการให้นมนั้นจะต้องการพลังงานเท่ากับ (6.00)(0.82) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.92 Mcal ในขณะที่การเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมของโคนมนั้นในระยะการให้นมประสิทธิภาพของการใช้ ME ในการสร้างน้ำนม 1 กิโลกรัมมีค่าเท่ากับ 64% และประสิทธิภาพของการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมของโคนมในระยะให้นมนั้น มีค่าเท่ากับ 75% ดังนั้นในการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมของโคนมในระยะให้นมนั้นจะต้องการพลังงานเท่ากับ (6.00)(0.64 / 0.75) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.12 Mcal ซึ่งการคำนวณความต้องการสำหรับการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวของโคนมนั้น เพื่อที่จะช่วยในการป้องกันการขาดพลังงานของโคนมในระยะให้นมในระยะต่างๆ (NRC, 1988) ในขณะที่โคสาวจะมีความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโต

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

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

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

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

ทั้งนี้เพราะ

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

เมื่อ

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

Proportion 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

3. ความต้องการพลังงานเพื่อการสร้างน้ำนม (Net energy lactation requirement for lactation)

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

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

ถ้าเราวิเคราะห์เฉพาะเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมใช้สมการต่อไปนี้

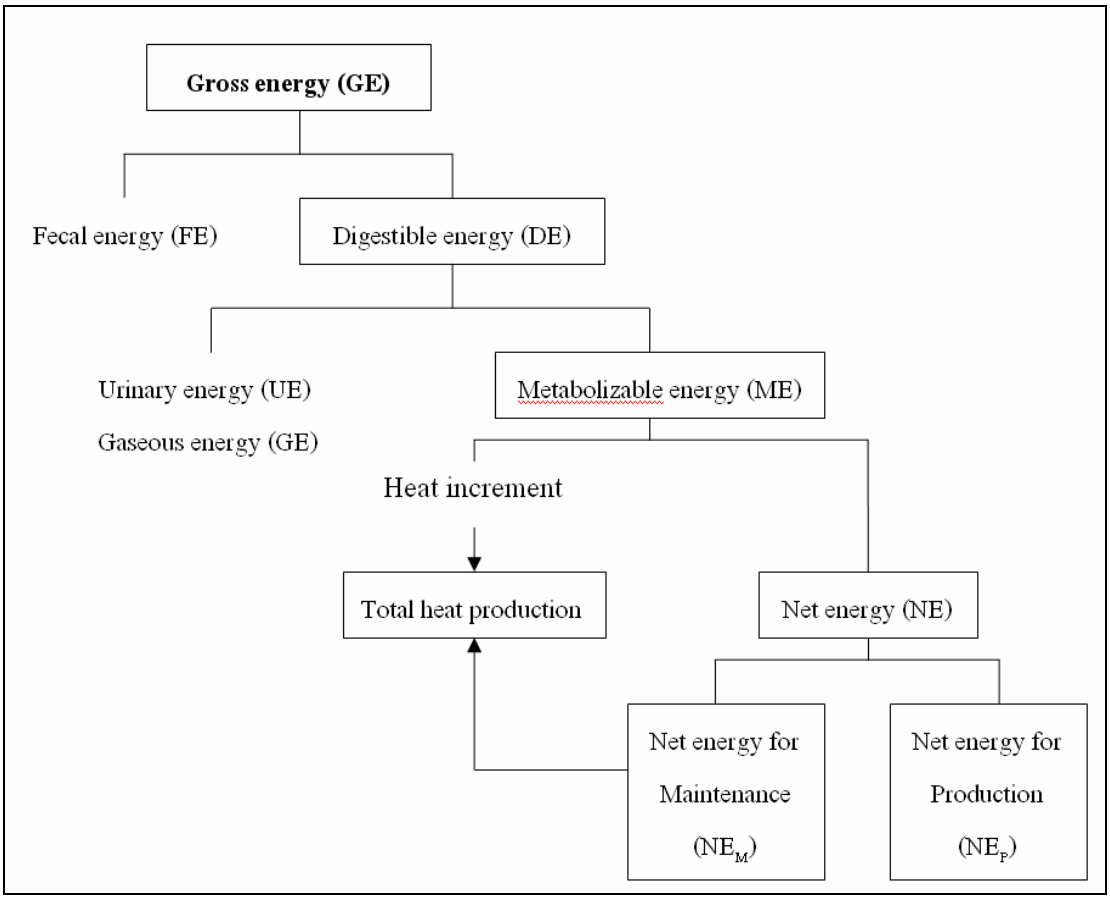
NE_{LL} (Mcal/kg of Milk) = 0.360 + (0.0969 x %Fat)

คำนวณจากเปอร์เซ็นต์ไขมันและโปรตีน

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

คำนวณจากเปอร์เซ็นต์ไขมัน,โปรตีน และแล็คโตส

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



ภาพที่ 2.2 ขั้นตอนการจำแนกพลังงานประเภทต่างๆ
ที่มา: บุญล้อม ชีวะอีสระกุล, 2541

2.3.3 การประเมินคุณค่าทางพลังงานตาม NRC (2001)

ถึงแม้ระบบการประเมินคุณค่าทางโภชนะโดยใช้ค่า NE จะเป็นระบบที่ดี แต่ทำการวัดโดยตรงได้ยากต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายมากตลอดจนต้องใช้เครื่องมือที่ยุ่งยากซับซ้อน ประเทศต่าง ๆ จึงคิดค้นสมการมาใช้ในการคำนวณโดยใช้การประเมินค่าทางพลังงานจากองค์ประกอบทางเคมี เช่น ในประเทศเยอรมันคำนวณค่า NE_L จาก GE และ ME ประเทศสหรัฐอเมริกาคำนวณจาก TDN อย่างไรก็ตามการจะได้มาซึ่งค่าต่าง ๆ ในการทำนายคุณค่าทางพลังงานก็มีหลากหลายบางสมการใช้ได้เฉพาะอาหารบางชนิด เช่น อาหารข้น บางสมการใช้ได้เฉพาะกับอาหารหยาบ

จนกระทั่ง Weiss, Conrad, and Pierre (1992) ทำการปรับปรุงสมการที่สามารถนำมาใช้ทำนายค่าทางพลังงานกับอาหารหลายชนิดรวมทั้ง By-products และ Heat-damaged forages โดยหลักการของสมการนี้ยึดหลักที่ว่าโภชนะชนิดใดที่ให้พลังงานได้ต้องนำมาคำนวณด้วย ซึ่งโภชนะดังกล่าวประกอบด้วย โปรตีนหยาบ ไขมัน NFC และ NDF การคำนวณต้องอาศัย True digestibility (td) ของโภชนะนั้น ๆ จากนั้นจะได้ค่า TDN ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาค่า NE_{LL} ได้โดยอาศัยสมการต่าง ๆ ดังจะได้กล่าวต่อไป

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

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

เมื่อ td = Truly digestible

2.3.3.1 พลังงานจาก NFC

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

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

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

NDF_N = NDF – NDICP

NDICP = NDIN x 6.25

เมื่อ NFC = Non fiber carbohydrate

NDF = Neutral detergent fiber

NDIN = Neutral detergent insoluble nitrogen

PAF = Processing adjustment factor

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

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

For feeds not shown PAF = 1.0

2.3.3.2 พลังงานจากโปรตีน

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

ความสัมพันธ์นี้ในอาหารข้นและอาหารหยาบมีไม่เท่ากันจึงต้องอาศัยสมการคำนวณที่แตกต่างกัน ดังนี้

Truly digestible CP for forages (tdCPf)

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

Truly digestible CP for concentrates (tdCPc)

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

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

2.3.3.3 พลังงานจากไขมัน

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

FA = EE – 1.0 (Allen, 2000)

tdFA = FA แต่ถ้าในกรณีที่ EE < 1, FA จะมีค่าเท่ากับ 0

2.3.3.4 พลังงานจาก NDF

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

ได้จากสมการ

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

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

$$NDF_N = NDF – NDICP$$

ค่าทุกตัวมีหน่วยเป็น % และ NDICP = NDIN x 6.25

พลังงานจาก NDF คำนวณโดยคูณค่า pdNDF ด้วยสัมประสิทธิ์การย่อยได้ ประมาณว่าการย่อยได้ของ pdNDF ในสัตว์ที่ได้รับอาหารในระดับ Maintenance มีค่าเท่ากับ 0.75 ฉะนั้น Truly digestible NDF (tdNDF) จะมีค่าดังสมการ

$$tdNDF = 0.75 (NDF_N – Lignin) [1 – (Lignin/ NDF_N)0.667]$$

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

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

เมื่อ CP digest = estimated true digestibility of CP

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

Feedstuff	True digestibility
Blood meal, batch dried	0.75
Blood meal, ring dried	0.86
Hydrolyzed feather meal	0.78

Hydrolyzed feather meal with viscera	0.81
Fish meal (Menhaden)	0.94
Fish meal (Anchovy)	0.95
Meat and bone meal	0.80
Meat meal	0.92
Whey	1.00

เช่นเดียวกันกับกรณีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสัตว์ ถ้าเป็นอาหารสัตว์จำพวกไขมันจะคำนวณค่า TDN_{1X} จากการวัดค่า Fatty acid digestibility ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.4

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

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

สำหรับแหล่งไขมันที่มีองค์ประกอบของGlycerol:

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

สำหรับแหล่งไขมันที่ไม่มีองค์ประกอบของ Glycerol:

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

2.3.3.5 การประมาณค่า DE

1. การประมาณค่า DE ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Maintenance

Crampton, Lloy, and Mackay (1957) และ Swift (1957) คำนวณค่า GE value of TDN เท่ากับ 4.409 Mcal/kg อย่างไรก็ตามโภชนะแต่ละชนิดในอาหารมีค่า Heat of

combustion ที่แตกต่างกัน เช่น 4.2 Mcal/kg for carbohydrate, 5.6 Mcal/kg for CP, 9.4 Mcal/kg for fatty acid และ4.3 Mcal/kg for glycerol (Manynard, Loosli, Hintz, and Warner, 1979)

จากการที่ GE value of TDN ในอาหารแต่ละชนิดมีค่าไม่เท่ากัน อาหารที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ใน TDN จะมีค่า GE value of TDN มากกว่า 4.409 Mcal/kg ในทางกลับกัน อาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ใน TDN จะมีค่า GE value of TDN น้อยกว่า 4.409 Mcal/kg ดังนั้นการคำนวณค่า DE จาก 0.4409 x TDN (%) ตามที่แนะนำไว้ใน NRC (1988) นั้น ปัจจุบันได้ยกเลิกแล้ว โดย NRC (2001) ได้พัฒนาการคำนวณค่า DE โดยคำนวณจาก Estimated digestible nutrient concentration คูณด้วย Heat of combustion ของโภชนะนั้น ๆ และเนื่องจาก DE คำนวณจาก Apparent digestibility แต่สมการคำนวณ TDN 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

สำหรับอาหารสัตว์ทั่ว ๆ ไป

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

สำหรับอาหารโปรตีนจากสัตว์

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

สำหรับอาหารไขมันที่มีองค์ประกอบของ glycerol

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

สำหรับอาหารไขมันที่ไม่มีองค์ประกอบของ glycerol

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

tdNFC, tdNDF, tdCP และ FA มีหน่วยเป็น %

2. การประมาณค่า DE ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Actual Intake

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

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

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

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

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

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

3. การประมาณค่า ME ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Actual Intake

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

and Erdman, 1991; Romo, Casper, Erdman, and Teter, 1996) ดังนั้นสมการข้างต้นจะประมาณค่า ME ของอาหารที่มีไขมันสูงต่ำเกินไป NRC (2001) แนะนำให้ใช้สมการนี้แทน

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

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

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

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

2.3.3.6 การประมาณค่าพลังงานสุทธิ (Net energy, NE_L)

1. การประมาณค่า NE_L ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Actual Intake

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

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

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

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

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

สำหรับ fat supplements

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

2. การประมาณค่า Net Energy of Feeds for Maintenance and Gain

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

$$NE_M = 1.37\ ME - 0.138\ ME2 + 0.0105\ ME3 - 1.12$$
$$NE_G = 1.42\ ME - 0.174\ ME2 + 0.0122\ ME3 - 1.65$$

เมื่อ ME, NE_M และ NE_G มีหน่วยเป็น Mcal/kg

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

2.3.4 ความต้องการโปรตีนในโคนม

สัตว์เคี้ยวเอื้องมีความต้องการโปรตีนเพื่อเสริมสร้างส่วนต่างๆ ของร่างกายและเพื่อการเจริญเติบโตการให้ผลผลิตในรูปของเนื้อและนม ความต้องการโปรตีนเพื่อการต่างๆ มีลักษณะคล้ายกับความต้องการพลังงาน คือ ความต้องการโปรตีนเพื่อการดำรงชีพ ความต้องการโปรตีนเพื่อการเจริญเติบโตและความต้องการโปรตีนเพื่อการผลิตน้ำนม

2.3.4.1 การคำนวณโปรตีนในอาหาร

การคำนวณโปรตีนในอาหารจะสามารถทำได้โดยการหาประสิทธิภาพการย่อยได้ของอาหารโปรตีนจากวิธีการ Nylon bag technique

2.3.4.2 การคำนวณความต้องการโปรตีนในตัวโคนม

NRC (2001) ได้ปรับเปลี่ยนการประเมินความต้องการโปรตีนของโคนม โดยนำเสนอใหม่ในรูปของ Metabolizable protein (MP_R)

ดังสมการ $MP_R = MP_M + MP_G + MP_L$

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

1. Metabolizable Protein requirements for maintenance (MP_M)

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

MP_U คือ ความต้องการ MP สำหรับ Endogenous urinary protein (UPN)

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

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

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

MP_{MFP} คือ ความต้องการ MP สำหรับ metabolic fecal protein

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

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

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

2. Metabolizable Protein requirements for growth (MP_G)

$$MP_G = NPG/EffMP_NP_G$$

เมื่อ

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

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

EQEBW = 0.891 x EQSBW

EQEBG = 0.956 x SWG

EQSBW = SBW x (478/MSBW)

MSBW = 500 kg

SBW = 0.96BW

ถ้าน้ำหนักโค EQSBW (Equivalent shrunk BW) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 478 kg ใช้

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

ถ้าน้ำหนักโค EQSBW (Equivalent shrunk BW) มากกว่า478 kg ใช้

$$EffMP_NP_G = 0.28908$$

3. Metabolizable Protein requirements for lactation (MP_L)

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

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

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

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

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

MCP = 0.85 RDP (NRC, 2001)

MTP = 0.8 MCP

DMTP หรือ MP_{RDP} = 0.8 MTP

MP_{Bact} = 0.64 MCP

การคำนวณหาความต้องการ MCP ในโคนมสามารถหาได้จากสมการ NRC (2001)

โดยที่ MCP = 0.85 RDP (NRC, 2001)

RDP_R = MCP/0.85

RDP_R = 0.15294 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 x 1.9 x DMI x 6.25

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

EQSBW = Equivalent shrunk body weight

EQEBW = Equivalent empty body weight

SBW = Shrunk body weight

WG = Weight gain

2.4 การให้น้ำนมของโค

น้ำนมเป็นผลผลิตที่ได้จากการสังเคราะห์จากองค์ประกอบของสารตั้งต้นในเลือด เช่น กลูโคส กรดอะมิโน และกรดไขมันอิสระ เป็นต้น โดยเซลล์เฉพาะที่เต้านม คือ secretory cell เป็นเซลล์สังเคราะห์น้ำนมที่มีลักษณะคล้ายกระเปาะนม เรียกว่า alveolus ปริมาณน้ำนมที่ได้จะเก็บกักไว้รอการปล่อยออกมาโดยวิธีการดูดของลูกโค หรือผ่านกระบวนการรีดนม

2.4.1 การสังเคราะห์นม (Milk synthesis)

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

2.4.1.1 การสังเคราะห์แล็คโตส (Lactose synthesis)

น้ำตาลแล็คโตสในน้ำนมสังเคราะห์มาจากกลูโคส ซึ่งไหลเวียนอยู่ในกระแสเลือดที่ไหลผ่านต่อมสร้างน้ำนมกลไกการดูดซึม (Uptake) กลูโคสโดยเซลล์กลั่นสร้างน้ำนมยังไม่มีรายงานที่แน่ชัดอย่างไรก็ตามระดับของอินซูลิน (Insulin) ในกระแสเลือดจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระดับของกลูโคสในกระแสเลือด สมการการสังเคราะห์กูลโคสสามารถแสดงได้ดังนี้

Glucose + ATP hexoginase ⟶ Glucose-6-phosphate + ADP

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

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

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

UDP -galactose + Glucose ⟶ lactose synthetase ⟶ Lactose

สมการขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นขั้นตอนที่จำกัด (Limiting step) การสังเคราะห์แล็คโตส ซึ่งเกิดขึ้นในลูเมน (Lumen) ของโกลไจแอพพาราตัส (Golgi apparatus) ปริมาณของน้ำนมที่โคผลิตจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณการสังเคราะห์แล็คโตสและปริมาณน้ำนมจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณการกินอาหาร แล็คโตสส่วนใหญ่จะถูกสังเคราะห์มาจากกลูโคส ซึ่งสังเคราะห์มาจากกรด โพรพิโอนิคและกรดอะมิโนที่ดูดซึมมาจากระบบทางเดินอาหารอีกทางหนึ่ง (Holmes and Wilson, 1984)

2.4.1.2 การสังเคราะห์โปรตีน (Protein synthesis)

โปรตีนในน้ำนมที่ถูกสังเคราะห์และขับออกมาโดยเซลล์กลั่นสร้างน้ำนมประกอบไปด้วย เคซีน (Casein) แอลฟา-แล็คตาลบูมีน (α-lactalbumin) เบต้า-แล็คโตโกลบูลีน (β-lactoglobulin) และโปรตีนชนิดอื่น ๆ อีกเล็กน้อย เช่น เอนไซม์ต่าง ๆ สารตั้งต้น (Precursors) ในการสังเคราะห์โปรตีน คือ กรดอะมิโนที่ถูกส่งมายังต่อมสร้างน้ำนมทางกระแสโลหิต ต่อมสร้างน้ำนมจะดูดซึมกรดอะมิโนที่จำเป็น (Essential amino acids) อย่างเพียงพอต่อการสังเคราะห์กรดอะมิโนที่จำเป็นในน้ำนมแต่ในบางครั้งอาจดูดซึมกรดอะมิโนที่จำเป็นเกินกว่าความต้องการ ส่วนที่เกินจะถูกนำไปสังเคราะห์กรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น (Non-essential amino acids) และเป็นแหล่งพลังงานสำหรับการสังเคราะห์น้ำนมกรดอะมิโนที่จำเป็น โดยเฉพาะกรดอะมิโนที่มีกำมะถัน (Sulphur) เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยมากกว่าร้อยละ 60 จะถูกดูดซึมโดยต่อมสร้างน้ำนมในขณะที่ไหลผ่านมาตามกระแสเลือด ถ้ากรดอะมิโนเหล่านี้มีไม่เพียงพอจะมีผลกระทบต่อการสังเคราะห์โปรตีนในน้ำนมหรือแม้กระทั่งมีผลกระทบต่อผลผลิตน้ำนม สำหรับการดูดซึมกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็นโดยต่อมสร้างน้ำนมนั้นไม่ค่อยแน่นอนในบางขณะจะดูดซึมมากกว่าความต้องการในการสังเคราะห์น้ำนม แต่ในบางโอกาสอาจขาดอย่างมาก (Holmes and Wilson, 1984)

กรดอะมิโนจะถูกดูดซึมจากกระแสเลือดเขาสู่ต่อมสร้างน้ำนมโดยผ่านกลไกที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ แอลฟา-กูลตานีลทรานเปปติเดส (α-glutanyl tranpeptidae) และโปรตีนในน้ำนมจะถูกสังเคราะห์โดยไรโบโซม (Ribosomes) ที่อยู่บนเอนโดพลาสมิคเรติคูลัม (Endoplasmic reticulum) (Holmes and Wilson, 1984)

การสังเคราะห์น้ำนมอาจจะถูกจำกัดด้วยปริมาณของกรดอะมิโนบางชนิด โดยเฉพาะเมทไธโอนีน (Methionine) อย่างไรก็ตามฟีนิลอะลานีน (Phenylalanine) ฮีสติดีน

(Histidine) ไลซีน (Lysine) และทรีโอนีน (Threonine) อาจมีส่วนเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์น้ำนม ด้วยทั้งนี้มีรายงานว่าการเสริมกรดอะมิโนให้ไหลผ่านกระเพาะหมักและให้ไปย่อยในลำไส้เล็ก สามารถเพิ่มผลผลิตน้ำนมได้กลไกการทำงานของกรดอะมิโนต่อผลผลิตน้ำนมยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด อาจเป็นไปได้ว่าเป็นการเพิ่มปริมาณของกรดอะมิโนให้กับต่อมสร้างน้ำนม หรือ กรดอะมิโนที่เพิ่มขึ้นนี้อาจไปกระตุ้นการปลดปล่อยฮอร์โมนที่มีหน้าที่กระตุ้นการกลั่นสร้างน้ำนม (Holmes and Wilson, 1984)

2.4.1.3 การสังเคราะห์ไขมัน (Fat synthesis)

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

2.5 รายการอ้างอิง

วิโรจน์ ภัทรจินดา. (2546). **โคนม**. พิมพ์ครั้งที่ 2. ขอนแก่น: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

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

เสาวนิต คูประเสริฐ. (2537). **โภชนศาสตร์สัตว์**. สงขลา: ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ยุคล ลิ้มแหลมทอง. (2533). **การใช้ยาและสารเคมีผสมในอาหารสัตว์**. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเภสัชวิทยา คณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Abdouli, H., and Schaefer, D. M. (1986a). Impact of niacin and length of incubation on protein synthesis, soluble to total protein ratio and fermentative activity of ruminal microorganisms. **J. Anim. Sci**. 62: 244-253.

Abdouli, H., and Schaefer, D. M. (1986b). Effects of two dietary niacin concentrations on ruminal fluid free niacin concentration, and of supplemental niacin and source of

inoculum on in vitro microbial growth, fermentative activity and nicotinamide adenine dinucleotide pool size. **J. Anim. Sci**. 62: 254-262.

Alderson, N. E., Mitchell, Jr., G. E., Little, C. O., Warner, R. E., and Tucker, R. E. (1971). Preintestinal disappearance of vitamin E in ruminants. **J. Nutr**. 101: 655-660.

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

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

Astrup, H. N., and Nedkvitne, J. J. (1987). Effects of vitamin D supplement on cows and sheep. Norw. **J. Agric. Sci**. 1: 87–95.

Baldwin, R. L., and Allison, M. J. (1983). Rumen metabolism. **J. Anim. Sci.** 57:461-477.

Banskalieva, V., Puchala, R., Goetsch, A. L., Luo, J., and Sahlu, T. (2005). Effects of ruminally protected betaine and choline on net flux of nutrients across the portal-drained viscera and liver of meat goat wethers consuming diets differing in protein concentration. **Small Rumin. Res**. 57: 193-202.

Barton, B. A., Jorgensen, N. A., and DeLuca, H. F. (1987). Impact of prepartum dietary phosphorus intake on calcium homeostasis at parturition. **J. Dairy Sci**. 70: 1186-1191.

Batra, T. R., Hidiroglou, M., and Smith, M. W. (1992). Effect of vitamin E on incidence of mastitis in dairy cattle. **J. Anim. Sci**. 72: 287-297.

Bentley, O. G., Johnson, R. R., Vanecko, S. and Hunt, C. H. (1954). Studies on factors needed by rumen microorganisms for cellulose digestion in vitro. **J. Anim. Sci.** 13:581-593.

Bergsten, C., Greenough, P. R., Gay, J. M., Seymour, W. M., and Gay, C. C. (2003). Effects of biotin supplementation on performance and claw lesions on a commercial dairy farm. **J. Dairy Sci**. 86: 3953-3962.

Blaxter, K. L., Watts, P. S., and Woods, W. A. (1952). The nutrition of the young Ayrshire calf. 8. Muscular dystrophy in the growing calf. **Br. J. Nutr**. 6: 125-169.

Blomhoff, R., Green, M. H., Green, J., Berg, B. T., and Norum, R. (1991). Vitamin A metabolism: new perspectives on absorption, transport, and storage. **Physiol. Rev**. 71: 951-990.

Breves, G., Brandt, M., Hoeller, H., and Rohr, K. (1981). Flow of thiamin to the duodenum in dairy cows fed different rations. **J. Agric. Sci**. 96: 587-591.

Bruhn, J. C., and Oliver, J. C. (1978). Effect of storage on tocopherol and carotene concentrations in alfalfa hay. **J. Anim. Sci**. 61: 980-982.

Campbell, J. M., Murphy, M. R., Christensen, R. A., and Overton, T. R. (1994). Kinetics of niacin supplements in lactating cows. **J. Dairy Sci**. 77: 566-575.

Campbell, J. R., Greenough, P. R., and Petrie, L. (2000). The effects of dietary biotin supplementationon vertical fissures of the claw wall in beef cattle. **J. Vet**. 41: 690-694.

Casper, H. H., Alstad, A. D., Tacke, D. B., Johnson, L. J., and Lloyd, W. E. (1989). Evaluation of vitamin K_3 feed additive for the prevention of sweet clover disease. **J. Vet. Diagn**. **Invest**. 1: 116-119.

Chew, B. P. (1987). Vitamin A and β-carotene in host defense. **J. Dairy Sci**. 70: 2732-2743.

Chew, B. P. (1993). Role of carotenoids in the immune response. **J. Dairy Sci**. 76: 2804-2811.

Coelho, M. B. (1991). **Vitamin stability in premixes and feeds**: a practical approach. Pp. 56-71. BASF Tech. Symp. Bloomington, MN.

Cohen-Fernandez, S., Budowski, P., Ascarelli, I., Neumark, H., and Bondi, A. (1976). Low utilization of carotene by sheep. **Int. J. Vit. Nutr**. **Res**. 46: 446-453.

Cole, N. A., McLaren, J B., and Hutcheson, D. P. (1982). Influence of preweaning and B-vitamin supplementation of the feedlot receiving diet on calves subjected to marketing and transit stress. **J. Anim. Sci**. 54: 911-917.

Combs, Jr., G. F. (1992). **The Vitamins: Fundamental Aspects in Nutrition and Health**. Academic PressInc.

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

Cooke, R. F., Silva del Rio, N., Caraviello, D. Z., Bertics, S. J., Ramos, M. H., and Grummer, R. R. (2007). Supplemental choline for prevention and alleviation of fatty liver in dairy cows. **J. Dairy Sci**. 90: 2413-2418.

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

Cummins, K. A., and Brunner, C. J. (1989). Dietary ascorbic acid and immune response in dairy calves. **J. Dairy Sci**. 72: 129-134.

Cummins, K. A., and Brunner, C. J. (1991). Effect of calf housing on plasma ascorbate and endocrine and immune function. **J. Dairy Sci**. 74: 1582-1588.

Da Costa Gomez, C., Masri, M. A., Steinberg, W., and Abel, J. J. (1998). Effect of varying hay/barley proportions on microbial biotin metabolism in the rumen simulating fermenter Rusitec. Proc. Soc. **Nutr. Physiol**. 7:30.

Daynes, R. A., Araneo, B. A., Hennebold, J., Enioutina, E., and Mu, H. H. (1995). Steroids as regulators of the mammalian immune response. **J. Invest. Dermatol**. 105: 14S-19S.

DeLuca, H. F. (1979). The vitamin D system in the regulation of calcium and phosphorus metabolism. **Nutr. Rev**. 37: 161-193.

Deuchler, K. N., Piperova, L. S., and Erdman, R. A. (1998). Milk choline secretion as an direct indicator of postruminal choline supply. **J. Diary Sci**. 81: 238-242.

Doreau, M., and Otto, J. F. (1996). Influence of niacin supplementation on invivo digestibility and ruminal digestion in dairy cows. **J. Dairy Sci**. 79: 2247-2254.

Dumoulin, P. G., Girard, C. L., Matte, J. J., and St-Laurent, G. J. (1991). Effects of aparenteral supplement of folic acid and its interaction with level of feed intake of young dairy heifers. **J. Anim. Sci**. 69: 1657-1666.

Eaton, H. D., Rousseau, J. E., Hall, Jr., R. C., Frier, Jr., H. I., and. Lucas, J. J. (1972). Revaluation of the minimum vitamin A requirement of Holstein male calves based upon elevated cerebrospinal fluid pressure. **J. Dairy Sci**. 55: 232-237.

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

Erickson, P. S., Murphy, M. R., McSweeney, C. S., and Trusk, A. M. (1991). Niacin absorption from the rumen. **J. Dairy Sci**. 74: 3492-3495.

Ferreira, G., and Weiss, W. P. (2007). Effect of biotin on activity and gene expression of biotin-dependent carboxylases in the liver of dairy cows. **J. Dairy Sci.** 90:1460-1466.

Ferreira, G., Weiss, W. P. and Willett, L. B. (2007). Changes in measures of biotin Status do not reflect milk yield responses when dairy cows are fed supplemental biotin. **J. Dairy Sci.** 90:1452-1459.

Fitzgerald, T., Norton, B. W., Elliott, R., Podlich, H., and Svendsen, O. L. (2000). The influence of long-term supplementation with biotin on the prevention of lameness in pasture fed dairy cows. **J. Dairy Sci**. 83: 338-344.

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

Frobish, R. A., and Davis, C. L. (1977). Theory involving propionate and vitamin B_{12} in the low-fat milk syndrome. **J. Dairy Sci**. 60: 268-276.

Fronk, T. J., and Schultz, L. H. (1979). Oral nicotinic acid as a treatment for ketosis. **J. Dairy Sci**. 62: 1804-1807.

Frye, T. M., Williams, S. N., and Graham, T. W. (1991). **Vitamin deficiencies in cattle**. Vet. Clin. of North. Am.: Food Anim. Prac. 7: 217-275.

Gardner, R. M., Reinhardt, T. A., and Horst, R. L. (1988). The biological assessment of vitamin D_3 metabolites produced by rumen bacteria. **J. Ster. Biochem**. 29: 185-189.

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

Gerloff, B. J., Herdt, T. H., Emery, R. S., and Wells, W. W. (1984). Inositol as alipotropic agent in dairy cattle diets. **J. Anim. Sci**. 59: 806-812.

Girard, C. L., Matte, J. J., and Tremblay, G. F. (1995). Gestation and lactation of dairy cows: A role for folic acid. **J. Dairy Sci**. 78: 404-411.

Goff, J. P., Reinhardt, T. A., Engstrom, G. W., and Horst, R. L. (1992). Effect of dietary calcium or phosphorus restriction and 1, 25-dihyroxyvitamin D administration on rat intestinal 24-hydroxylase. **Endocrinol**. 131: 101-104.

Gray, R. W., and Napoli, J. L. (1983). Dietary phosphate deprivation increases 1,25-dihydroxyvitamin D_3 synthesis in rat kidney in vitro. **J. Biol. Chem**. 258: 1152-1155.

Grummer, R. R., Armentano, L. E., and Marcus, M. S. (1987). Lactation response to short-term abomasal infusion of choline, inositol, andsoy lecithin. **J. Dairy Sci**. 70: 2518-2524.

Hannah, S. M., and Stern, M. D. (1985). Effect of supplemental niacin or niacin amide and soybean source on ruminal bacterial fermentation in continuous culture. **J. Anim. Sci**. 61: 1252-1263.

Harmeyer, J., and ollenkirchen, U. K. (1989). Thiamin and niacin in ruminant tissues. **Nutr. Res. Rev**. 2: 201-225.

Harrison, J. H., Hancock, D. D., and Conrad, H. R. (1984). Vitamin E and selenium for reproduction of the dairy cow. **J. Dairy Sci**. 67: 123-132.

Hartwell, J. R., Cecava, M. J., and Donkin, S. S. (2000). Impact of dietary rumen undegradable protein and rumen-protected choline on intake, peripartum liver triacylglyceride plasma metabolite and milk production in transition diary cows. **J. Dairy Sci**. 83: 2907-2917.

Hedges, J., Blowey, R. W., Packington, A. J., O'Callaghan, C. J., and Green, L. E. (2001). A longitudinal field trial of the effect of biotin on lameness in dairy cows. **J. Dairy Sci**. 84: 1969–1975.

Hibbs, J. W., and Conrad, H. R. (1983). The relationship of calcium and phosphorus intake and digestion and the effects of vitamin D feeding on the utilization of calcium and phosphorus by lactating dairy cows. **Ohio Agr. Res. & Dev. Center**, Ohio State University, Ohio.

Hidiroglou, M., Batra, T. R., Ivan, M., and Markham, F. (1995). Effects of supplemental vitamins E and C on the immune response of calves. **J. Dairy Sci**. 78: 1578-1583.

Hidiroglou, N., Laflamme, L. F., and McDowell, L. R. (1988). Blood plasma and tissue concentrations of vitamin E in beef cattle as influenced by supplementation of various tocopherol compounds. **J. Anim. Sci**. 66: 3227-3234.

Hidiroglou, N., McDowell, L. R., and Balbuena, O. (1989). Plasmato copherol in sheep and cattle after ingesting free or acetylated tocopherol. **J. Dairy Sci**. 72: 1793-1799.

Hogan, J. S., Smith, K. L., Weiss, W. P., Todhunter, D. A., and Shockey, W. L. (1990). Relationships among vitamin E, selenium, and bovine blood neutrophils. **J. Dairy Sci**. 73: 2372-2378.

Hogan, J. S., Weiss, W. P., Todhunter, D. A., Smith, K. L., and Schoenberg, P. S. (1992). Bovine neutrophil responses to parenteral vitamin E. **J. Dairy Sci**. 75: 399-405.

Hogan, J. S., Weiss, W. P., and Smith, K. L. (1993). Role of vitamin E and selenium in host defense against mastitis. **J. Dairy Sci**. 76: 2795-2803.

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

Hopper, J. H., and Johnson, B. C. (1955). The production and study of an acute nicotinic acid deficiency in the calf. **J. Nutr**. 56: 303-310.

Horst, R. L., and Littledike, E. T. (1982). Comparison of plasma concentrations of vitamin D and its metabolites in young and aged domestic animals. **Comp. Biochem. Physiol**. 73: 485-489.

Horst, R. L., Goff, J. P., and Reinhardt, T. A. (1994). Calcium and vitamin D metabolism in the dairy cow. **J. Dairy Sci**. 77: 1936-1951.

Hurley, W. L., and Doane, R. M. (1989). Recent developments in the roles of vitamins and minerals in reproduction. **J. Dairy Sci**. 72: 784-804.

Jaster, E. H., Bell, D. F., and McPherron, T. A. (1983). Nicotinic acid and serum metabolite concentrations o flactating dairy cows fed supplemental niacin. **J. Dairy Sci**. 66: 1039-1045.

Jukola, E., Saloniemi, J. H., and Sankari, S. (1996). Effect of selenium fertilization on selenium in feed stuffs and selenium, vitamin E, and B-carotene concentrations in blood of cattle. **J. Dairy Sci**. 79: 831-837.

Lassiter, C. A., Ward, G. M., Huffman, C. F., Duncan, C. W., and Welester, H. D. (1953). Crystalline vitamin B_{12} requirements of the young dairy calf. **J. Dairy Sci**. 36: 997-1004.

Leedle, R. A., Leedle, J. A., and Butine, M. D. (1993). Vitamin E is not degraded by ruminal microorganisms: assessment with ruminal contents froma steer fed a high-concentrate diet. **J. Anim. Sci**. 71: 3442-3450.

Littledike, E. T., and Horst, R. L. (1980). Problems with vitamin D injections for prevention of milk fever: toxicity of large doses and increased incidence of small doses. **J. Dairy Sci**. 63 (Supp.1): 89.

Majee, D. N., Schwab, E. C., Bertics, S. J., Seymour, W. M., and Shaver, R. D. (2003). Lactation performance by dairy cows fed supplemental biotin and a B-Vitamin Blend. **J. Dairy Sci.** 86: 2106-2112.

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

McDermott, C. M., Beitz, D. C., Littledike, E. T., and Horst, R L. (1985). Effects of dietary vitamin D_3 on concentrations of vitamin D and its metabolites in blood plasma and milk of dairy cows. **J. Dairy Sci**. 68: 1959-1967.

McDowell, L. R. (2000). **Vitamins in Animal and Human Nutrition**. Iowa state university Press. Ames, IA.

Michal, J. J., Heirman, L. R., Wong, T. S., Chew, B. P., Frigg, M., and Volker, L. (1994). Modulatory effects of dietary β-carotene on blood and mammary leukocyte function in periparturient dairy cows. **J. Dairy Sci**. 77: 1408-1421.

Milligan, L. P., Asplund, J. M. and Robblee, A. R. (1967). In vitro studies on the role of biotin in the metabolism of rumen microorganisms. **J. Anim Sci** 47:57-64.

Miller, B. L., Meiske, J. C., and Goodrich, R. D. (1986). Effects of grain and concentrate level on B-vitamin production and absorption in steers. **J. Anim. Sci**. 62: 473-483.

Miller, J. K., Brzezinska-Slebodzinska, E., and Madsen, F. C. (1993). Oxidative stress, antioxidants, and animal function. **J. Dairy Sci**. 76: 2812-2823.

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

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

National Research Council. (1987). **Vitamin Tolerance of Domestic Animals**. Washington, D.C.: National Academy Press.

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

National Research Council. (1989). **Nutrient Requirements of Dairy Cattle**. 6thEd rev. ed. Washington, D. C.: National Academy Press.

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

National Research Council. (1998). **Nutrient Requirements of Swine**.10threvi. ed. National Academy Press, Washington, DC.

National Reseach Council. (2001). **Nutrients Requirements of Dairy Cattle**. 7thEd. National academy press. Washington D.C

Oldham, E. R., Eberhart, R. J., and Muller, L. D. (1991). Effects of supplemental vitamin A and β-carotene during the dry period and early lactation on udder health. **J. Dairy Sci**. 74: 3775-3781.

Park, Y. W., Anderson, M. J., Walters, J. L., and Mahoney, A. W. (1983). Effects of processing method sand agronomic variables on carotene contents in forage sand predicting carotene in alfalfa hay with near-infrared-reflectance spectroscopy. **J. Dairy Sci**. 66: 235-245.

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

Politis, I., Hidiroglou, M., Batra, T. R., Gilmore, J. A., Gorewit, R. C., and Scherf, H. (1995). Effects of vitamin E on immune function of dairy cows. **Am. J. Vet. Res**. 56: 179-184.

Politis, I., Hidiroglou, N., White, J. H., Gilmore, J. A., Williams, S. N., Scherf, H., and Frigg, M. (1996). Effects of vitamin E on mammary and blood leukocyte function, with emphasis on chemotaxis, in periparturient dairy cows. **Am. J. Vet. Res**. 57: 468-471.

Potanski, A. A., Tucker, R. E., Mitchell, Jr., G. E., and Schelling, G. T. (1974). Pre-intestinal losses of carotene in sheep fed high-starch or high-cellulose diets. **Int. J. Vit. Nutr. Res**. 44.

Potzsch, C. J., Collis, V. J., Blowey, R. W., Packington, A. J., and Green, L. E. (2003). The impact on parity and duration of biotin supplementation on white line lameness in dairy cattle. **J. Dairy Sci**. 86: 2577-2582.

Reinhardt, T. A., and Hustmyer, F. G. (1987). Role of vitamin D in the immune system. **J. Dairy Sci**. 70: 952-962.

Reinhardt, T. A., and Horst, R. L. (1989). Self-induction of 1,25-dihydroxyvitamin D3 metabolism limits receptor occupancy and target tissue responsiveness. **J. Biol. Chem**. 264: 15917-15921.

Riddell, D. O., Bartley, E. E., and Dayton, A. D. (1980). Effect of nicotinic acid on rumen fermentation in vitro and invivo. **J. Dairy Sci**. 63: 1429-1436.

Riddell, D. O., Bartley, E. E., and Dayton, A. D. (1981). Effect of nicotinic acid on microbial protein synthesis in vitro and on dairy cattle growth and milk production. **J. Dairy Sci**.

64: 782– 791.

Rien, D., Krasin, B., and Sheard, N. F. (1997). Dietary choline supplemention in rat increase carnitine concentration in liver, but decrease plasma and kidney carnitine concentrations. **Nutr. Biochem**. 8: 68-73.

Rode, L. M., McAllister, T. A., and Cheng, K. J. (1990). Microbial degradation of vitamin A in rumen fluid from steers fed concentrate, hay or straw diets. **Can. J. Anim. Sci**. 70: 227-233.

Ronning, M. E., Berousek, R., Griffiths, J. R., and Gallop, W. D. (1959). **Carotene requirement of dairy cattle**. Pp. 30. Okla. Agric. Exp. Tech. Bull. No. T-76 Stillwater, OK.

Rosendo, O., Staples, C. R., McDowell, L. R., McMahon, R., Badinga, L., Martin, F. G., Shearer, J. F. and Seymour, W. M. (2004). Effect of biotin supplementation on peripartum performance and metabolites of Holstein cows. **J. Dairy Sci.** 87:2535-2545.

Ross, C., and Ternus, M. E. (1993). Vitamin A as a hormone: recent advances in understanding the actions of retinol, retinoic acid and betacarotene. **J. Am. Diet. Assoc**. 93: 1285-1290.

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

Rousseau, Jr., J. E., Eaton, H. D., Helmbolt, C. F., Hunghers, E. L., Robrish, S. A., Beall, G., and Moore, L. A. (1954). Relative value of carotene and vitamin A from dry carrier fed at minimum levels to Holstein calves. **J. Dairy Sci**. 37: 889-899.

Shields, D. R., Schaefer, D. M., and Perry, T. W. (1983). Influence of niacin supplementation and nitrogen source on rumen microbial fermentation. **J. Anim. Sci.** 57: 1576-1583.

Smith, K. L., Harrison, J. H., Hancock, D. D., Todhunter, D. A., and Conrad, H. R. (1984). Effect of vitamin E and selenium supplementation on incidence of clinical mastitis and duration of clinical symptoms. **J. Dairy Sci**. 67: 1293-1300.

Smith, C. M. and Song, W. O. (1996). Comparative nutrition of pantothenic acid. **Nutr. Biochem.** 7: 312-321.

Sommerfeldt, J. L., Napoli, J. L., Littledike, E. T., Beitz, D. C., and Horst, R. L. (1983). Metabolism of orally administered [3H] ergocalciferoland [3H] cholecalciferol by dairy calves. **J. Nutr**. 113: 2595-2600.

Sutton, A. L., and Elliot, J. M. (1972). Effect of ratio of roughage to concentrate and level of feed intake on ovine ruminal vitamin B_{12} production. **J. Nutr**. 102: 1341-1346.

Swanson, E. W., Martin, G. G., Pardue, F. E., and Gorman, G. M. (1968). Milk production of cows fed diets deficient in vitamin A. **J. Anim. Sci**. 57: 541-548.

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

Tanaka, Y., and DeLuca, H. F. (1973). The controlof 25-hydroxyvitamin D metabolism by inorganic phosphorus. **Arch. Biochem. Biophys**. 154: 566-574.

Thafvelin, B., and Oksanen, H. E. (1966). Vitamin E and linolenic acid Content of hays as related to different drying conditions. **J. Dairy Sci**. 49: 282-286.

Thomas, J. W., and Moore, L. A. (1951). Factors affecting the antirachitic activity of alfalfa and its ability to prevent ricket sin young calves. **J. Dairy Sci**. 34: 916-928.

Tramontano, W. A., Ganci, D., Pennino, M., and Dierenfeld, E. S. (1993). Distribution of α-tocopherol in early foliage samples in several forage crops. **Phytochem**. 34: 389-390.

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

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

Van Saun, R. J., Herdt, T. H., and Stowe, H. D. (1989). Maternal and fetal vitamin E concentrations and selenium-vitamin E interrelationships in dairy cattle. **J. Nutr**. 119: 1156-1164.

Vinet, C., Conrad, H. R., Reinhardt, T. A., and Horst, R. L. (1985). Minimal requirements for vitamin D in lactating cows. **Fed. Proc**. 28: 549 (Abstr.).

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

Walker, C. K., and Elliot, J. M. (1972). Lactation al trend sin vitamin B_{12} status on conventional and restricted roughage rations. **J. Dairy Sci**. 55: 474-482.

Ward, G., Marion, G. B., Campbell, C. W., and Dunham, J. R. (1971). Influences of calcium intake and vitamin D supplementation on reproductive performance of dairy cows. **J. Dairy Sci**. 54:204-206.

Ward, G., Dobson, R. C., and Dunham, J. R. (1972). Influences of calcium and phosphorus intakes, vitamin D supplement, and lactation on calcium and phosphorus balances. **J. Dairy Sci**. 55: 768-776.

Warner, R. L., Mitchell, Jr., G. E., Little, C. O., and Alderson, N. E. (1970). Pre-intestinal disappearance of vitaminA in steers fed different levels of corn. **Int J. Vit Res**. 40: 585-588.

Waterman, R., Schwalm, J. W., and Schultz, L. H. (1972). Nicotinic acid treatment of bovine ketosis I. Effects on circulatory metabolites and inter relationships. **J. Dairy Sci**. 55: 1447-1453.

Weiss, B. (2001). Effect of supplemental biotin on performance of lactating dairy cows. Ohio Agricultural Research and Development Center. The Ohio State University.

Weiss, W. P. and Ferreira, G. (2006). **Water Soluble Vitamins for Dairy Cattle**. Department of animal sciences. The Ohio State University.

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

Weiss, W. P., Hogan, J. S., Todhunter, D. A., and Smith, K. L. (1997). Effect of vitamin E supplementation in diets with a low concentration of selenium on mammary gland health of dairy cows. **J. Dairy Sci**. 80: 1728-1737.

Weiss, W. P., Hogan, J. S., and Smith, K. L. (1994). Use of α-tocopherol concentrations in blood components to assess vitamin E status of dairy cows. **Agri-Practice**. 15(7): 5-8.

Weiss, W. P., Smith, K. L., Hogan, J. S., and Steiner, T. E. (1995). Effect of forage to concentrate ratio on disappearance of vitamins A and E during in vitro ruminal fermentation. **J. Dairy Sci**. 78: 1837-1842.

Wichtel, J. J., Craigie, A. L., Thompson, K. G., and Williamson, N. B. (1996). Effect of selenium and α-tocopherol supplementation on postpartum reproductive function of dairy heifers at pasture. **Theriogenology.** 46: 491-502.

Wing, J. M. (1969). Effect of source and season on apparent digestibility of carotene in forage by cattle. **J. Dairy Sci**. 52: 479-483.

Yamini, B., Poppenga, R. H., Braselton, Jr., W. E., and Judge, L. J. (1995). Dicoumarol (moldysweetclover) toxicosis in a group of Holstein calves. **J. Vet. Diagn. Invest**. 7: 420-422.

Zinn, R. A., Owen, F. N., Stuart, R. L., Dunbar, J. R., and Norman, B. B. (1987). B-Vitamin supplementation of diets for feed lot calves. **J. Anim. Sci**. 65:267– 277.

Zimmerly, C. A., and Weiss, W. P. (2001). Effects of supplemental dietary biotin on performance of Holstein cows during early lactation. **J. Dairy Sci.** 84:498-506.

บทที่ 3
การศึกษาผลของการเสริมไบโอตินต่อการหมักย่อยในกระเพาะหมัก

3.1 คำนำ

การหมักย่อยในกระเพาะหมักเป็นสิ่งที่สำคัญเพราะผลผลิตที่ได้จากการหมักย่อยนั้นจะถูกโคนำไปใช้ประโยชน์ในการสร้างผลผลิตและการดำรงชีวิตประจำวัน ซึ่งการหมักย่อยในกระเพาะหมักนั้นจะต้องอาศัยจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ โดยผลผลิตที่ได้มีหลายชนิด เช่น กรดไขมันระเหยได้ แอมโมเนียไนโตรเจน ก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และโปรตีนจุลินทรีย์ ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการหมักย่อยในกระเพาะหมักคือ อาหารและการหมักย่อยของจุลินทรีย์ ซึ่งพบว่าการส่งเสริมให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดีขึ้นก็จะทำให้การหมักย่อยของอาหารประเภทเยื่อใยได้สูงขึ้น และจะทำให้ผลผลิตของโคนมเพิ่มสูงขึ้นได้ Baldwin (1995) พบว่าไบโอตินจะช่วยให้การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก โดยทั้งจุลินทรีย์ Cellulolytic bacteria และ Saccharolytic yeasts ซึ่งต่างก็ต้องการไบโอตินช่วยในการย่อย Cellulose โดย Rosendo et al. (2004) รายงานว่าการเสริมไบโอตินช่วยให้การย่อยเยื่อใยเพิ่มสูงขึ้น และการที่จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักเจริญเติบโตดีก็จะส่งผลให้มีปริมาณของโปรตีนจุลินทรีย์เพิ่มสูงขึ้นด้วย ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงศึกษาผลของการเสริมไบโอตินต่อการหมักย่อยในกระเพาะหมักของโคนม เพื่อที่ช่วยให้สภาพในกระเพาะหมักของโคนมเหมาะสมต่อการหมักย่อยของจุลินทรีย์และเพิ่มผลผลิตของโคนม

3.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของการเสริมไบโอตินในอาหารโคนมต่อระดับ pH, แอมโมเนียไนโตรเจน และปริมาณของกรดไขมันที่ระเหยได้ (Volatile fatty acids, VFAs) ในกระเพาะหมักของโคนม

3.3 อุปกรณ์และวิธีการ

3.3.1 การจัดการโคเจาะกระเพาะสำหรับทดลองและการให้อาหาร

โคนมที่ใช้ในการทดลองเป็นโคนมเจาะกระเพาะ พันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชียน (Crossbreed Holstein Friesian) ที่มีระดับเลือดมากกว่า 87.5% จำนวนทั้งหมด 3 ตัว จัดกลุ่มโคแบบ 3x3 Latin Squares (Steel and Torrie, 1980) โดยโคจะเลี้ยงแบบขังในคอกเดี่ยวตลอดเวลา โดยจะแยกออกเป็น 3 Treatments คือ

กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มควบคุม (ไม่ได้รับการเสริมไบโอติน)
กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มการทดลองที่ 1 โคจะได้รับไบโอติน 20 มิลลิกรัมต่อวัน
กลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มการทดลองที่ 2 โคจะได้รับไบโอติน 40 มิลลิกรัมต่อวัน

ตารางที่ 3.1 การจัดกลุ่มทดลองโคเจาะกระเพาะ

	P1	P2	P3
T1	1	2	3
T2	2	3	1
T3	3	1	2

อาหารข้น (Concentrate) ที่ใช้ในการทดลองเป็นอาหารข้นชนิดเม็ด (Pellet) มีคุณค่าทางโภชนะตามความต้องการของโคนมในระยะให้นม (NRC, 2001) โปรตีน 16% ซึ่งโคจะได้รับ 3 กิโลกรัม ต่อวัน ๆ ละ 2 ครั้ง ในเวลา 08.00 น. และ 16.00 น. อาหารหยาบ (Roughage) ที่ใช้ในการทดลองคือ หญ้าหมักวันละ 9 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน และมีน้ำดื่มสะอาดใส่อ่างสำหรับให้โคกินตลอดเวลา

3.3.2 วิธีการทดลองและเก็บข้อมูล

นำโคเจาะกระเพาะมาเลี้ยงแบบขังเดี่ยวและเป็นอิสระต่อกัน 3 ตัว ในแบบการทดลอง 3x3 Latin squares โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ช่วง ๆ ละ 10 วัน ระยะปรับตัวของสัตว์ทดลอง 7 วัน และระยะทดลอง 3 วันโดยจะเก็บตัวอย่างในวันที่ 10 ของการทดลอง จากนั้นจะปล่อยสัตว์ออกจากคอกและพักสัตว์ 7 วัน เพื่อลดอิทธิพลในสัตว์ที่มีมาจากช่วงการทดลองก่อน โดยในระหว่างการทดลองมีการเก็บข้อมูลดังนี้

3.3.2.1 ระดับความเป็นกรดด่าง (pH) ในกระเพาะหมัก

ทำการเปิดฝาส่วนที่ปิดกระเพาะหมักของโค (Cannula) ออก จากนั้นสุ่มเก็บของเหลวในกระเพาะหมักที่เวลา 0, 3, 5 และ 7 โดยสุ่มเก็บจากหลายส่วนในกระเพาะหมักใส่บีกเกอร์ จากนั้นทำการวัดระดับความเป็นกรด-ด่างของของเหลวในกระเพาะหมักทันทีหลังจากเก็บตัวอย่าง โดยใช้เครื่องวัดความเป็นกรดด่าง (pH meter) อย่างไรก็ตามการวัดระดับความเป็นกรด – ด่าง เครื่องวัดจะต้องได้รับการปรับ (Calibrate) ด้วยการใช้ Buffers ที่ pH 7.0 และ pH 4.0 เสียก่อน

3.3.2.2 ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียในของเหลวจากกระเพาะหมัก (Rumen ammonia)

การเก็บตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์หาความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน

ในของเหลวจากกระเพาะหมัก (Rumen ammonia; mgNH_3-N/litre) ที่เวลา 0, 3, 5 และ 7 โดยใช้หลอดทดลองที่มีฝาปิด (Test tube with cap) ขนาด 25 มิลลิลิตร บรรจุด้วย Deproteinising reagent (1 M H_2SO_4 ทำให้อิ่มตัวด้วย $MgSO_4$) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร หลังจากเก็บตัวอย่างของเหลวจากกระเพาะหมักแล้ว ใช้กระบอกตวง ๆ ของเหลวจากกระเพาะหมักปริมาตร 20 มิลลิลิตร เติมใส่ลงไปในหลอดทดลองที่มี Deproteinising reagent อยู่ จากนั้นนำหลอดทดลองไปปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ที่ความเร็ว 3000 รอบ/นาที เป็นเวลา 15 นาที แล้วดูดเอาเฉพาะส่วนของเหลวใส (Supernatant) ลงในหลอดทดลองขนาด 25 มิลลิลิตร ปิดด้วยฝาเกลียวให้สนิท นำไปเก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิ -18° C จนกว่าจะนำไปวิเคราะห์หาแอมโมเนียไนโตรเจนโดยวิธี Kjedahl ต่อไป

3.3.2.3 การเก็บตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์หากรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acids)

การเก็บตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์หากรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acids) ที่เวลา 0, 3, 5 และ 7 ใช้หลอดทดลองชนิดมีฝาจุก (Test tube with cap) ขนาด 25 มิลลิลิตร เติมกรดไฮโดรคลอลิก (6 N) ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร (ในอัตราส่วนของเหลวจากกระเพาะหมัก 10 ส่วนต่อ 6 N HCl 1 ส่วน) เพื่อเก็บรักษาและเป็นการหยุดชะงักกิจกรรมและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ปิดฝาจุกให้แน่นก่อนนำไปปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ที่ความเร็ว 3000 รอบ/นาที เป็นเวลา 15 นาที ดูดเอาของเหลวใสใส่ในขวด vial สีชา จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas chromatography (GC)

Condition of GC:

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

Injector: split 1:50, 250°C

Oven: 100°C for 5 min

100-250°C at 10°C/min

250°C for 12 min

Detector: Temperature: FID, 300°C

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลที่บันทึกจากการทดลองได้แก่ สภาพความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมัก ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน และปริมาณกรดไขมันระเหยได้ นำเข้าประมวลผลและวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ตามแผนการทดลอง แบบ 3x3 Latin squares โดยใช้ Proc. GLM (SAS, 1996) และวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ โดยวิธี F-test เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย

โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ตามวิธีการของ Steel and Torrie (1980)

3.5 สถานที่ทำการทดลองและระยะเวลาในการทำการทดลอง

ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อาคารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 3 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.6 ระยะเวลาทำการทดลอง

เริ่มการทดลองตั้งแต่วันที่ 27 มีนาคม 2552 ถึงวันที่ 20 พฤษภาคม 2552

3.7 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

3.7.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของของเหลวในกระเพาะหมัก

การเสริมไบโอตินร่วมกับอาหารข้นในโคนมที่ระดับ 0, 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อตัวต่อวัน มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของของเหลวในกระเพาะหมัก ที่เวลาต่าง ๆ หลังให้อาหาร 0, 3, 5 และ 7 ชั่วโมง ดังนี้ กลุ่มควบคุมมีค่าเท่ากับ 7.0, 6.5, 6.6 และ 6.6 กลุ่มการทดลองที่ 1 มีค่าเท่ากับ 7.1, 6.5, 6.4 และ 6.7 และในกลุ่มการทดลองที่ 2 มีค่าเท่ากับ 7.4, 6.9, 7.0 และ 7.1 ซึ่งพบว่าการเปลี่ยนแปลงของระดับ pH ในกระเพาะหมักของโคนมที่ได้รับการเสริมไบโอตินที่ระยะเวลา 0, 3, 5 และ 7 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ดังตารางที่ 3.2

3.7.2 ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) ของของเหลวในกระเพาะหมัก

จากการศึกษาทดลองการเปลี่ยนแปลงของระดับแอมโมเนียไนโตรเจนภายในกระเพาะหมักในโคเจาะกระเพาะที่ได้รับการเสริมไบโอตินที่ระดับ 0, 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อตัวต่อวัน มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับแอมโมเนียไนโตรเจนในของเหลวจากกระเพาะหมักที่เวลา 0, 3, 5 และ 7 ชั่วโมงหลังจากการให้อาหาร ดังนี้ กลุ่มควบคุม มีระดับของแอมโมเนียไนโตรเจนในของเหลวจากกระเพาะหมักเท่ากับ 9.97, 12.76, 11.28 และ 10.77 mg/dl กลุ่มการทดลองที่ 1 มีค่าเท่ากับ 10.45, 12.85, 11.87 และ 10.85 mg/dl กลุ่มการทดลองที่ 2 มีค่าเท่ากับ 10.76, 13.57, 11.89 และ 10.98 mg/dl หลังจากให้อาหารที่ระยะเวลา 0, 3, 5 และ 7 ชั่วโมงตามลำดับ ซึ่งพบว่าระดับของแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะหมักของโคนมไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (ตารางที่ 3.2)

ตารางที่ 3.2 ผลการเสริมไบโอตินต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับความเป็นกรด-ด่าง (pH) และแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) ภายในกระเพาะหมักที่เวลาต่างๆหลังการให้อาหาร

ที่เวลาหลังการให้อาหาร (ชั่วโมง)	ระดับของการเสริมไบโอติน			SEM[1]	P-value	Contrast	
	0 mg	20 mg	40 mg			L	Q
pH							
Hour 0	7.0	7.1	7.4	0.193	0.75	0.52	0.85
Hour 3	6.5	6.5	6.9	0.164	0.66	0.49	0.62
Hour 5	6.6	6.4	7.0	0.214	0.64	0.55	0.52
Hour 7	6.6	6.7	7.1	0.173	0.55	0.36	0.66
NH_3-N[2]	----------(mg/dl)----------						
Hour 0	9.97	10.45	10.76	0.272	0.58	0.69	0.38
Hour 3	12.76	12.85	13.57	0.449	0.75	0.58	0.68
Hour 5	11.28	11.87	11.89	0.455	0.83	0.98	0.59
Hour 7	10.77	10.85	10.98	0.265	0.95	0.87	0.82

หมายเหตุ: SEM[1] = Standard error of mean, NH_3-N[2] = Ammonia nitrogen, Contrast = เปรียบเทียบความแตกต่างตามความสัมพันธ์แบบ Orthogonal contrast; L = linear; Q = quadratic

3.7.3 ความเข้มข้นของกรดไขในระเหยได้ (Volatile fatty acid; VFAs) ของของเหลวในกระเพาะหมัก

ระดับความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ของของเหลวในกระเพาะหมัก ซึ่งจะแสดงถึงปริมาณของกรดอะซิติก กรดโพรพิออนิก กรดบิวทีริกและอัตราส่วนของอะซิติกต่อโพรพิออนิก ที่เวลาต่าง ๆ เมื่อเสริมไบโอตินให้กับโคนมที่ระดับ 0, 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อตัวต่อวัน หลังจากให้อาหารเป็นระยะเวลา 0, 3, 5 และ 7 ชั่วโมง แสดงไว้ในตารางที่ 3.3 พบว่าระดับความเข้มข้นของกรดอะซิติกในกลุ่มควบคุม มีค่าเท่ากับ 76.57, 76.84, 76.15 และ 76.16 mol/100 mol กลุ่มการทดลองที่ 1 มีค่าเท่ากับ 76.62, 77.14, 76.67 และ 76.16 mol/100 mol และในกลุ่มการทดลองที่ 2 มีค่าเท่ากับ 76.76, 76.51, 77.03 และ 77.31 mol/100 mol ซึ่งพบว่าระดับความเข้มข้นของกรดอะซิติกของของเหลวจากกระเพาะหมักของโคนมไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ระดับความเข้มข้นของกรดโพรพิโอนิกของของเหลวจากกระเพาะหมัก ในกลุ่ม

ควบคุมมีค่าเท่ากับ 16.96, 16.09, 16.52 และ 16.50 mol/100 mol กลุ่มการทดลองที่ 1 มีค่าเท่ากับ 16.03, 15.54, 15.71 และ 15.59 mol/100 mol กลุ่มการทดลองที่ 2 มีค่าเท่ากับ 15.96, 16.0, 15.71 และ 15.59 mol/100 mol ในชั่วโมงที่ 0, 3, 5 และ 7 หลังจากการให้อาหารตามลำดับ ซึ่งพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ระดับความเข้มข้นของบิวทีริกของของเหลวในกระเพาะหมัก กลุ่มควคุมมีค่าเท่ากับ 6.44, 7.37, 7.30 และ 7.30 mol/100 mol กลุ่มการทดลองที่ 1 มีค่าเท่ากับ 7.32, 7.30, 7.29 และ 7.23 mol/100 mol กลุ่มการทดลองที่ 2 มีค่าเท่ากับ 7.38, 7.47, 7.23 และ 7.07 mol/100 mol ระดับของอัตราส่วนระหว่างอะซิติกและโพรพิโอนิก ในกลุ่มควบคุมมีค่าเท่ากับ 4.52, 7.44, 6.61 และ 6.62 mol/100 mol กลุ่มการทดลองที่ 1 มีค่าเท่ากับ 4.78, 7.96, 7.90 และ 4.95 mol/100 mol กลุ่มการทดลองที่ 2 มีค่าเท่ากับ 4.81, 4.78, 7.90 และ 4.95 mol/100 mol ในชั่วโมงที่ 0, 3, 5 และ 7 หลังจากการให้อาหาร ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของบิวทีริกและอัตราส่วนของอะซิติกและโพรพิโอนิกของของเหลวจากกระเพาะหมักไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) แต่พบว่าปริมาณความเข้มข้นของกรดโพรพิโอนิกและสัดส่วนของอะซิติกและโพรพิโอนิกของของเหลวจากกระเพาะหมักในชั่วโมงที่ 7 หลังจากการให้อาหารนั้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณการเสริมไบโอตินที่เพิ่มขึ้นซึ่งค่าความแตกต่างดังกล่าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นความสัมพันธ์แบบเส้นตรง (Linear contrast)

ตารางที่ 3.3 ผลการเสริมไบโอตินต่อความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acid; VFAs) ของของเหลวในกระเพาะหมักที่เวลาต่าง ๆ หลังการให้อาหาร

ที่เวลาหลังการให้อาหาร (ชั่วโมง)	ระดับของการเสริมไบโอติน			SEM	P-value	Contrast	
	0 mg	20 mg	40 mg			L	Q
Acetate; C2	--------(mol/100mol)---------						
Hour 0	76.57	76.62	76.76	0.157	0.88	0.67	0.90
Hour 3	76.84	77.14	76.51	0.164	0.44	0.49	0.31
Hour 5	76.15	76.67	77.03	0.514	0.80	0.55	0.94
Hour 7	76.16	77.16	77.31	0.168	0.18	0.10	0.36
Propionate; C3	--------(mol/100mol)---------						
Hour 0	16.96	16.03	15.96	0.237	0.35	0.22	0.48
Hour 3	16.09	15.54	16.00	0.077	0.17	0.66	0.09
Hour 5	16.52	15.71	15.71	0.190	0.33	0.22	0.42
Hour 7	16.50	15.59	15.59	0.057	0.06	0.02	0.06

ตารางที่ 3.3 (ต่อ)

ที่เวลาหลังการให้อาหาร (ชั่วโมง)	ระดับของการเสริมไบโอติน			SEM	P-value	Contrast	
	0 mg	20 mg	40 mg			L	Q
Butyrate; C4	--------(mol/100mol)---------						
Hour 0	6.44	7.32	7.38	0.153	0.20	0.12	0.33
Hour 3	7.37	7.30	7.47	0.193	0.93	0.84	0.78
Hour 5	7.30	7.29	7.23	0.208	0.98	0.90	0.96
Hour 7	7.30	7.23	7.07	0.125	0.77	0.53	0.87
C2:C3							
Hour 0	4.52	4.78	4.81	0.076	0.41	0.26	0.53
Hour 3	4.77	4.96	4.78	0.035	0.23	0.91	0.12
Hour 5	4.61	4.90	4.90	0.093	0.48	0.33	0.54
Hour 7	4.62	4.95	4.62	0.053	0.06	0.04	0.12

หมายเหตุ: SEM = Standard error of mean, Contrast = เปรียบเทียบความแตกต่างตามความสัมพันธ์แบบ Orthogonal contrast; L = linear; Q = quadratic

3.8 วิจารณ์ผลการทดลอง

3.8.1 ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของของเหลวในกระเพาะหมัก

ระดับของ pH (Power of H^+ gradient; pH) มีผลต่อระบบนิเวศน์วิทยาในกระเพาะหมักเป็นอย่างมาก โดยค่า pH จะมีผลกระทบต่อทั้งชนิด และจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก เนื่องจากมีความสัมพันธ์ต่อการทำงานของเอนไซม์ภายในเซลล์ของแบคทีเรีย (Moat and Foster, 1995) โดยปัจจัยที่สำคัญและมีผลต่อระดับ pH ในกระเพาะหมักเป็นอย่างมากนั้นคือ ระดับความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acids, VFAs) ซึ่งเป็นผลผลิตที่ได้จากการหมักย่อยอาหารของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก โดยกรดไขมันระเหยได้เป็นกรดไขมันที่ละลายในน้ำได้ (Lipid soluble compounds) มีคุณสมบัติในการจับปล่อยโปรตอน (H^+) (Forbes and France, 1993) ดังนั้นเมื่อระดับกรดไขมันระเหยได้ในกระเพาะหมักเพิ่มขึ้นหรือลดลงจึงส่งผลให้ระดับของ pH ในกระเพาะหมักเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ซึ่งในการทดลองครั้งนี้พบว่าระดับ pH ที่ชั่วโมงต่างๆ หลังจากการให้อาหารไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เพราะพบว่าระดับของกรดไขมันระเหยได้ คือ Acetate, Propionate, Butyrate ในกระเพาะหมักไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงไม่ส่งผลให้ระดับของ pH ในกระเพาะหมักมีการเปลี่ยนแปลง ฉลอง วิชิราภากร (2541)

ได้รายงานว่าสภาพภายในกระเพาะหมักที่มีความเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์มาก คือ มี pH อยู่ระหว่าง 5.5-7.0 อุณหภูมิเฉลี่ย 39-40°C จากการทดลองในครั้งนี้ค่าเฉลี่ยของค่า pH ของของเหลวในกระพาะหมักอยู่ในระดับที่ปรกติและเหมาะสมต่อการทำกิจกรรมของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก

3.8.2 ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนของของเหลวในกระเพาะหมัก

ความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนในกระเพาะหมักนั้นมีความผันแปร ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ระดับการให้อาหาร ความสามารถในการละลายได้ของโปรตีนในอาหาร แหล่งของคาร์โบไฮเดรทที่มีและแหล่งของแร่ธาตุ ความถี่ของการให้อาหาร (เมธา ววรณณพัฒน์, 2533) โดยแอมโมเนียไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในกระเพาะหมักจะได้จากการย่อยสลายของโปรตีนในอาหาร จุลินทรีย์โปรตีน และสารประกอบ NPN (Non protein nitrogen) โดยระดับของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในการทดลองครั้งนี้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ซึ่งพบว่าโคนมได้รับโปรตีนรวมจากอาหารไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.7) ดังนั้นปัจจัยที่จะทำให้ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะหมักมีความแตกต่างกันนั้นจะมาจากแอมโมเนียไนโตรเจนของจุลินทรีย์โปรตีน แต่พบว่าปริมาณของโปรตีนที่ได้รับจากจุลินทรีย์ (MCP) (ตารางที่ 4.8) ก็ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงทำให้ระดับของแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะหมักทั้งสามกลุ่มทดลองไม่มีความแตกต่างกัน โดย Mehrez, Ørskov, and McDonald (1977) รายงานว่าระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนที่เหมาะสมในกระเพาะหมักนั้น ควรจะอยู่ในระดับที่ทำให้จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักเจริญเติบโตดีที่สุดและมีการย่อยได้ของวัตถุแห้งสูงที่สุด Boucher et al. (2007) รายงานระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนว่าอยู่ที่ระหว่าง 9.0-17.4 mg/dL แต่พบว่าที่ระดับ 9.0 mg/dL นั้นมีการย่อยได้ของวัตถุแห้งสูงที่สุด อย่างไรก็ตามค่าระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนในการทดลองครั้งนี้ก็อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และการย่อยได้ของวัตถุแห้งในกระเพาะหมัก

3.8.3 ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ของของเหลวในกระเพาะหมัก

กรดไขมันระเหยได้เป็นผลผลิตจากการหมักย่อยอาหารโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก ซึ่งพบว่ากรดไขมันระเหยได้ที่ถูกใช้เป็นพลังงานของโคนมถึง 80% (Bergman, 1990) โดยกรดไขมันระเหยได้จะถูกขนส่งจากกระเพาะหมัก 2 ทางคือ การดูดซึมผ่านผิวผนังชั้น Epithelium ของกระเพาะหมักและรวมไปกับของเหลวจากกระเพาะหมักผ่านทาง Reticulo-omasal oifice (Peters, Shen, and Chester, 1990) ถ้าในกระเพาะหมักนั้นมีปริมาณของกรดไขมันระเหยได้มากเกินไปนั้นจะทำให้ pH ในกระเพาะหมักลดลงและการเกิด Rumen acidosis (Barker, Van Dreumel, and Palmer, 1995) จากการทดลองพบว่าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ คือ กรดอะซิติก กรดโพรพิออนิก กรดบิวทีริก และอัตราส่วนกรดอะซิติกต่อโพรพิออนิก ที่ชั่วโมง 0, 3, 5 และ 7 หลัง

การให้อาหาร ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) โดยมีจะความเข้มข้นสูงขึ้นที่เวลา 3 ชั่วโมง หลังการให้อาหารแล้วลดลงชั่วโมงที่ 5 หลังการให้อาหาร ทั้งนี้เนื่องจากกรดไขมันระเหยได้จะถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะหมักทำให้ระดับความเข้มข้นลดลง (Peters et al., 1990) ซึ่งในการทดลองครั้งนี้มีระดับความเข้มข้นของกรดอะซิติกมีค่าอยู่ที่ระหว่าง 76.1-77.3 mol/100mol กรดโพรพิออนิกมีค่าอยู่ที่ระหว่าง 15.5-16.9 mol/100mol กรดบิวทีริกมีค่าอยู่ที่ระหว่าง 6.4-7.4 mol/100mol และอัตราส่วนกรดอะซิติกต่อโพรพิออนิกมีค่าอยู่ระหว่าง 4.5-4.9 ซึ่งพบว่าระดับความเข้มข้นของกรดอะซิติกมีค่าใกล้เคียงกับ Resende, Pereira, Boer, and Tamminga (2006) คือที่ระดับ 77.4-80.0 mol/100mol และพบว่าค่าความเข้มข้นของกรดโพรพิออนิกและกรดบิวทีริกในงานทดลองของ Resende et al. (2006) สูงกว่าการทดลองในครั้งนี้ (กรดโพรพิออนิกที่ระดับ 23.6-24.4 mol/100mol กรดบิวทีริกที่ระดับ 13.6-14.6 mol/100mol) และมีอัตราส่วนกรดอะซิติกต่อโพรพิออนิกที่ต่ำ คือ 3.2-3.6 ปริมาณของกรดไขมันระเหยได้จะมีผลต่อการให้ผลผลิตของโค คือ กรดอะซิติกและกรดบิวทีริกจะมีผลต่อปริมาณไขมันในน้ำนม ส่วนกรดโพรพิออนิกนั้นจะมีผลต่อปริมาณผลผลิตของโคนม (Gransworthy, 1988) และสัดส่วนของกรดอะซิติกต่อกรดโพรพิออนิกที่เพิ่มขึ้นจะมีผลกระทบต่อการให้ผลผลิตน้ำนม ซึ่งสัดส่วนของกรดอะซิติกต่อกรดโพรพิออนิกจะมีอิทธิพลจากอาหารที่สัตว์กิน โดยสัตว์ที่กินอาหารหยาบหรืออาหารที่มีเยื่อใยสูงจะผลิตกรดอะซิติกสูง ส่วนสัตว์ที่กินอาหารที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบสูงก็จะมีผลผลิตของกรดโพรพิออนิกสูง (Dado and Allen, 1995)

3.9 สรุปผลการทดลอง

ผลของการเสริมไบโอตินในโคนมที่ระดับ 0, 20 และ 40 และทำการวัดค่า ความเป็นกรดด่าง (pH) ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) และระดับของกรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acids) ที่ชั่วโมงที่ 0, 3, 5 และ 7 พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของระดับ pH ในกระเพาะหมัก (P>0.05) ในทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง โดยพบว่าระดับของ pH ในกระเพาะหมักจะลดลงที่ชั่วโมงที่ 3 และเพิ่มสูงขึ้นที่ชั่วโมงที่ 5 หลังการให้อาหาร เช่นเดียวกันกับระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนก็ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05) ระหว่างโคทั้ง 3 กลุ่ม ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนจะเพิ่มขึ้นที่ชั่วโมงที่ 3 ซึ่งเป็นปริมาณของแอมโมเนียไนโตรเจนที่ได้จากการหมักย่อยของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักและจะลดต่ำลงที่ชั่วโมงที่ 5 และ 7 เพราะจุลินทรีย์ได้นำแอมโมเนียไนโตรเจนไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโต และแอมโมเนียไนโตรเจนถูกดูดซึมออกจากกระเพาะหมักผ่านทางผนังชั้น Epithelium ของกระเพาะหมัก และปริมาณของกรดไขมันระเหยได้พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทาง

สถิติ (P>0.05) ทั้งกรดอะซิติก กรดโพรพิออนิก กรดบิวทิริก และอัตราส่วนระหว่างกรดอะซิติกและกรดโพรพิออนิก การทดลองในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการเสริมไบโอติน ที่ระดับ 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อตัวต่อวันไม่ทำให้ระดับ pH, NH_3-N และระดับความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้เปลี่ยนแปลง

3.10 รายการอ้างอิง

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

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

Baldwin, R. L. (1995). **Modeling Ruminant Digestion and Metabolism**. 1st ed. Chapman and Hall, London, UK.

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

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

Boucher, S. E., Ordway, R. S., Whitehouse, N. L., Lundy, F. P., Kononoff, P. J., and Schwab, C.G. (2007). Effect of incremental urea supplementation of a conventional corn silage-based diet on ruminal ammonia concentration and synthesis of microbial protein. **J. Dairy Sci**. 90: 5619-5633.

Dado, R. C., and Allen, M. S. (1995). Intake limitations, feeding behavior and rumen function of cows challenged with runmen fill from dietary fiber or inert bulk. **J. Dairy Sci**. 78: 118.

Forbes, J. M., and France, J. (1993). **Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism**. Cambridge:The University Press. UK.

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

Mehrez, A. Z., Ørskov, E. R., and McDonald, I. (1977). Rates of rumen fermentation in relation to ammonia concentration. **Br. J. Nutr**. 38: 437-443.

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

National Research Coucil. (2001). **Nurient Requirements of Dairy Cattle**. 7th rev. ed. National Academy Press, Washington, DC.

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

Resende Junior, J. C., Pereira, M. N., Boer, H., and Tamminga, S. (2006). Comparison of Techniques to Determine the Clearance of Ruminal Volatile Fatty Acids. **J. Dairy Sci**. 89: 3096-3106.

Rosendo, O., Staples, C. R., McDowell, L. R., McMahon, R., Badinga, L., Martin, F. G., Shearer, J. F., and Seymour, W. M. (2004). Effect of biotin supplementation on peripartum performance and metabolites of Holstein cows. **J. Dairy Sci**. 87: 2535-2545.

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

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

บทที่ 4
การศึกษาผลของการเสริมไบโอตินต่อผลผลิต องค์ประกอบทางเคมี และกรดไขมันในน้ำนม

4.1 คำนำ

ไบโอตินมีโครงสร้างคล้ายกับวิตามินบี 1 คือมีธาตุกำมะถันเป็นองค์ประกอบ สามารถละลายได้ในน้ำและแอลกอฮอล์ แต่ไม่ละลายในอีเทอร์ คลอโรฟอร์มและอะซิโตน มีความทนทานต่อแสงแดดและความร้อน แต่ไม่ทนต่อกรดและด่างเข้มข้น ไบโอตินในทางการค้าจะอยู่ในรูป ดี-ไบโอติน (d-biotin) ทำหน้าที่เป็นโคเอนไซม์ของเอนไซม์ คาร์บอกซิเลส (carboxylases) หลายชนิด นอกจากนี้ไบโอตินยังมีความจำเป็นในกระบวนการสังเคราะห์กลูโคส (Gluconeogenesis) เพื่อควบคุมระดับกลูโคสในกระแสเลือด (Blood glucose) ในร่างกาย (ยุคล ลิ้มแหลมทอง, 2533) ช่วยในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก (Baldwin, 1995) นอกจากนี้ Mellenberger, Bauman, and Nelson (1973) ยังพบว่าไบโอตินเป็นโคแฟคเตอร์ (Cofactor) ของเอนไซม์อะซิติลโคเอนไซม์ เอ คาร์บอกซิเลส (acetyl-CoA carboxylase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ถูกใช้ในขั้นตอนแรกของการสังเคราะห์ไขมันและกรดไขมันในน้ำนมจากอะซิเตท (Acetate) โดยเอนไซม์นี้จะหลั่งมาจากต่อมน้ำนมในปริมาณที่จำกัด การเสริมไบโอตินนอกจากสามารถลดปัญหาเกี่ยวกับสุขภาพกีบในโคนม (Midla, Hoblet, Weiss, and Moeschberger, 1998; Potzsch, Collis, Blowey, Packington, and Green, 2003) ยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการให้ผลผลิตน้ำนมของโคนมได้อีกด้วย Zimmerly and Weiss (2001) พบว่าสามารถเพิ่มผลผลิตน้ำนมได้ถึง 3.3 กิโลกรัม/วัน เมื่อเสริมไบโอตินให้กับโค 20 มิลลิกรัม/ตัว/วัน เช่นเดียวกับ Majee, Schwab, Bertics, Seymour, and Shaver (2003) ที่เสริมไบโอตินให้กับโคนมแล้วสามารถเพิ่มผลผลิตน้ำนมได้วันละ 1.7 กิโลกรัม ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา การเสริมไบโอตินในอาหารโคนมต่อประสิทธิภาพการให้ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมี และกรดไขมันในน้ำนมในโคนมระยะแรก (early lactating) ของการให้นม

4.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของการเสริมไบโอตินในสูตรอาหารข้นต่อผลผลิต องค์ประกอบและกรดไขมันของน้ำนมในโคนม

4.3 อุปกรณ์และวิธีการ

4.3.1 การจัดการสัตว์ทดลองและการให้อาหาร

การจัดการสัตว์ทดลอง

โคนมที่ใช้ในการทดลองเป็นโคนมลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชียน (Crossbreed Holstein Friesian) ที่มีระดับเลือดมากกว่า 87.5% จำนวน 24 ตัว จำนวนวันการให้น้ำนมเฉลี่ย 64±45 วัน (mean ± SD) ปริมาณน้ำนมเฉลี่ย 13 ± 2.4 กิโลกรัม/วัน อายุเริ่มต้นในการทดลองเฉลี่ย 55±16 เดือน น้ำหนักเฉลี่ย 375±26 กิโลกรัม ทำการจัด treatment แบบ stratified random balance group ในแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) โดย block ด้วยปริมาณน้ำนม จากนั้นแบ่งโคออกเป็นกลุ่มการทดลองละ 8 ตัว โคทุกตัวจะถูกเลี้ยงโดยขังในคอกเดี่ยวและเป็นอิสระต่อกันตลอดเวลา การทดลองจะใช้เวลาทั้งหมด 37 วัน แบ่งการทดลองออกเป็น 6 ช่วง ๆ ละ 5 วันและเวลาในการปรับตัวสัตว์ก่อนการทดลอง 7 วัน จัดให้โคแต่ละตัวกินอาหารตามกลุ่มทดลองอย่างเป็นอิสระต่อกันดังนี้

กลุ่ม control ได้รับอาหารข้น (ไม่ได้รับการเสริมไบโอติน)

กลุ่มการทดลองที่ 1 ได้รับอาหารข้นและไบโอติน 20 มิลลิกรัมต่อวัน

กลุ่มการทดลองที่ 2 ได้รับอาหารข้นและไบโอติน 40 มิลลิกรัมต่อวัน

อาหารข้น (Concentrate) ที่ใช้ในการทดลองเป็นอาหารข้นชนิดเม็ด (Pellet) มีคุณค่าทางโภชนะตามความต้องการของโคนมในระยะให้นม (NRC, 2001) โปรตีน 21% ซึ่งโคจะได้รับ 8 กิโลกรัม ต่อวัน ๆ ละ 3 ครั้ง ในเวลา 08.00 น. 12.00 น. และ 16.00 น. อาหารหยาบ (Roughage) ที่ใช้ในการทดลองคือ หญ้าหมักวันละ 28 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน และมีน้ำดื่มสะอาดใส่อ่างให้โคกินตลอดเวลา

ตารางที่ 4.1 แสดงลักษณะที่ใช้ในการจัดกลุ่มโคก่อนการทดลอง

Parameter	control	Tr1 (20 mg biotin)	Tr2 (40 mg biotin)
Milk yield, Kg/d	13.52 ± 2.44	13.18 ± 2.42	13.38 ± 2.41
Age, month	55.40 ± 16.11	55.20 ± 16.17	55.20 ± 16.19
DIM[1], day	64.30 ± 45.08	64.10 ± 45.54	64.10 ± 45.73
Weight, Kg	371 ± 27	380 ± 25	375 ± 28

หมายเหตุ: DIM[1] = day in milk

4.3.2 วิธีการทดลองและเก็บข้อมูล

ทำการจัดกลุ่มโคสาวที่อยู่ในช่วงแรกของการให้นมจำนวน 24 ตัว ออกเป็น 3 กลุ่มทดลอง นำโคเข้าทดลองโดยได้รับอาหารข้นในกลุ่มควบคุมและได้รับไบโอติน 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อตัวต่อวัน ในกลุ่มทดลองที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ระหว่างทดลองมีการเก็บข้อมูลดังต่อไปนี้

การกินได้

ปริมาณการกินได้จะวัดทุกช่วงการทดลอง (5 วัน) 2 วันติดต่อกัน โดยทำการชั่งและบันทึกน้ำหนักปริมาณของอาหารก่อนโคกิน ทั้งอาหารข้นและอาหารหยาบรวมถึงเก็บตัวอย่างอาหารก่อนกินเป็นรายตัว หลังจากนั้นทำการชั่งอาหารที่เหลือจากการกินของโค เพื่อหาปริมาณของอาหารที่โคกินเข้าไป สุ่มเก็บอาหารแต่ละชนิดประมาณ 10% (อาหารข้นกลุ่มควบคุม อาหารข้นกลุ่มทดลองและอาหารหยาบ) นำไปอบไล่ความชื้นในตู้อบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 36 ชั่วโมง เพื่อหาน้ำหนักวัตถุแห้งของตัวอย่างอาหาร (Dry matter, DM) จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีแบบประมาณ (Proximate analysis) (AOAC, 1990) ซึ่งวิเคราะห์วัตถุแห้งโดยเครื่อง Hot air oven โปรตีนหยาบ (Crude protein, CP) โดยเครื่อง Kjeltec auto analyzer ไขมัน (Ether extract) โดยเครื่อง Soxhlet auto เยื่อใยหยาบ (Crude fiber, CF) โดยเครื่อง Fibertec auto analyser และเถ้า (Ash) โดยการเผาที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ส่วน และการวิเคราะห์ เยื่อใยโดย Detergent analysis (Goering and VanSoest, 1970) ได้แก่ เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกลาง (Neutral detergent fiber, NDF) เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกรด (Acid detergent fiber, ADF) และAcid detergent lignin, ADL โดยเครื่อง Fibertec auto analyser

น้ำหนักตัว

ทำการชั่งน้ำหนักตัวก่อนและหลังการทดลองโคทั้ง 3 กลุ่มทดลองหลังจากทำการรีดนมช่วงเช้าก่อนการให้อาหาร โดยชั่งน้ำหนักโครายตัวด้วยเครื่องชั่ง จากนั้นนำน้ำหนักโคทั้งก่อนและหลังการทดลองไปคำนวนหาอัตราการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวเฉลี่ยต่อวัน (Body Weight Change, BWC)

ผลผลิตและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม

ทำการจดบันทึกผลผลิตน้ำนมของโคนมทุกตัว ทุกวันตลอดระยะเวลาในการทดลองและสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำนมดิบทุกช่วงการทดลอง โดยสุ่มเก็บช่วงละ 2 วันติดต่อกัน โดยจะแบ่งเป็นนมช่วงเย็นและช่วงเช้าในเวลา 15.00 และ 05.00 นาฬิกา ตามลำดับ เพื่อจะนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมได้แก่ ไขมันนม โปรตีนนม แล็คโตส ของแข็งพร่องในไขมัน (Solid not fat) และของแข็งรวมในนม (Total solid) โดยเครื่อง Milkoscan S50

4.3.3 การศึกษาองค์ประกอบและปริมาณของกรดไขมัน

อาหารสัตว์

สุ่มเก็บอาหารแต่ละชนิดในแต่ละกลุ่มการทดลอง (อาหารข้นและอาหารหยาบ) เพื่อนำไปสกัดไขมัน ซึ่งดัดแปลงตามวิธีการของ Folch, Lees, and Sloane-stanley (1957) และ Metcalfe, Schmitz, and Pelka (1996) โดยนำตัวอย่างที่สุ่มได้ตัวอย่างละ 15 กรัม ทำการสกัดด้วย Chloroform-Methanol (2:1 v/v) ปริมาณ 90 ml จากนั้นนำไปปั่น (Homogenize) เป็นเวลา 2 นาที แล้วเติมด้วย Choloform ปริมาณ 30 ml และ 0.58 NaCl ปริมาณ 5 ml เขย่าให้เข้ากันและทิ้งไว้จนสารละลายแยกชั้นอย่างชัดเจน จากนั้นปล่อยสารละลายที่อยู่ส่วนล่างใส่ใน Evaporation flask ทำการแยกตัวทำละลายออกจากไขมันโดยระเหยที่อุณหภูมิ 40°C ด้วย Rotary Evaporator แล้วย้ายไปเก็บไว้ในหลอดทดลองภายใต้แก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ -20°C จนกว่าจะทำการ Methylation

น้ำนม

สุ่มเก็บน้ำนมดิบในวันที่ 0, 10, 20 และวันที่ 30 ของการทดลองทั้งช่วงเช้าและช่วงเย็น จากนั้นนำมารวมกันตามสัดส่วนของปริมาณน้ำนม นำไปปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ที่ความเร็ว 3000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 15 นาที ชั้นของไขมัน (Fat cake) จะแยกอยู่บนชั้นบนของน้ำนม แยกชั้นของไขมันออกมาเพื่อนำไปสกัดไขมันต่อไปตามวิธีการของ Kelly, KolverBauman, Van Amburgh, and Muller (1998) โดยนำชั้นของไขมันมาสกัดด้วย hexane-isopropanol (3:2 v/v) 18 ml/g fat cake เขย่าด้วย Vortex จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมซัลเฟต 6.7% (6.7% Na_2So_4) ปริมาตร 12 ml/ g fat cake ชั้นของ hexane จะแยกออกมาจากด้านบน ให้ทำการแยก hexane จากหลอดทดลองใส่ในทดลองที่เติมโซเดียมซัลเฟต (Na_2So_4) และทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที ทำการแยกตัวทำละลายออกจากไขมันโดยระเหยที่อุณหภูมิ 40°C ด้วย Rotary Evaporator แล้วย้ายไปเก็บภายใต้แก๊สไนโตรเจนที่อุณหภูมิ -20°C จนกว่าจะทำการ Methylation และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมัน (Fatty acid) โดยเครื่อง Gas Chromatography (GC)

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

1. การทำ saponification

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

ให้ความร้อนที่ 100°C ใน water bath เป็นเวลา 5 นาที ระหว่างนั้นควรเขย่าอย่างแรง 1-2 ครั้ง แล้วทำให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้องปรกติ การทำ Saponification ที่สมบูรณ์สังเกตจาก

การได้สารละลายใส ไม่มีหยดน้ำมันเหลือ

2. การทำ methylation

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

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

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

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

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

Condition of GC:

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

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

Detector: FID, 260°C

Injector: split 100:1, 250°C

4.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

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

4.5 สถานที่ทำการทดลองและระยะเวลาในการทำการทดลอง

ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อาคารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 3 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.6 ระยะเวลาทำการทดลอง

เริ่มการทดลองตั้งแต่วันที่ 17 พฤษภาคม 2551 ถึงวันที่ 23 ธันวาคม 2551

4.7 ผลการทดลอง

4.7.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารข้นและหญ้าหมักที่ใช้ในการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.2 โดยโคนมทั้งสามกลุ่มทดลองจะได้รับอาหารข้นที่มีคุณค่าทางโภชนะเหมือนกัน ซึ่งได้แก่ วัตถุแห้งมีค่าเท่ากับ 96.37% กล่าวคือความชื้นในอาหารข้นมีค่าเท่ากับ 3.73% โปรตีนมีค่าเท่ากับ 21.31%ไขมันมีค่าเท่ากับ 4.06% เถ้ามีค่าเท่ากับ 9.35% เยื่อใยมีค่าเท่ากับ 12.31% NFC มีค่าเท่ากับ 26.20% NDF มีค่าเท่ากับ 39.08% ADF มีค่าเท่ากับ 15.99% ADL มีค่าเท่ากับ 4.56% NDIN มีค่าเท่ากับ 1.10% NDINCP มีค่าเท่ากับ 6.87% ADIN มีค่าเท่ากับ 0.39% และ ADINCP มีค่าเท่ากับ 2.43%

สำหรับอาหารหยาบคือหญ้าหมัก พบว่า วัตถุแห้งมีค่าเท่ากับ 28.68% กล่าวคือความชื้นในหญ้าหมักมีค่าเท่ากับ 71.32% โปรตีนมีค่าเท่ากับ 5.11% ไขมันมีค่าเท่ากับ 1.40% เถ้ามีค่าเท่ากับ 8.13% เยื่อใยมีค่าเท่ากับ 36.24% NFC มีค่าเท่ากับ 14.70% NDF มีค่าเท่ากับ 70.66% ADF มีค่าเท่ากับ 55.72% ADL มีค่าเท่ากับ 4.58% NDIN มีค่าเท่ากับ 0.12% NDINCP มีค่าเท่ากับ 0.75% ADIN มีค่าเท่ากับ 0.17% และ ADINCP มีค่าเท่ากับ 1.06%

การศึกษาการย่อยสลายวัตถุแห้ง, การย่อยสลายโปรตีน, อัตราการย่อยสลายได้วัตถุแห้งและอัตราการย่อยสลายได้โปรตีนของอาหารข้นและหญ้าหมัก พบว่าเมื่อมีระยะเวลาของอาหารอยู่ในกระเพาะหมักนานขึ้น อาหารข้นและหญ้าหมักจะมีอัตราการย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักเพิ่มขึ้นตามเวลาที่บ่มในกระเพาะหมัก โดย *dg*DM ของอาหารข้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 60.9% และหญ้าหมักมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 37.3% อัตราการย่อยสลายได้โปรตีนในอาหารข้นและหญ้าหมัก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 69.4 และ 48.2% ตามลำดับ

เมื่อนำค่าองค์ประกอบทางเคมีของอาหารข้นและหญ้าหมักมาคำนวณหาค่าโภชนะย่อยได้ (TDN) พลังงานย่อยได้ (DE) พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (ME) และพลังงานสุทธิ (NE) ตามสมการ NRC (2001) ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ค่าโภชนะย่อยได้ของอาหารข้นและหญ้าหมัก มีค่า

เท่ากับ 65.83% และ 54.55% ตามลำดับ เช่นเดียวกับพลังงานย่อยได้ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.66 และ 2.49 Mcal/kgDM ตามลำดับ ส่วนพลังงานใช้ประโยชน์ได้ มีค่าเท่ากับ 2.21 และ 2.05 Mcal/kgDM ตามลำดับ และพลังงานสุทธิ มีค่าเท่ากับ 1.39 และ 1.21 Mcal/kgDM ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารข้นสำเร็จรูป และอาหารหยาบ (Mean ± SE)

% Dry matter	Concentrate	Grass silage
Dry matter	96.37 ± 0. 02	28.68 ± 0.04
Crude protein	21.31 ± 0.15	5.11 ± 0.02
Crude fat	4.06 ± 0.12	1.40 ± 0.14
Ash	9.35 ± 0.04	8.13 ± 1.12
Crude fiber	12.31 ± 0.11	36.24 ± 0.21
Crude NFC	26.20 ± 0.29	14.70 ± 0.07
NDF	39.08 ± 0.19	70.66 ± 0.11
ADF	15.99 ± 0.17	55.72 ± 0.15
ADL	4.56 ± 0.14	4.58 ± 0.05
NDIN	1.10 ± 0.01	0.12 ± 0.01
NDINCP	6.87 ± 0.01	0.75 ± 0.01
ADIN	0.39 ± 0.01	0.17 ± 0.02
ADINCP	2.43 ± 0.02	1.06 ± 0.02
*dg*DM	60.9	37.3
*dg*CP	69.4	48.2

หมายเหตุ: ADF = acid detergent fiber, ADICP = acid detergent insoluble crude protein, ADIN = acid detergent insoluble nitrogen, ADL = acid detergent lignin, NDF = neutral detergent fiber, NFC = non-fiber carbohydrate, NDIN = neutral detergent insoluble nitrogen, NDICP = neutral detergent insoluble crude protein, *dg*DM = effective degradability of dry matter, *dg*CP = effective degradability of crude protein

ตารางที่ 4.3 คุณค่าทางพลังงานในสูตรอาหารข้นสำเร็จรูป และข้าวโพดหมัก

% Dry matter	Concentrate	Grass silage
TDN_{1X} (%)[1]	65.83	54.55
DE_P (Mcal/kg)[2]	2.66	2.49
ME_P (Mcal/kg)[3]	2.21	2.05
NE_{LP} (Mcal/kg)[4]	1.39	1.21

หมายเหตุ :

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

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

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

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

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

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

ตารางที่ 4.4 การย่อยสลายวัตถุแห้งของอาหารข้นสำเร็จรูป และหญ้าหมัก

วัตถุดิบ	วัตถุแห้ง								
	0 ชั่วโมง	**2 ชั่วโมง**	**4 ชั่วโมง**	**6 ชั่วโมง**	**12 ชั่วโมง**	**24 ชั่วโมง**	**48 ชั่วโมง**	**72 ชั่วโมง**	***dg*DM**
Degradability of DM				**…….. (%) ……..**					
อาหารข้น 21% CP	37.4	48.9	51.1	53.2	58.5	64.9	77.1	-	60.9
หญ้าหมัก	15.4	21.8	24.5	27.7	38.1	42.3	55.9	60.2	37.3

หมายเหตุ : *dg* = Effective degradability of Dry matter

ตารางที่ 4.5 การย่อยสลายโปรตีนของอาหารข้นสำเร็จรูป และหญ้าหมัก

วัตถุดิบ	วัตถุแห้ง								
	0 ชั่วโมง	**2 ชั่วโมง**	**4 ชั่วโมง**	**6 ชั่วโมง**	**12 ชั่วโมง**	**24 ชั่วโมง**	**48 ชั่วโมง**	**72 ชั่วโมง**	***dg*CP**
Degradability of CP				**…….. (%) ……..**					
อาหารข้น 21% CP	54.9	59.4	61.9	67.3	69.4	73.2	77.8	-	69.4
หญ้าหมัก	27.1	30.4	36.7	48.7	50.1	52.9	56.3	60.5	48.2

หมายเหตุ : *dg* = Effective degradability of Crude protein

ตารางที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์การย่อยสลายวัตถุแห้งและการย่อยสลายโปรตีนของอาหารข้นสำเร็จรูป และอาหารหยาบ

Disappearance (%)	อาหารข้น 21% CP	หญ้าหมัก
DM Disappearance (%)		
A	47.2	18.8
B	50.5	45.5
C	0.019	0.035
A + B	97.7	64.3
Effective Disappearance (%)*	60.9	37.3
CP Disappearance (%)		
A	56.7	21.3
B	21.1	35.8
C	0.075	0.149
A + B	77.8	57.1
Effective Disappearance (%)*	69.4	48.2

หมายเหตุ: * Outflow rate (fraction/h) = 0.08

4.7.2 ปริมาณการกินได้ของโคนม

จากการทดลองปริมาณการกินได้โภชนะของโคนม เมื่อเปรียบเทียบตามกลุ่มการทดลองที่มีการเสริมไบโอตินในระดับ 0, 20 และ 40 มิลลิกรัม/ตัว/วัน แสดงดังตารางที่ 4.7 พบว่าปริมาณการกินได้วัตถุแห้งของอาหารข้นมีค่าเฉลี่ยเท่า 7.7 กิโลกรัมวัตถุแห้งต่อ/ตัว/วัน ตามลำดับทั้งสามกลุ่มทดลอง ปริมาณการกินได้วัตถุแห้งของอาหารหยาบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.39, 5.56 และ 5.17 กิโลกรัมวัตถุแห้ง/ตัว/วันตามลำดับ ปริมาณการกินได้วัตถุแห้งของอาหารรวมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.10, 13.27 และ 12.88 กิโลกรัมวัตถุแห้ง/ตัว/วันตามลำดับ และปริมาณการกินได้วัตถุแห้งต่อน้ำหนักตัว (g/kgW$^{0.75}$) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 215, 216 และ 215 g/kgW$^{0.75}$ ตามลำดับโดยพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ปริมาณการกินได้โปรตีนจากอาหารข้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,643 กรัม/ตัว/วัน ทั้งสามกลุ่มทดลอง และปริมาณการกินได้โปรตีนจากอาหารหยาบ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 275, 284 และ 264 กรัมวัตถุแห้ง/ตัว/วันตามลำดับ ปริมาณการกินได้โปรตีนจากอาหารรวมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1918, 1927 และ 1907 กรัมวัตถุแห้ง/ตัว/วัน ตามลำดับ และปริมาณการกินได้โปรตีนต่อน้ำหนักตัว

(g/kgW$^{0.75}$) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 22.30, 22.02 และ 22.01 g/kgW$^{0.75}$ ตามลำดับ โดยพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ปริมาณการกินได้พลังงานสุทธิต่อตัวต่อวัน พบว่าปริมาณการกินได้พลังงานสุทธิจากอาหารข้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.73 Mcal/ตัว/วัน ทั้งสามกลุ่ม ทดลอง ปริมาณการกินได้พลังงานสุทธิจากอาหารหยาบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.46, 6.66 และ 6.19 Mcal/ตัว/วัน ตามลำดับ ปริมาณการกินได้พลังงานสุทธิจากอาหารรวม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 20.20, 20.40 และ 19.93 Mcal/ตัว/วัน ตามลำดับ และปริมาณการกินได้พลังงานสุทธิต่อน้ำหนักตัว (g/kgW$^{0.75}$) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.235, 0.232 และ 0.231 g/kgW$^{0.75}$ ตามลำดับ ซึ่งพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ 4.7 ผลของการเสริมไบโอตินต่อปริมาณการกินได้ของโคนม

ปริมาณการกินได้วัตถุแห้ง	**Control**	**Tr1**	**Tr2**	**SEM**	**P-value**	**Contrast**	
	……..(kgDM/d)……					**L**	**Q**
อาหารข้น	7.7	7.7	7.7				
อาหารหยาบ	5.39	5.56	5.17	0.26	0.58	0.93	0.54
รวม	13.10	13.27	12.88	0.26	0.58	0.93	0.54
g/kg W$^{0.75}$	215	216	215	41.7	0.99	0.99	0.98
ปริมาณการกินได้โปรตีน	**…….. (g/d) ……**						
อาหารข้น	1643	1643	1643				
อาหารหยาบ	275	284	264	13.38	0.58	0.55	0.39
รวม	1918	1927	1907	13.38	0.58	0.55	0.39
g/kg W$^{0.75}$	22.30	22.02	22.01	0.43	0.86	0.64	0.79
ปริมาณการกินได้พลังงานสุทธิ	**…….. (Mcal/d)……**						
อาหารข้น	13.73	13.73	13.73				
อาหารหยาบ	6.46	6.66	6.19	0.31	0.57	0.55	0.39
รวม	20.20	20.40	19.93	0.31	0.58	0.55	0.39
Mcal/kg W$^{0.75}$	0.235	0.232	0.231	0.005	0.88	0.62	0.92

หมายเหตุ : SEM = standard error of the mean, Tr1 = 20 มิลลิกรัมไบโอติน/วัน, Tr2 = 40 มิลลิกรัมไบโอติน/วัน, Contrast = เปรียบเทียบความแตกต่างตามความสัมพันธ์แบบ Orthogonal contrast; L = linear; Q = quadratic

4.7.3 การประมาณค่าโปรตีนและพลังงานของโคนมที่ได้รับอาหารข้นสูตรทดลอง

การได้รับโปรตีนย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{sup}) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RUP_{sup}) ของโคนมที่ได้รับการเสริมไบโอตินที่ระดับ 0, 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อตัวต่อวัน ร่วมกับอาหารหยาบแสดงไว้ในตารางที่ 4.8 โดยประสิทธิภาพการย่อยสลายได้ของโปรตีน พบว่า RDP_{sup} มีค่าเท่ากับ 1241, 1245 และ 1335 กรัม/วัน ตามลำดับ และ RUP_{sup} มีค่าเท่ากับ 677, 681 และ 671 กรัม/วัน ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง ความต้องการโปรตีนย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{req}) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP_{req}) ที่สามารถคำนวณได้จากสมการของ NRC (2001) แสดงไว้ในตารางที่ 4.8 พบว่าความต้องการโปรตีนย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{req}) ของโคนมในกลุ่มควบคุม มีค่าเท่ากับ 1226 กรัม/วัน โคนมในกลุ่มการทดลองที่ 1 มีค่าเท่ากับ 1,240 กรัม/วัน และโคนมในกลุ่มการทดลองที่ 2 มีค่าเท่ากับ 1,207 กรัม/วัน ซึ่งทั้งสามกลุ่มการทดลองได้รับ RDP_{sup} เกินความต้องการเท่ากับ 14.71, 5.25 และ 27.62 กรัม/วัน ตามลำดับ ในส่วนของความต้องการโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RUP_{req}) พบว่าโคนมในกลุ่มควบคุม โคนมในกลุ่มการทดลองที่ 1 และโคนมในกลุ่มการทดลองที่ 2 ได้รับ RUP_{req} เท่ากับ 1,110, 1,107 และ 1,161 กรัม/วัน ตามลำดับ ซึ่งพบว่าโคนมในทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง ได้รับ RUP_{sup} ไม่เพียงพอต่อความต้องการเท่ากับ -433, -426 และ -489 กรัม/วัน ตามลำดับ ซึ่งพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ระหว่าง 3 กลุ่มการทดลอง นอกจากนี้โปรตีนที่ได้รับจากจุลินทรีย์โปรตีน เท่ากับ 1,042, 1,054 และ1,026 กรัม/วัน ตามลำดับ และความต้องการโปรตีนทั้งหมด มีค่าเท่ากับ 1,315, 1,322 และ1,332 กรัม/วัน ตามลำดับ พบว่าโปรตีนที่ได้รับจากจุลินทรีย์และความต้องการโปรตีนทั้งหมด ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ของทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง

การจำแนกพลังงานใช้ประโยชน์เพื่อกิจกรรมต่าง ๆ ของโคนมที่ได้รับการเสริมไบโอตินที่ระดับ 0, 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อตัวต่อวัน ตามสมการ NRC (2001) ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.9 พบว่าการกินได้ของพลังงานสุทธิ (NE_L intake) มีค่าเท่ากับ 20.20, 20.40 และ 19.93 Mcal/วัน ตามลำดับ ในส่วนของพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (NE_{LM}) ของอาหารทั้ง 3 สูตร มีค่าเท่ากับ 6.89, 7.01 และ 6.95 Mcal/วัน ตามลำดับ พลังงานสุทธิเพื่อการผลิตน้ำนม (NE_{LL}) มีค่าเท่ากับ 7.76, 7.70 และ8.04 Mcal/วัน ตามลำดับ พลังงานสุทธิเพื่อการเพิ่มน้ำหนักตัว (NE_{LG}) มีค่าเท่ากับ 1.60, 1.64 และ1.63 Mcal/วัน ตามลำดับ พลังงานสุทธิสะสม (NE_{LR}) มีค่าเท่ากับ 16.25, 16.36 และ 16.63 Mcal/วันตามลำดับ และประสิทธิภาพการใช้พลังงานมีค่าเท่ากับ 0.74, 0.74 และ 0.80 ตามลำดับ โดยพบว่าพลังงานที่โคนมต้องการเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ และพลังงานที่โคนมได้รับจากอาหารนั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางที่ 4.8 ปริมาณของโปรตีนที่ได้รับจากอาหารและความโคนมต้องการ

	Control	Tr1	Tr2	SEM	P-value	Contrast	
	……. (g/head/day)……					L	Q
ความต้องการ RDP_{req}	1226	1240	1207	21.84	0.58	0.55	0.39
(RDP_{sup}) จากอาหาร	1241	1245	1335	6.82	0.58	0.55	0.39
ขาด/เกิน	14.71	5.25	27.62	15.02	0.58	0.55	0.39
โปรตีนที่ได้รับจากจุลินทรีย์โปรตีน (MCP)	1042	1054	1026	18.56	0.58	0.55	0.39
ความต้องการโปรตีนทั้งหมด (MP_R)	1315	1322	1332	32.96	0.93	0.72	0.96
ความต้องการ RUP_{req}	1110	1107	1161	53.81	0.73	0.51	0.67
(RUP_{sup}) จากอาหาร	677	681	671	6.55	0.58	0.55	0.39
ขาด/เกิน	-433	-426	-489	53.22	0.65	0.46	0.59

หมายเหตุ : SEM = standard error of the mean, Tr1 = 20 มิลลิกรัมไบโอติน/วัน, Tr2 = 40 มิลลิกรัมไบโอติน/วัน, Contrast = เปรียบเทียบความแตกต่างตามความสัมพันธ์แบบ Orthogonal contrast; L = linear; Q = quadratic

ตารางที่ 4.9 พลังงานที่โคนมต้องการเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ และที่โคนมได้รับจากอาหาร

	Control	Tr1	Tr2	SEM	P-value	Contrast	
	……..(Mcal/day)……					L	Q
การกินได้พลังงานสุทธิ (NE_L intake)	20.20	20.40	19.93	0.31	0.57	0.55	0.39
พลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (NE_{LM})	6.89	7.01	6.95	0.14	0.82	0.75	0.60
พลังงานสุทธิเพื่อการผลิตน้ำนม (NE_{LL})	7.76	7.70	8.04	0.20	0.48	0.35	0.44
พลังงานสุทธิเพื่อการเพิ่มน้ำหนักตัว (NE_{LG})	1.60	1.64	1.63	0.32	0.99	0.94	0.94
พลังงานสุทธิสะสม (NE_{LR})	16.25	16.36	16.63	0.36	0.75	0.47	0.84
ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Efficiency)	0.74	0.74	0.80	0.02	0.28	0.18	0.37

หมายเหตุ: SEM = standard error of the mean, Tr1 = 20 มิลลิกรัมไบโอติน/วัน, Tr2 = 40 มิลลิกรัมไบโอติน/วัน, Contrast = เปรียบเทียบความแตกต่างตามความสัมพันธ์แบบ Orthogonal contrast; L = linear; Q = quadratic

4.7.4 น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง

น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลงของโคนมที่ได้รับการเสริมไบโอตินในระดับ 0, 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อตัวต่อวัน แสดงไว้ในตารางที่ 4.10 พบว่าน้ำหนักตัวของโคนมก่อนการทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 371, 380 และ 375 กิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนน้ำหนักตัวหลังสิ้นสุดการทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 390, 399 และ 394 กิโลกรัม ตามลำดับ และน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 620, 637 และ 633 กรัมต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งจากการทดลองพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ของโคนมทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง

ตารางที่ 4.10 ผลของการเสริมไบโอตินในโคนมต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว

น้ำหนัก (กิโลกรัม)	Treatment			SEM	P-value	Contrast	
	Control	Tr1	Tr2			L	Q
ก่อนการทดลอง	371	380	375	9.77	0.81	0.74	0.58
หลังการทดลอง	390	399	394	10.97	0.30	0.23	0.31
น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง (กรัม/วัน)	620	637	633	127.27	0.99	0.94	0.94

หมายเหตุ: SEM = standard error of the mean, Tr1 = 20 มิลลิกรัมไบโอติน/วัน, Tr2 = 40 มิลลิกรัมไบโอติน/วัน, Contrast = เปรียบเทียบความแตกต่างตามความสัมพันธ์แบบ Orthogonal contrast; L = linear; Q = quadratic

4.7.5 ปริมาณน้ำนมและปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม

ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม แสดงดังตารางที่ 4.11 พบว่าโคนมกลุ่มควบคุม กลุ่มการทดลองที่ 1 และกลุ่มการทดลองที่ 2 ที่ได้รับการเสริม biotin ที่ 0, 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อตัวต่อวันนั้น โคนมมีผลผลิตน้ำนมเท่ากับ 11.34, 10.96 และ 11.40 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ ปริมาณน้ำนมปรับไขมัน 3.5% เท่ากับ 12.13, 12.04 และ 12.62 ตามลำดับ ปริมาณไขมันนมเท่ากับ 446, 450 และ 474 กรัมต่อวัน ตามลำดับ ปริมาณโปรตีนนมเท่ากับ 310, 305 และ 312 กรัมต่อวัน ตามลำดับ ปริมาณแล็คโตสเท่ากับ 485, 467 และ 486 กรัมต่อวัน ตามลำดับ ปริมาณของแข็งพร่องไขมัน 911, 880 และ 920 กรัมต่อวัน ตามลำดับ ปริมาณของแข็งรวมในนม 1357, 1330 และ 1394 กรัมต่อวัน ตามลำดับ พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

เปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบน้ำนมแสดงไว้ในตารางที่ 4.12 โดยพบว่า ไขมันนมมีค่าเท่ากับ 3.93, 4.10 และ 4.18% ตามลำดับ โปรตีนนมมีค่าเท่ากับ 2.74, 2.81 และ 2.86% ตามลำดับ แล็คโตสมีค่าเท่ากับ 4.30, 4.27 และ 4.29%ตามลำดับ ของแข็งพร่องในไขมัน (solid not fat) มีค่า

เท่ากับ 8.04, 8.04 และ 8.09% ตามลำดับ ของแข็งในน้ำนม (total solid) มีค่าเท่ากับ 11.97, 12.14 และ 12.26% ตามลำดับ ซึ่งพบว่าเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ 4.11 ผลของการเสริมไบโอตินต่อปริมาณผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมในโคนม

ปริมาณน้ำนม	Control	Tr1	Tr2	SEM	P-value	Contrast	
	..... (kg/day).....					L	Q
ปริมาณน้ำนม	11.34	10.96	11.40	0.26	0.47	0.87	0.23
ปริมาณน้ำนมปรับไขมัน 3.5%	12.13	12.04	12.62	0.30	0.37	0.27	0.38
องค์ประกอบของน้ำนม	..... (g/day)						
ปริมาณไขมันนม	446	450	474	15.36	0.38	0.20	0.60
โปรตีนนม	310	305	312	11.45	0.90	0.90	0.67
ปริมาณแล็คโตส	485	467	486	11.18	0.42	0.95	0.19
ปริมาณของแข็งพร่องไขมัน	911	880	920	22.38	0.43	0.78	0.21
ปริมาณของแข็งรวมในนม	1357	1330	1394	34.50	0.43	0.45	0.29

หมายเหตุ: SEM = standard error of the mean, Tr1 = 20 มิลลิกรัมไบโอติน/วัน, Tr2 = 40 มิลลิกรัมไบโอติน/วัน, Contrast = เปรียบเทียบความแตกต่างตามความสัมพันธ์แบบ Orthogonal contrast; L = linear; Q = quadratic

ตารางที่ 4.12 ผลของการเสริมไบโอตินต่อองค์ประกอบของน้ำนมในโคนม

เปอร์เซ็นต์	Control	Tr1	Tr2	SEM	P-value	Contrast	
	…….. (%) ……					L	Q
ไขมันนม	3.93	4.10	4.18	0.13	0.45	0.22	0.77
โปรตีนนม	2.74	2.81	2.76	0.10	0.89	0.92	0.64
แล๊คโตส	4.30	4.27	4.29	0.04	0.90	0.83	0.69
ของแข็งพร่องไขมัน	8.04	8.04	8.09	0.14	0.96	0.82	0.88
ของแข็งรวมในนม	11.97	12.14	12.26	0.26	0.73	0.44	0.94

หมายเหตุ: SEM = standard error of the mean, Tr1 = 20 มิลลิกรัมไบโอติน/วัน, Tr2 = 40 มิลลิกรัมไบโอติน/วัน, Contrast = เปรียบเทียบความแตกต่างตามความสัมพันธ์แบบ Orthogonal contrast; L = linear; Q = quadratic

4.7.6 องค์ประกอบของกรดไขมันในสูตรอาหารและในน้ำนม (% of total fatty acids)

ปริมาณของกรดไขมันมันในอาหารข้นและหญ้าหมักที่ใช้ในการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.13 พบว่า C14:0 มีค่าเท่ากับ 4.98 และ 2.07 ตามลำดับ C16:0 มีค่าเท่ากับ 13.93 และ 18.52 ตามลำดับ C18:0 มีค่าเท่ากับ 2.71 และ 4.86 ตามลำดับ C18:1n9c มีค่าเท่ากับ 23.65 และ 4.59 ตามลำดับ C18:2n6c มีค่าเท่ากับ 17.93 และ 9.88 ตามลำดับ C18:3n6 มีค่าเท่ากับ 0.12 และ 0.19 ตามลำดับ C20:0 มีค่าเท่ากับ 0.66 และ 0.93 ตามลำดับ C20:1n9 มีค่าเท่ากับ 2.74 และ 12.15 ตามลำดับ และไขมันชนิดอื่นๆ 33.22 และ 46.79 ตามลำดับ

ปริมาณสัดส่วนของกรดไขมันในน้ำนมของโคนมที่ได้รับการเสริมไบโอตินที่ระดับ 0, 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อตัวต่อวันแสดงดังตารางที่ 4.14 พบว่า ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ของปริมาณกรดไขมันตั้งแต่ C4:0 จนถึง C22:2 รวมไปถึง Short chain FA (C4:0 – C13:0), Medium chain FA (C14:0 – C17:0) Long chain FA (> C18:0) Saturated FA และ Unsaturated FA แต่พบว่าปริมาณของกรดไขมัน C4:0 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระดับการเสริมของไบโอตินเพิ่มขึ้นซึ่งค่าความแตกต่างดังกล่าวมีความสัมพันธ์แบบเส้นโค้งกำลังสอง (Quadratic contrast)

ตารางที่ 4.13 ปริมาณของกรดไขมันในสูตรอาหารข้นและหญ้าหมัก (% of total fatty acids)

Fatty acid profile	Concentrate	Grass silage
C14:0	4.98	2.07
C16:0	13.93	18.52
C18:0	2.71	4.86
C18:1n9c	23.65	4.59
C18:2n6c	17.93	9.88
C18:3n6	0.12	0.19
C20:0	0.66	0.93
C20:1n9	2.74	12.15
Other	33.22	46.70

ตารางที่ 4.14 ผลของการเสริมไบโอตินต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำนม

Fatty acid profile	Control	Tr1	Tr2	SEM	P-value	Contrast	
	… (% of total fatty acids)...					L	Q
C4:0	2.0	1.29	1.99	0.13	0.06	0.99	0.01
C6:0	0.39	0.36	0.34	0.07	0.89	0.64	0.93
C8:0	0.93	0.86	0.83	0.06	0.56	0.47	0.42
C10:0	1.91	1.80	1.78	0.14	0.79	0.62	0.64
C11:0	0.02	0.03	0.07	0.02	0.49	0.28	0.62
C12:0	8.86	8.23	7.74	0.49	0.30	0.12	0.90
C13:0	0.06	0.06	0.07	0.005	0.19	0.08	0.64
C14:0	13.05	13.25	13.02	0.44	0.92	0.96	0.69
C14:1	1.88	1.69	1.21	0.32	0.35	0.16	0.72
C15:0	0.75	0.83	0.75	0.02	0.11	0.99	0.03
C16:0	30.58	31.16	30.63	0.59	0.74	0.95	0.45
C16:1	1.69	1.67	1.65	0.14	0.97	0.81	0.98

ตารางที่ 4.14 (ต่อ)

Fatty acid profile	Control	Tr1	Tr2	SEM	P value	Contrast	
	…(% of total fatty acids)…					L	Q
C18:0	9.72	10.78	10.61	0.83	0.63	0.45	0.55
C18:1n9t	2.26	2.06	2.23	0.12	0.44	0.84	0.21
C18:1n9c	23.82	24.36	25.35	0.93	0.51	0.26	0.84
C18:2n6t	0.063	0.075	0.065	0.007	0.56	0.91	0.29
C18:2n6c	1.28	1.01	0.89	0.11	0.06	0.10	0.08
C18:3n6	0.10	0.09	0.10	0.004	0.55	0.83	0.29
C20:0	0.17	0.21	0.23	0.01	0.11	0.63	0.04
C20:1n9	0.17	0.14	0.13	0.009	0.06	0.05	0.12
C18:3n3	0.10	0.09	0.10	0.003	0.55	0.83	0.29
C20:3n6	0.04	0.05	0.05	0.003	0.13	0.10	0.22
C22:0	0.05	0.06	0.06	0.007	0.73	0.58	0.57
C22:2	0.01	0.01	0.01	0.002	0.79	0.73	0.56
Short	14.21	12.91	12.60	0.68	0.23	0.19	0.26
Medium	47.97	48.63	47.16	0.95	0.56	0.55	0.37
Long	37.80	38.76	39.55	1.35	0.66	0.37	0.96
Saturated	68.60	68.69	68.11	1.64	0.86	0.73	0.68
Unsaturated	31.10	31.85	31.88	1.11	0.85	0.62	0.79

หมายเหตุ : SEM = standard error of the mean, Tr1 = 20 มิลลิกรัมไบโอติน/วัน, Tr2 = 40 มิลลิกรัมไบโอติน/วัน, Short chain FA: (C4:0 – C13:0), Medium chain FA: (C14:0 – C17:0) Long chain FA: (> C18:0) Saturated FA, Unsaturated FA, Contrast = เปรียบเทียบความแตกต่างตามความสัมพันธ์แบบ Orthogonal contrast; L = linear; Q = quadratic

4.8 วิจารณ์ผลการทดลอง

4.8.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของอาหารสัตว์ทดลอง พบว่าอาหารข้นมีองค์ประกอบทางเคมี คือ เปอร์เซ็นต์โปรตีนเท่ากับ 21.31% ซึ่งสูงกว่าระดับของ NRC (2001) ที่แนะนำว่าโคที่อยู่ในระยะแรกของการให้น้ำนมที่มีปริมาณน้ำนมไม่เกิน 15 กิโลกรัมต่อวัน มีโปรตีนนมเฉลี่ยไม่เกิน 3% และมีไขมันนมเฉลี่ยไม่เกิน 4.5% ควรจะได้รับอาหารข้นที่มีโปรตีนที่ระดับ 16.3% เปอร์เซ็นต์ ไขมันมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.06 อยู่ในช่วงที่ NRC, (2001) แนะนำคือที่ระดับ 3% แต่ไม่เกิน 5% ซึ่งเป็นระดับที่ไม่ส่งผลต่อการย่อยเซลลูโลสในกระเพาะหมักและมีค่าใกล้เคียงกับ ณัฐนิตย์ ป่วนปาน (2550) และ พิมลทิพย์ จันทร์พานิชเจริญ (2546) ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ไขมันในอาหารข้นเท่ากับ 2.69 และ 4.97% ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์เยื่อใยมีค่าเท่ากับ 12.31% ซึ่งพบว่ามีค่าใกล้เคียงกับ ณัฐนิตย์ ป่วนปาน (2550) และ พิมลทิพย์ จันทร์พานิชเจริญ (2546) ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์เยื่อใยในอาหารข้นเท่ากับ 12.23 และ 11.38% ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใย (NFC) มีค่าเท่ากับ 26.20% ซึ่งพบว่าต่ำกว่าที่ระดับของ NRC (2001) แนะนำคือ ที่ระดับ 36-44%

เปอร์เซ็นต์เยื่อใยที่ไม่ละลายในตัวทำละลายที่เป็นกลาง (NDF) มีค่าเท่ากับ 39.08% ซึ่งพบว่าสูงกว่ารายงานของ ณัฐนิตย์ ป่วนปาน (2550) และ NRC (2001) คือที่ระดับ 31.43% และ 36-44% ตามลำดับ ซึ่งพบว่า NDF มีคุณสมบัติทางกายภาพในการเพิ่มการเคี้ยวเอื้อง และเพิ่มความเป็น buffer ซึ่งจะทำให้ระดับของ pH ในกระเพาะหมักมีความสมดุลมากขึ้น เปอร์เซ็นต์เยื่อใยที่ไม่ละลายในตัวทำละลายที่เป็นกรด (ADF) มีค่าเท่ากับ 15.99 ซึ่งพบว่ามีค่าต่ำกว่ารายงานของ ณัฐนิตย์ ป่วนปาน (2550) คือที่ระดับ 18.16% และ NRC (2001) แนะนำคือ 17-21% ในสูตรอาหารเปอร์เซ็นต์ NDIN มีค่าเท่ากับ 1.10% ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ ชิดชนก นวลฉิมพลี (2548) ที่รายงานไว้ที่ระดับ 1.19% และ ADIN มีค่าเท่ากับ 0.39% ซึ่งต่ำกว่ารายงานของ ณัฐนิตย์ ป่วนปาน (2550) ที่รายงานไว้ที่ระดับ 0.82% (NDICP มีค่าเท่ากับ 6.87% และ ADICP มีค่าเท่ากับ 2.43%)

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารหยาบ คือ หญ้าหมัก พบว่า มีค่าเฉลี่ยของ วัตถุแห้ง, โปรตีน, ไขมัน, เถ้า, เยื่อใย, NFC, NDF, ADF, ADL, NDIN และ ADIN เท่ากับ 28.68, 5.11, 1.40, 8.13, 36.24, 14.70, 70.66, 55.72, 4.58, 0.12 และ 0.17% ตามลำดับ ซึ่งพบว่าค่า NFC มีค่าสูงกว่ารายงานของ ณัฐนิตย์ ป่วนปาน (2550) ประมาณ 18% และมีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์เยื่อใยและ ADF สูงกว่ารายงานของ พิมลทิพย์ จันทร์พานิชเจริญ (2546) ประมาณ 13 และ 22% ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง โปรตีน ไขมัน เถ้า มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยดังกล่าว

อัตราการย่อยสลายของวัตถุแห้ง (dgDM) ในอาหารข้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 60.9% พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับ ณัฐนิตย์ ป่วนปาน (2550) และชิดชนก นวลฉิมพลี (2548) ที่รายงานไว้ที่ระดับ 60 และ 55.39% ตามลำดับ หญ้าหมักมีค่าเท่ากับ 37.3% ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับรายงานของ ณัฐ

นิตย์ ป่วนปาน (2550) ที่รายงานไว้ที่ 38.5% และอัตราการย่อยสลายของโปรตีน (dgCP) ในอาหารข้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 69.4 ซึ่งพบว่ามีค่าใกล้เคียง ณัฐนิตย์ ป่วนปาน (2550) และและชิดชนก นวลฉิมพลี (2548) ที่รายงานไว้ที่ 65.3 และ 67.71 ส่วนในอาหารหยาบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 48.2% ใกล้เคียงกับรายงานของณัฐนิตย์ ป่วนปาน (2550) ที่รายงานไว้ที่ 51.1%

เมื่อนำผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีไปคำนวณหาค่าพลังงานประเภทต่าง ๆ ตามสมการของ NRC (2001) พบว่าอาหารข้นและหญ้าหมักมีพลังงานในรูปของโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (Total digestible nutrient, TDN_{1X}) เท่ากับ 65.83 และ 54.55% ทั้งนี้ค่า TDN_{1X} อาจขึ้นกับอายุในการเก็บเกี่ยวและชนิดของวัตถุดิบที่นำมาประกอบในสูตรอาหารข้นและของหญ้าหมักเอง ซึ่งโคนมทั้งสามกลุ่มทดลองจะได้รับในปริมาณที่เท่ากันเพราะใช้อาหารข้นและหญ้าหมักชนิดเดียวกันในการทดลอง

4.8.2 ปริมาณการกินได้ของโคนม

ปริมาณการกินได้ของโคนมเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการให้ผลผลิตของโคนมซึ่งเกี่ยวข้องกันการได้รับโภชนะในอาหาร จากการทดลองวัดการกินได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.7 พบว่าปริมาณการกินได้วัตถุแห้งของโคนมทั้งอาหารข้นและอาหารหยาบของทั้งสามกลุ่มการทดลองพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดย Zimmerly and Weiss (2001) รายงานว่าไม่พบความแตกต่างของการกินได้ในโคนมที่มีจำนวนวันของการให้นมไม่เกิน 100 ที่ได้รับการเสริมไบโอตินที่ระดับ 0, 10 และ 20 มิลลิกรัมต่อตัวต่อวัน แต่ Midla, Hoblet, Weiss, and Moeschberger (1998); Bergsten, Greenough, Gay, Dobson, and Gay (2003) พบว่า การเสริมไบโอตินมีผลทำให้การกินได้ของโคเพิ่มขึ้นโดยให้เหตุผลว่าไบโอตินลดปัญหาที่เกิดกับกีบเท้าของโค ทำให้โคสุขภาพแข็งแรงและสามารถกินอาหารได้เพิ่มขึ้น แต่โคที่ใช้ในงานทดลองครั้งนี้ได้รับการดูแลรักษาสุขภาพกีบเป็นประจำ โดยการตัดแต่งกีบและแช่กีบเท้าในสารละลาย $CuSO_4$ สัปดาห์ละ 2 ครั้ง จึงทำให้โคไม่มีปัญหาเกี่ยวกับสุขภาพกีบ และไม่ส่งผลต่อการกินได้ของวัตถุแห้งในโค ปริมาณการกินได้ของโปรตีนและพลังงานก็มีผลไปในทิศทางเดียวกันกับการกินได้ของวัตถุแห้ง คือ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งสามกลุ่มทดลอง ทั้งนี้ในการทดลองมีการกินได้ของอาหารข้นในปริมาณที่เท่ากัน ซึ่งพบว่าในอาหารข้นมีโปรตีนและพลังงาน TDN สูงกว่าอาหารหยาบมาก ดังนั้นการกินได้ของอาหารหยาบจึงเป็นตัวแปรในการได้รับโปรตีนและพลังงาน TDN ซึ่งจากการทดลองที่พบว่าการกินได้วัตถุแห้งของอาหารหยาบที่ไม่แตกต่างกัน จึงส่งผลให้การกินได้ของพลังงาน TDN และโปรตีนไม่แตกต่างกัน

4.8.3 การประมาณค่าโปรตีนและพลังงานของโคนมที่ได้รับอาหารข้นสูตรทดลอง

ผลของโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{sup}) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP_{sup}) ของโคนมที่ได้รับจากอาหารข้นและหญ้าหมัก พบว่า RDP_{sup} และRUP_{sup}

ที่ศึกษาไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง ทั้งนี้ผลเนื่องมาจากการกินได้ของโคนมทั้ง 3 กลุ่มการทดลองไม่แตกต่างกัน จึงส่งผลให้ได้รับ RDP_{sup} และ RUP_{sup} ทั้ง 3 กลุ่มการทดลองไม่แตกต่างกัน ความต้องการโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{req}) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP_{req}) ที่คำนวณตามสมการ NRC (2001) แสดงไว้ในตารางที่ 4.8 พบว่าโคนมได้รับโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{sup}) เกินความต้องการของโคนมกล่าวคือ 14.71, 5.25 และ 27.62 กรัมต่อตัวต่อวัน ในกลุ่มควบคุม กลุ่มการทดลองที่ 1 (20 มิลลิกรัมไบโอตินต่อวัน) และกลุ่มการทดลองที่ 2 (40 มิลลิกรัมไบโอตินต่อวัน) ตามลำดับ ซึ่งพบว่าโคได้ที่รับอาหารที่มีโปรตีนที่สามารถย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักสูงกว่าจะส่งผลให้ปริมาณการกินได้สูงกว่าโคที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนที่สามารถย่อยสลายได้น้อยในกระเพาะหมัก Claypool, Pangbornand, and Adams (1980) พบว่าสาเหตุที่โปรตีนไปมีผลต่อปริมาณการกินได้เป็นเพราะว่าโคที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนสูงกว่าจะทำให้จุลินทรีย์ที่อยู่ในกระเพาะหมักได้รับไนโตรเจนเพียงพอต่อการเจริญเติบโต ซึ่งจะส่งผลให้การย่อยได้สูงขึ้นการไหลผ่านของอาหารจากกระเพาะหมักก็เพิ่มสูงขึ้นทำให้โคสามารถกินอาหารได้มากขึ้น ส่วนการได้รับโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก RUP_{sup} พบว่าโคนมทั้ง 3 กลุ่มทดลองได้รับ RUP_{sup} ไม่เพียงพอต่อความต้องการ ซึ่งอาจแก้ไขปัญหาได้โดยการใช้ by pass protein เพื่อให้สัตว์ได้รับโปรตีนตามที่ต้องการ โดย by pass protein เป็นอาหารโปรตีนที่คงตัวอยู่ในกระเพาะรูเมน ไม่ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ เรียกโปรตีนชนิดนี้ว่า โปรตีนห่อหุ้มหรือโปรตีนไหลผ่าน (By-pass protein) โปรตีนชนิดนี้ จะถูกย่อยสลายที่กระเพาะแท้หรือกระเพาะอะโบมาซัมและลำไส้เล็ก มีความสำคัญต่อโคนมมาก โดยเฉพาะโคนมที่ให้ผลผลิตสูง ๆ เนื่องจากโปรตีนจากจุลินทรีย์อย่างเดียวไม่พอสำหรับสร้างน้ำนม อาหารชนิดหนึ่ง ๆ จะมีทั้งส่วนที่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมักและไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก โดยปรกติเมล็ดธัญพืช หากผ่านขบวนการที่ทำให้คุณสมบัติทางเคมีหรือกายภาพเปลี่ยนไป จะทำให้มีคุณสมบัติเป็นโปรตีนไหลผ่านมากขึ้น ทั้งโปรตีนที่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมักและโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก มีความสำคัญต่อการผลิตน้ำนมของโคนม โปรตีนที่ถูกย่อยในกระเพาะหมักจำเป็นต่อจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก การหมักจะเกิดไม่สมบูรณ์ถ้าไม่มีโปรตีนชนิดนี้ ส่วนโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก จะเป็นแหล่งของกรดอะมิโนหลายชนิดที่ จุลินทรีย์ผลิตได้ไม่เพียงพอ โปรตีนย่อยสลายในกระเพาะหมัก ควรมีอยู่ในสูตรอาหารประมาณ 60-65% ส่วนโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก ควรมีในสูตรอาหาร 35-40%

การเสริมไบโอตินไม่มีผลต่อการกินได้ของพลังงานสุทธิ (NE_{intake}) และพลังงานที่โคต้องการเพื่อใช้ในกิจกรรมต่างๆ (Ne_{LM}, NE_{LL}, NE_{LG} และ NE_{LR}) รวมไปถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

4.8.4 น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง

การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวของโคนมในการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.10 ซึ่งพบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05) ของน้ำหนักตัวก่อนการทดลอง หลังการทดลอง และอัตราการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว (Body weight change, BWC) ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจาก การกินได้ของวัตถุแห้งในโคนมทั้งสามกลุ่มทดลองไม่มีความแตกต่างกัน จึงไม่ส่งผลให้น้ำหนักตัวของโคนมไม่แตกต่างกันด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Rosendo et al. (2004) ซึ่งพบว่าการเสริมไบโอตินที่ระดับ 0 และ 20 มิลลิกรัมต่อวันไม่ส่งผลต่อน้ำหนักตัวของโคนม

4.8.5 ปริมาณน้ำนมและปริมาณองค์ประกอบของน้ำนม

ผลของการเสริมไบโอตินไม่ส่งผลให้ปริมาณน้ำนมในโคนมทั้งสามกลุ่มทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลอง Ferriera and Weiss (2007) ที่ไม่พบความแตกต่างของปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมระหว่างโคนมที่ไม่ได้รับการเสริมไบโอตินและได้รับการเสริม 0.96 มิลลิกรัม/kg of DM ซึ่งการเสริมไบโอตินแล้วไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการให้ผลผลิตของโคนมในการทดลองครั้งนี้นั้นน่ามาจากหลายสาเหตุ คือ โคนมมีการกินได้ของวัตถุแห้งที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงทำให้ไม่ส่งผลต่อผลผลิตน้ำนม และการที่โคนมที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีผลผลิตน้ำนมที่ต่ำเกินไปรวมไปถึงโคนมได้รับอาหารข้น 8 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน ซึ่งถือมีปริมาณสูงเมื่อเทียบกับปริมาณของผลผลิตน้ำนมในแต่ละวัน เพราะพลังงานและโภชนะที่โคนมได้รับจากอาหารก็เพียงพออยู่แล้ว นอกจากนี้โคยังได้รับไบโอตินจากการสังเคราะห์โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักอยู่แล้ว การเสริมไบโอตินจึงไม่ทำให้ศักยภาพในการให้ผลผลิตน้ำนมของโคนมเพิ่มสูงขึ้น

ไม่มีความแตกต่างของปริมาณไขมันนมในทั้งสามกลุ่มการทดลองคือ กลุ่มควบคุม กลุ่มการทดลองที่ 1 และกลุ่มการทดลองที่ 2 ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Rosendo et al. (2004); Majee, Schwab, Bertics, Seymour, and Shaver (2003) แต่ Steinberg, Kluenter, Bohn, Griggio, and Schuep (1995) พบว่าไบโอตินเป็น Cofactor และส่งเสริมให้มีการหลั่ง acetyl-CoA carboxylase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ถูกใช้ในขั้นตอนแรกของการสังเคราะห์กรดไขมันจาก Acetate และกรดไขมันในน้ำนมจากต่อมสร้างน้ำนมซึ่งน่าจะทำให้ไขมันในน้ำนมเพิ่มขึ้น ปริมาณโปรตีน แล็คโตส ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05) เมื่อเปรียบเทียบกันทั้งสามกลุ่มทดลอง ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Zimmerly and Weiss (2001) และ Majee at al. (2003) แต่ในงานทดลองที่เสริมไบโอตินแล้วให้ผลในทางบวกต่อองค์ประกอบทางเคมีในน้ำนม Baldwin (1995) ให้เหตุผลว่าไบโอตินจะช่วยให้การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก โดยทั้ง จุลินทรีย์ Cellulolytic bacteria และ Saccharolytic yeast ต่างก็ต้องการไบโอตินช่วยในการย่อย cellulose เพื่อที่จะสร้างเป็น propionate โดย Rosendo et al. (2004) รายงานว่าการเสริมไบโอตินช่วยให้การย่อยเยื่อใยได้

สูงขึ้น และการที่จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักเจริญเติบโตดีก็จะส่งผลให้มีปริมาณของจุลินทรีย์โปรตีนเพิ่มสูงขึ้นด้วย

ปริมาณของแข็งพร่องไขมัน และของแข็งรวมในนมพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระหว่างโคทั้งสามกลุ่มการทดลอง โดยพบว่าในโคที่ให้น้มลดลง คุณภาพของน้ำนมจะสูงขึ้น คือเปอร์เซ็นต์ไขมันและโปรตีนจะเปลี่ยนแปลงมาก เปอร์เซ็นต์แล็คโตสค่อนข้างคงที่ และเปอร์เซ็นต์ของแข็งพร่องไขมันในน้ำนมสูงขึ้น (ชวนิศนดากร วรวรรณ, 2534)

4.8.6 องค์ประกอบของกรดไขมันในสูตรอาหารและในน้ำนม

กรดไขมันในอาหารสัตว์พบว่า อาหารข้นนั้นมีกรดไขมัน C14:0, C16:0 และ C20:0 เท่ากับ 4.98, 13.93 และ 0.66% ของปริมาณกรดไขมันทั้งหมด ตามลำดับ ซึ่งพบว่ามีค่าต่ำกว่ารายงานของ ณัฐนิตย์ ป่วนปาน (2550) ที่รายงานไว้ที่ระดับ 9.67, 18.53 และ 1.60% ของปริมาณกรดไขมันทั้งหมด ตามลำดับ ส่วนกรดไขมันชนิดอื่น ๆ มีค่าใกล้เคียงกัน ดังตารางที่ 4.13 ส่วนองค์ประกอบของกรดไขมันในหญ้าหมัก พบว่า C16:0 และ C20:0 มีค่าเท่ากับ 18.52 และ 093% ของปริมาณกรดไขมันทั้งหมด ซึ่งพบว่ามีค่าต่ำกว่ารายงานของ ณัฐนิตย์ ป่วนปาน (2550) ที่รายงานไว้ที่ระดับ 24.13 และ 2.14% ของปริมาณกรดไขมันทั้งหมด แต่องค์ประกอบของกรดไขมันชนิดอื่น ๆ มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งการที่กรดไขมันในอาหารข้นมีความผันแปรนั้น อาจเนื่องมาจากวัตถุดิบที่นำมาประกอบสูตรอาหารโคนมที่นำมาใช้ในการทดลองมีสัดส่วนของวัตถุดิบอาหารที่แตกต่างกันในการที่จะประกอบเป็นสูตรอาหารที่มีโปรตีน 21% ส่วนอาหารหยาบอาจจะมีลักษณะที่แตกต่างกัน เช่น มีอายุในการเก็บเกี่ยวที่ต่างกัน ฤดูในการเพาะปลูก เป็นต้น

ปริมาณของกรดไขมันในน้ำนม พบว่า ปริมาณของกรดไขมันตั้งแต่ C4:0-C22:2 ในน้ำนมของโคนมทั้งสามกลุ่มทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ซึ่งมีผลสอดคล้องกับ Enjalbert, Nicot, and Packington (2008) ที่รายงานว่าการเสริมไบโอตินที่ระดับ 20 มิลลิกรัมต่อตัวต่อวันในโคนมระยะแรกของการให้น้ำนม ไม่มีผลต่อปริมาณของกรดไขมันในน้ำนม ซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากการที่ในกระเพาะหมักของโคนมมีการสังเคราะห์ไบโอตินโดยจุลินทรีย์และปริมาณของไบโอตินที่โคได้รับจากการสังเคราะห์ในแต่ละวันนั้นเพียงพออยู่แล้ว ดังนั้นการเสริมไบโอตินเพิ่มให้กับโคนมจึงไม่ส่งผลต่อการสังเคราะห์กรดไขมัน รวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมัน

4.9 สรุปผลการทดลอง

การทดลองเสริมไบโอตินในอาหารโคนม ในระดับ 0, 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อตัวต่อวัน พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ของการกินได้ของวัตถุแห้งทั้งอาหารข้น อาหารหยาบและการกินได้ของวัตถุแห้งรวม รวมไปถึงปริมาณโปรตีนที่ได้รับจากอาหารและ

ความต้องการพลังงานเพื่อกิจกรรมต่างๆของโคนม นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว ผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบทางเคมีและสัดส่วนของกรดไขมันในน้ำนมก็ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

4.10 รายการอ้างอิง

ชวนิศดากร วรวรรณ. (2534). **การเลี้ยงโคนม**. ไทยวัฒนาพานิช. 365 หน้า.

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

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

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

ยุคล ลิ้มแหลมทอง. (2533). **การใช้ยาและสารเคมีผสมในอาหารสัตว์**. ภาควิชาเภสัชวิทยา คณะสัตว-แพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 14-15.

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

Baldwin, R. L. (1995). **Modeling Ruminant Digestion and Metabolism**. 1st ed. Chapman and Hall, London, UK.

Bergsten, C.,Greenough, P. R.,Gay, J. M., Dobson, R. C., and Gay, C. C. (2003). A controlled field trial of the effects of biotin supplementation on milk production and hoof lesions. **J. Dairy Sci**. 86: 3953–3962.

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

Enjalbert, F., Nicot, M. C., and Packington, A. J. (2008). Effects of peripartum biotin supplementation of dairy cows on milk production and milk composition with emphasis on fatty acids profile. **Lives. Sci**. 114: 287–295.

Ferreira, G., and Weiss, W. P. (2007). Effect of biotin on activity and gene expression of biotin-dependent carboxylases in the liver of dairy cows. **J. Dairy Sci**. 90: 1460-1466.

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

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

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

Majee, D. N., Schwab E. C., Bertics, S. J.,Seymour, W. M., and Shaver, R. D. (2003). Lactation performance by dairy cows fed supplemental biotin and a B-Vitamin Blend. **J. Dairy Sci**. 86: 2106-2112.

Mellenberger, R. W., Bauman D. E., and Nelson, D. R. (1973). Fatty acid and lactose synthesis in cow mammary tissue. **Biochem. J.** 136: 741–748.

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

Midla, L. T., Hoblet, K. H., Weiss, W. P., and Moeschberger, M. L. (1998). Supplemental dietary biotin for prevention of lesions associated with aseptic subclinical laminitis (pododermatitis aseptica diffusa) in primiparous cows. **Am. J. Vet. Res**. 59: 733–738.

National Research Coucil. 2001. **Nurient Requirements of Dairy Cattle**. 7th rev. ed. National Academy Press, Washington, DC.

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

Potzsch, C. J., Collis, V. J., Blowey, R. W., Packington, A. J., and Green, L. E. (2003). The impact on parity and duration of biotin supplementation on white line lameness in dairy cattle. **J. Dairy Sci**. 86: 2577-2582.

Rosendo, O., Staples, C. R., McDowell, L. R., McMahon, R., Badinga, L., Martin, F. G., Shearer, J. F., and Seymour, W. M. (2004). Effect of biotin supplementation on peripartum performance and metabolites of Holstein cows. **J. Dairy Sci**. 87: 2535-2545.

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

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

Steinberg, W., Kluenter, A. M., N., Bohn, Griggio, C., and Schuep, W. (1995). Biotin balance studies in dairy cows with and without biotin supplementation. **Roche Res. Rep.** No. B-164–549. Roche Vitamins Inc., Parsippany, NJ.

Zimmerly, C. A., and Weiss, W. P. (2001). Effects of supplemental dietary biotin on performance of Holstein cows during early lactation. **J. Dairy Sci**. 84: 498-506.

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

การศึกษาผลของการเสริมไบโอตินที่ระดับ 0, 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อตัวต่อวัน ต่อการให้ผลผลิต องค์ประกอบทางเคมีและกรดไขมันในน้ำนมของโคนมระยะแรกของการให้น้ำนม (early lactation) โดยใช้โคนมลูกผสมพันธุ์โฮสไตน์ฟรีเชียน (Crossbreed Holstein Friesian) สรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. การเสริมไบโอตินที่ระดับ 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อตัวต่อวัน ไม่มีผลต่อระดับ pH แอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) และกรดไขมันระเหยได้ในกระเพาะหมัก (Volatile fatty acids, VFAs) ของโคนม

2. การเสริมไบโอตินที่ระดับ 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อตัวต่อวัน ไม่มีผลทำให้การกินได้ของวัตถุแห้งอาหารข้น อาหารหยาบ และวัตถุแห้งรวมมีการเปลี่ยนแปลง โดยสัตว์ทั้งสามกลุ่มทดลองกินอาหารข้นและอาหารหยาบชนิดเดียวกัน การเสริมไบโอตินไม่มีผลต่อความต้องการโปรตีนทั้งหมด ความต้องการ RDP และ RUP รวมไปถึงความต้องการพลังงานเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ ของโคนม นอกจากนี้ยังพบว่า การเสริมไบโอตินไม่มีผลต่อผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม (โปรตีน ไขมัน แล็คโตส ของแข็งรวมในน้ำนม และของแข็งพร่องไขมัน) และสัดส่วนของกรดไขมันในน้ำนมอีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การทดลองเสริมไบโอตินในโคนมระยะแรกของการให้นมแล้วไม่ทำให้เกิดผลในทางบวก (ผลผลิตน้ำนมเพิ่มสูงขึ้น) นั้นน่าจะเกิดจากการที่โคนมที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีผลผลิตน้ำนมที่ต่ำเกินไปรวมไปถึงโคนมได้รับอาหารข้น 8 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน ซึ่งถือว่ามีปริมาณสูงเมื่อเทียบกับปริมาณของผลผลิตน้ำนมในแต่ละวัน เพราะพลังงานและโภชนะที่โคนมได้รับจากอาหารก็เพียงพออยู่แล้ว

2. ปรกติโคนมได้รับไบโอตินจากการสังเคราะห์โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักอยู่แล้ว การเสริมไบโอตินจึงไม่ทำให้ศักยภาพในการให้ผลผลิตน้ำนมของโคนมในการทดลองครั้งนี้เพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นไบโอตินจึงน่าจะเหมาะสมที่จะใช้ในโคนมที่ให้ผลผลิตสูงและได้รับโภชนะที่ไม่

เพียงพอ

3. การทดลองในครั้งต่อไปถ้าจะทำการศึกษาการเสริมไบโอตินในโคนมที่ให้ผลผลิตน้ำนมต่ำ ควรลดระดับของอาหารให้ลงให้เหมาะสมกับปริมาณผลผลิตเฉลี่ยต่อวันของโคนม เพื่อจะได้ทดสอบถึงประสิทธิภาพของไบโอตินในการช่วยเพิ่มผลผลิตน้ำนม ตลอดจนวัดระดับของไบโอตินในเลือดของโคนมที่ได้รับการเสริมไบโอตินเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม เพื่อดูประสิทธิภาพการทำงานของไบโอติน

ภาคผนวก ก

การประเมินพลังงานและโปรตีน

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

พลังงานจาก NFC

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

= 0.98(100-[31.90+21.31+4.06+9.35]) x 1

= 31.90%

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

= 0.98(100-[69.95+5.11+1.13+8.13]) x 1

= 15.34 %

หมายเหตุ: ค่า PAF มีค่าเท่ากับ 1

พลังงานจากโปรตีน

True digestible CP for Concentrate (tdCPc) (อาหารข้น) = [1 – (0.4 x (ADICP/CP))] x CP

= [1- (0.4 x (7.36/21.31))] x 21.31

= 18.36 %

True digestible CP for Concentrate (tdCPc) (หญ้าหมัก) = [1 – (0.4 x (ADICP/CP))] x CP

= [1- (0.4 x (0.70/5.11))] x 5.11

= 4.82 %

พลังงานจากไขมัน

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

= 4.06 – 1.0

= 3.06 %

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

= 1.13 – 1.0

= 0.13 %

หมายเหตุ: ถ้า EE<1, FA=0

พลังงานจาก NDF

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

= 0.75x (31.90-4.56) [1-(4.56/31.90)$^{0.667}$)

= 14.90 %

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

$= 0.75x\ (69.95-4.58)\ [1-(4.58/69.95)^{0.667})]$

$= 41.07\ \%$

พลังงานโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด

TDN $_{1X}$ (%) (อาหารข้น) $= tdNFC + tdCP + (tdFA \times 2.25) + tdNDF - 7$

$= 32.69+18.36+ (3.06 \times 2.25) + 14.90 - 7$

$= 65.83\ \%$

TDN $_{1X}$ (%) (หญ้าหมัก) $= tdNFC + tdCP + (tdFA \times 2.25) + tdNDF - 7$

$= 15.34+4.82+ (0.13 \times 2.25) + 41.07 - 7$

$= 54.55\ \%$

พลังงานสุทธิ (NELp) คำนวณได้ดังนี้

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

TDN (%) Actual (อาหารข้น) $= 65.83x\ 0.97$

$= 63.85\%$

TDN (%) Actual (หญ้าหมัก) $= 54.55 \times 1.01$

$= 55.51\ \%$

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

DE_{1X} (อาหารข้น) $= 0.04409 \times 63.85$

$= 2.81$ Mcal/kg

DE_{1X} (หญ้าหมัก) $= 0.04409 \times 55.51$

$= 2.44$ Mcal/kg

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

Discount (อาหารข้น) $= [65.83-([(0.18 \times 65.83) - 10.3] \times 2)] /65.83$

$= 0.95$

Discount (หญ้าหมัก) $= [54.55-([(0.18 \times 54.55) - 10.3] \times 2)] /54.38$

$= 1.01$

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

DE_P (อาหารข้น) $= 2.81 \times 0.95$

= 2.66 Mcal/kg

DE_P (หญ้าหมัก) = 2.44 x 1.01

= 2.49 Mcal/kg

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

ME_P (อาหารข้น) = [(1.01x2.66)-0.45] + [0.0046 x (4.06-3)]

= 2.21 Mcal/kg

ME_P (หญ้าหมัก) = [(1.01x2.49)-0.45] + [0.0046 x (1.39-3)]

= 2.05 Mcal/kg

ดังนั้น

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

NE_{Lp} (อาหารข้น) = [(0.703 x 2.21) – 0.19] + [((0.0097 x 2.21) + 0.19)/97] x (4.06 - 3)]

= 1.39 Mcal/kg

NE_{Lp} (หญ้าหมัก) = [(0.703 x 2.05) – 0.19] + [((0.0097 x 2.05) + 0.19)/97) x (1.13 - 3)]

= 1.21 Mcal/kg

2. การคำนวณความต้องการพลังงาน (Energy Requirement) ของโครีดนม (NRC, 2001) โครีดนม

ได้รับหญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบร่วมกับอาหารข้น (ตัวอย่าง)

โครีดนมมีน้ำหนักเฉลี่ย 380.81 kgLW ให้นมเฉลี่ยวันละ11.34 kg น้ำนมมีไขมัน 3.93% โปรตีน 2.74% และแล็คโตส 4.30% โครีดนมมีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นวันละ 0.62 กิโลกรัม

NELR = NELM+NELG+NELL

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

$= 0.08 \times (380.81)^{0.75}$

= 6.89 Mcal/day

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

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

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

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

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

BCS (9) = ((Dairy BCS – 1) x 2) + 1

= ((3.5 – 1) x 2) + 1

= 6

Proportion of empty body fat = 0.037683 x 6

= 0.23

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

= 0.16

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

= 3.04

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

= 2.58 x 0.62

= 1.59

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

= [(0.0929 x 3.93) + (0.0547 x 2.74) + (0.0395 x 4.30) x 11.34 (kgmilk/d)

= 7.77 Mcal/day

NELR = 6.89 + 1.59 + 7.77

= 16.25 Mcal/day

ดังนั้นโครีดนมซึ่งได้รับหญ้าหมักร่วมกับอาหารข้นจะมีความต้องการพลังงานในรูปของ NE ทั้งหมดเท่ากับ 16.25 Mcal/day

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

โครีดนมมีน้ำหนักเฉลี่ย 380.81 kgLW ให้นมเฉลี่ยวันละ11.34 kg น้ำนมมีไขมัน 3.93% โปรตีน 2.74% และแล็คโตส 4.30% โครีดนมมีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นวันละ 0.62 กิโลกรัม

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

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

MP_u $= UPN/0.67$

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

MP_u $= [2.75 \times (380.81^{0.5})]/0.67$

$= 80.05$

MP_{sh} $= SPN/0.67$

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

MP_{sh} $= [0.2 \times (380.81^{0.6})]/0.67$

$= 10.55$

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

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

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

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

= 0.4 x 1.9 x 13.10 x 6.25

= 62.23

Bact MP(g/d) = 0.64 MCP

MCP = 0.85 g RDP_{req}

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

$TDN_{Act\ Total}$ (อาหารหยาบ) = DMI (kg) x %TDN x 1000

RDP_{req} (อาหารหยาบ) = 0.15294 x (5.4 kg x 0.5551 x 1000)

= 458.44 g/d

RDP_{req} (อาหารข้น) = 0.15294 x $TDN_{Act\ Total}$

$TDN_{Act\ Total}$ (อาหารข้น) = DMI (kg) x %TDN x 1000

RDP_{req} (อาหารข้น) = 0.15294 x (7.75 kg x 0.6275 x 1000)

= 743.76 g/d

RDPreq = RDP_{req} (อาหารหยาบ) + RDP_{req} (อาหารข้น)

= 458.44+743.76

= 1202.2 g/d

MCP = 0.85 x 1202.2

= 1021.87

MP_{Bact} (g/d) = 1021.87 x 0.64

= 653.99

MP_{End} (g/d) = 0.4 x (1.9 x 13.10 x 6.25)

= 62.22

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

+ Endo MP/0.67

= [(13.10 x 30) – 0.50((653.99/0.8) –653.99)] + 62.23/0.67

= 404.13

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

= 80.05 + 10.55 + 404.13

= 494.73 g/d

PG (g/d) = NPg/EffMP_NPg

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

SWG = ADG (average daily gain)

= 0.6

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

EQEBW = 0.891 x EQSBW

EQSBW = SBW x (478/MSBW)

SBW = Shrunk body weight

= 0.96 x BW

= 0.96 x 380.81 kgLW

= 365.57 kgLW

MSBW = Mature shrunk body weight

= 500 kgLW (โคนมลูกผสมHolstein friesianในประเทศไทย)

EQSBW = 365.57 x (478/500)

= 349.48 kgLW

EQEBW = 0.891 x 349.48

= 311.38 kgLW

EQEBG = 0.956 x SWG

= 0.956 x 0.6

= 0.57 kgLW

RE (Mcal/d) = $0.0635 \times 311.38^{0.75} \times 0.57^{1.097}$

= 2.54 Mcal/d

NPg = 0.6 x (268 – (29.4 x (2.54/0.6)))

= 86.12 g/d

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

= (83.4 – (0.114 x 349.48))/100

= 0.43

MP_G (g/d) = 86.12/0.43

= 200.27 g/d

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

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

= 11.34 (kg/d) x (2.74/100)

= 0.31 kg/d

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

= 462.68 g/d

MP_R (g/d) = 494.73 + 200.27 + 462.68

= 1157.68 g/d

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

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

= 1157.68 – (653.99 + 62.22)

= 441.47 g/d

0.8RUPreq = total digest RUP

0.66 x total digest RUP = MP_{RUP}

total digest RUP = 441.47/0.66

= 668.89

total digest RUP = 0.8RUPreq

RUPreq = 668.89/0.8

= 836.11

CPreq = RDPreq + RUPreq

= 1157.68 + 836.11

= 1993.79 g

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

= 5.4 x 1000 x 0.0511 x 0.509

= 140.45 g/d

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

= 7.75 x 1000 x 0.2131 x 0.67 g/d

= 1106.52

RDP_{sup} = RDPsup (อาหารหยาบ) + RDPsup (อาหารข้น)

= 140.45+1106.52

= 1246.97 g/d

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

= 5.4 x 1000 x 0.0511

= 275.94 g/d

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

= 7.75 x 100 x 0.2131

= 1651.52 g/d

CP_{Total} = CPTotal (อาหารหยาบ) + CPTotal (อาหารข้น)

= 275.94+1651.52

= 1927.46 g/d

RUP_{sup} = CPTotal - RDPsup= 1927.46 – 1246.97 = 680.49 g/d

ภาคผนวก ข

ตารางวิเคราะห์วาเรียนซ์

ตารางที่ ข.1 การวิเคราะห์วาเรียนซ์ของระดับ pH และแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N)

pH ชั่วโมงที่ 0

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.2155	0.1077	0.32	0.7581
Period	2	0.6022	0.3011	0.89	0.5287
Cows	2	0.0155	0.0077	0.02	0.9775
Error	2	0.6755	0.3377		
Total	8	1.5088			

R^2 = 0.5522 %CV = 8.08

pH ชั่วโมงที่ 3

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.2466	0.1233	0.51	0.6636
Period	2	0.9266	0.4633	1.90	0.3443
Cows	2	0.0200	0.0100	0.04	0.9605
Error	2	0.4866	0.2433		
Total	8	1.6800			

R^2 = 0.7103 %CV = 7.39

pH ชั่วโมงที่ 5

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.4466	0.2233	0.54	0.6492
Period	2	0.9866	0.4933	1.19	0.4559
Cows	2	0.1400	0.0700	0.17	0.8552
Error	2	0.8266	0.4133		
Total	8	2.4000			

R^2 = 0.6555 %CV = 9.59

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

pH ชั่วโมงที่ 7

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.4422	0.2211	0.82	0.5508
Period	2	1.2022	0.6011	0.22	0.3108
Cows	2	0.2288	0.1144	0.42	0.7032
Error	2	0.5422	0.2711		
Total	8	2.4155			

R^2 = 0.7755 %CV = 7.63

NH_3-N ชั่วโมงที่ 0

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.9517	0.4758	0.71	0.5841
Period	2	3.2294	1.6147	2.24	0.2927
Cows	2	1.8602	0.9301	1.39	0.4181
Error	2	1.3364	0.6682		
Total	8	7.3779			

R^2 = 0.8188 %CV = 7.86

NH_3-N ชั่วโมงที่ 3

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Teatment	2	1.1766	0.5883	0.32	0.7559
Period	2	1.9609	0.9804	0.54	0.6501
Cows	2	1.5446	0.7723	0.42	0.7023
Error	2	3.6433	1.8216		
Total	8	8.3256			

R^2 = 0.5623 %CV = 10.33

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

NH_3-N ชั่วโมงที่ 5

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.7286	0.3643	0.19	0.8372
Period	2	4.9320	2.4466	1.32	0.4316
Cows	2	4.7590	2.3795	1.27	0.4404
Error	2	3.7457	1.8728		
Total	8	14.1654			

R^2 = 0.7355 %CV = 11.71

NH_3-N ชั่วโมงที่ 7

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.0584	0.0292	0.05	0.9559
Period	2	0.0508	0.0254	4.43	0.9614
Cows	2	5.6032	1.8016	0.04	0.1843
Error	2	1.2662	0.6331		
Total	8	6.9788			

R^2 = 0.8185 %CV = 7.32

ตารางที่ ข.2 การวิเคราะห์วาเรียนซ์ของระดับกรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acids, VFAs)

Acetate ชั่วโมงที่ 0

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.0582	0.0291	0.13	0.8844
Period	2	0.8208	0.4104	1.84	0.3517
Cows	2	0.7424	0.3712	1.67	0.3749
Error	2	0.4452	0.2226		
Total	8	2.0668			

R^2 = 0.7845 %CV = 0.61

ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

Acetate ชั่วโมงที่ 3

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.5958	0.2979	1.23	0.4485
Period	2	0.9068	0.4534	1.87	0.3482
Cows	2	0.0732	0.0366	0.15	0.8686
Error	2	0.4844	0.2422		
Total	8	2.0604			

R^2 = 0.7648 %CV = 0.64

Acetate ชั่วโมงที่ 5

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	1.1848	0.5924	0.25	0.8007
Period	2	2.0908	1.0454	0.44	0.6948
Cows	2	3.4860	1.7430	0.73	0.5773
Error	2	4.7606	2.3803		
Total	8	11.5224			

R^2 = 0.5868 %CV = 2.01

Acetate ชั่วโมงที่ 7

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	2.3194	1.597	4.55	0.1801
Period	2	0.3922	0.1961	0.77	0.5649
Cows	2	1.2548	0.6274	2.46	0.2887
Error	2	0.5093	0.2546		
Total	8	4.4759			

R^2 = 0.8862 %CV = 0.65

ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

Propionate ชั่วโมงที่ 0

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	1.8569	0.9284	1.82	0.3540
Period	2	0.1586	0.0793	0.16	0.8651
Cows	2	1.1766	0.5883	1.16	0.4638
Error	2	1.0176	0.5088		
Total	8	4.2099			

R^2 = 0.7582 %CV = 4.37

Propionate ชั่วโมงที่ 3

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.5240	0.2620	4.84	0.1711
Period	2	0.4428	0.2214	4.09	0.1963
Cows	2	0.3682	0.1841	3.40	0.2271
Error	2	0.1082	0.0541		
Total	8	1.4434			

R^2 = 0.9250 %CV = 1.46

Propionate ชั่วโมงที่ 5

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	1.3122	0.6561	2.01	0.3326
Period	2	1.8024	0.9012	2.76	0.2662
Cows	2	2.2588	1.1294	3.45	0.2245
Error	2	0.6538	0.3269		
Total	8	6.0274			

R^2 = 0.8915 %CV = 3.57

ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

Propionate ชั่วโมงที่ 7

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	1.6380	0.8190	27.30	0.0653
Period	2	0.3840	0.1920	6.40	0.1351
Cows	2	0.8354	0.4177	13.92	0.0670
Error	2	0.0600	0.0300		
Total	8	2.9176			

R^2 = 0.9794 %CV = 1.08

Butyrate ชั่วโมงที่ 0

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	1.6737	0.8368	3.96	0.2017
Period	2	0.3552	0.1776	0.84	0.5435
Cows	2	0.9353	0.1870	2.21	0.3114
Error	2	0.4229	0.2114		
Total	8	3.3873			

R^2 = 0.8751 %CV = 6.52

Butyrate ชั่วโมงที่ 3

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.0472	0.0236	0.07	0.9343
Period	2	0.5774	0.2887	0.86	0.5380
Cows	2	0.9532	0.4767	1.42	0.4136
Error	2	0.6722	0.3361		
Total	8	2.2502			

R^2 = 0.7012 %CV = 7.85

ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

Butyrate ชั่วโมงที่ 5

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.0082	0.0041	0.01	0.9895
Period	2	0.0505	0.0252	0.06	0.9391
Cows	2	0.0494	0.0247	0.06	0.9404
Error	2	0.7798	0.3899		
Total	8	0.8880			

R^2 = 0.1219 %CV = 8.57

Butyrate ชั่วโมงที่ 7

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.0814	0.0407	0.29	0.7774
Period	2	0.0004	0.0002	0.001	0.9985
Cows	2	0.0916	0.0458	0.32	0.7563
Error	2	0.2843	0.1421		
Total	8	0.4578			

R^2 = 0.3788 %CV = 5.23

Acetate: Propionate ชั่วโมงที่ 0

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.1520	0.0760	1.43	0.4109
Period	2	0.0228	0.0114	0.22	0.8226
Cows	2	0.1202	0.0701	1.13	0.4688
Error	2	0.1060	0.0530		
Total	8	0.4012			

R^2 = 0.7356 %CV = 4.89

ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

Acetate: Propionate ชั่วโมงที่ 3

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.0736	0.0368	3.28	0.2335
Period	2	0.0682	0.0341	3.05	0.2472
Cows	2	0.0299	0.0149	1.34	0.4281
Error	2	0.0224	0.0112		
Total	8	0.1942			

R^2 = 0.8845 %CV = 2.18

Acetate: Propionate ชั่วโมงที่ 5

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.1682	0.0841	1.06	0.4853
Period	2	0.2582	0.1291	1.63	0.3805
Cows	2	0.3354	0.1677	2.11	0.3211
Error	2	0.1586	0.0793		
Total	8	0.9204			

R^2 = 0.8276 %CV = 5.85

Acetate: Propionate ชั่วโมงที่ 7

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.2266	0.1133	13.13	0.0696
Period	2	0.0544	0.0272	3.21	0.2373
Cows	2	0.1226	0.0613	7.24	0.1214
Error	2	0.0169	0.0084		
Total	8	0.4208			

R^2 = 0.9597 %CV = 1.90

ตารางที่ ข.3 การวิเคราะห์วาเรียนซ์ของการกินได้ของโคนม

การกินได้ของวัตถุแห้งอาหารหยาบ

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.6132	0.3066	0.56	0.5805
Block	1	0.4648	0.4648	0.85	0.3683
Error	20	10.9715	0.5485		
Total	23	12.0496			

R^2 = 0.0894 %CV = 13.77

การกินได้ของวัตถุแห้งรวม

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.6132	0.3066	0.56	0.5805
Block	1	0.4648	0.4648	0.85	0.3683
Error	20	10.9715	0.5485		
Total	23	12.0496			

R^2 = 0.0894 %CV = 5.66

การกินได้ของวัตถุ g/Kg $W^{0.75}$

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	3.0327	1.5163	0.0001	0.9999
Block	1	10287.9004	10287.9004	0.74	0.4001
Error	20	278289.6615	13914.4830		
Total	23	288580.5947			

R^2 = 0.0356 %CV = 54.65

ตารางที่ ข.3 (ต่อ)

การกินได้ของโปรตีนอาหารหยาบ

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	1601.1561	800.5780	0.56	0.5805
Block	1	1213.5348	1213.5348	0.85	0.3683
Error	20	28648.7770	1432.4388		
Total	23	31463.4679			

R^2 = 0.0894 %CV = 13.77

การกินได้ของโปรตีนรวม

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	1601.3452	800.6726	0.56	0.5805
Block	1	1213.6770	1213.6770	0.85	0.3683
Error	20	28649.0231	1432.4511		
Total	23	31464.0453			

R^2 = 0.0894 %CV = 1.97

การกินได้ของโปรตีน g/Kg $W^{0.75}$

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.4428	0.2214	0.15	0.8633
Block	1	0.0024	0.0024	0.001	0.9684
Error	20	29.9119	1.4955		
Total	23	30.3571			

R^2 = 0.0146 %CV = 5.52

ตารางที่ ข.3 (ต่อ)

การกินได้พลังงานสุทธิอาหารหยาบ

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.8807	0.4403	0.56	0.5796
Block	1	0.6666	0.6666	0.85	0.3679
Error	20	15.7103	0.7855		
Total	23	17.2577			

R^2 = 0.0896 %CV = 13.75

การกินได้ของพลังงานสุทธิรวม

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.8812	0.4406	0.56	0.5808
Block	1	0.6666	0.6666	0.84	0.3690
Error	20	15.7842	0.7892		
Total	23	17.3321			

R^2 = 0.0893 %CV = 4.40

การกินได้ของพลังงานสุทธิ g/Kg $W^{0.75}$

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.00005	0.000025	0.13	0.8816
Block	1	0.00003	0.00003	0.16	0.6909
Error	20	0.0046	0.0002		
Total	23	0.0046			

R^2 = 0.0204 %CV = 6.51

ตารางที่ ข.4 ปริมาณของโปรตีนที่ได้รับจากอาหารและความต้องการของโคนม

ความต้องการโปรตีนทั้งหมด (MP_R)

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	1141.5596	570.7798	0.07	0.9366
Block	1	41516.8016	41516.8016	4.78	0.0409
Error	20	173850.3716	8692.5185		
Total	23	216508.7329			

R^2 = 0.1970 %CV = 7.04

โปรตีนที่ได้รับจากจุลินทรีย์โปรตีน (MCP)

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	3083.5985	1541.7992	0.56	0.5805
Block	1	2337.8082	2337.8082	0.85	0.3683
Error	20	55177.0576	2758.8528		
Total	23	60598.4643			

R^2 = 0.0894 %CV = 5.04

ความต้องการโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{req})

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	4268.1223	2134.0611	0.56	0.5805
Block	1	3235.4748	3235.4748	0.85	0.3683
Error	20	76365.9516	3818.2975		
Total	23	83869.5488			

R^2 = 0.0894 %CV = 5.04

ตารางที่ ข.4 (ต่อ)

โปรตีนที่ย่อยสลายในกระเพาะหมักจากอาหาร (RUP_{sup})

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	416.2644	208.1322	0.56	0.5807
Block	1	315.7376	315.7376	0.85	0.3683
Error	20	7451.9620	372.5981		
Total	23	8183.9640			

R^2 = 0.0894 %CV = 1.55

โปรตีนที่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก ขาด/เกิน

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	2017.9161	1008.9580	0.56	0.5805
Block	1	1529.7663	1529.7663	0.85	0.3683
Error	20	36107.7554	1805.3877		
Total	23	39655.4378			

R^2 = 0.0894 %CV = 267.92

ความต้องการโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RDP_{req})

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	14640.4064	7320.2032	0.32	0.7327
Block	1	100779.5520	100779.5520	4.35	0.0500
Error	20	463415.7911	23170.7895		
Total	23	578835.7496			

R^2 = 0.1994 %CV = 13.51

ตารางที่ ข.4 (ต่อ)

โปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมักจากอาหาร (RUP_{sup})

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	384.2356	192.1178	0.56	0.5807
Block	1	291.4854	291.4854	0.85	0.3682
Error	20	6878.3217	343.9160		
Total	23	7554.0427			

R^2 = 0.0894 %CV = 2.74

โปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก ขาด/เกิน

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	19418.8380	9709.4190	0.43	0.6574
Block	1	90234.8330	90234.8330	3.98	0.0598
Error	20	453259.5674	22662.9783		
Total	23	562913.2384			

R^2 = 0.1947 %CV = 33.47

การกินได้พลังงานสุทธิ (NE_L intake)

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.7277	0.3638	0.56	0.5799
Block	1	0.5430	0.5430	0.84	0.3715
Error	20	12.9950	0.6497		
Total	23	14.2657			

R^2 = 0.0890 %CV = 4.16

ตารางที่ ข.4 (ต่อ)

พลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (NE_{LM})

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.0600	0.0300	0.19	0.8275
Block	1	0.0150	0.0150	0.10	0.7605
Error	20	3.1405	0.1570		
Total	23	3.2155			

R^2 = 0.0233 %CV = 5.69

พลังงานสุทธิเพื่อการผลิตน้ำนม (NE_{LL})

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.5325	0.2662	0.76	0.4814
Block	1	5.2640	5.2640	14.99	0.0009
Error	20	7.0213	0.3510		
Total	23	12.8179			

R^2 = 0.4522 %CV = 7.55

พลังงานสุทธิเพื่อการเพิ่มน้ำหนักตัว (NE_{LG})

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.0072	0.0036	0.005	0.9958
Block	1	0.7038	0.7038	0.82	0.3758
Error	20	17.1556	0.8577		
Total	23	17.8667			

R^2 = 0.0398 %CV = 57.03

ตารางที่ ข.4 (ต่อ)

พลังงานสุทธิสะสม (NE_{LR})

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.6053	0.3026	0.29	0.7531
Block	1	10.6400	10.6400	10.11	0.0047
Error	20	21.0509	1.0525		
Total	23	32.2963			

R^2 = 0.3481 %CV = 6.24

ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Efficiency)

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.0158	0.0078	1.35	0.2818
Block	1	0.0513	0.0513	8.76	0.0077
Error	20	0.1172	0.0058		
Total	23	0.1843			

R^2 = 0.3642 %CV = 10.20

ตารางที่ 5 ผลของการเสริมไบโอตินในโคนมต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว

น้ำหนักตัวก่อนการทดลอง

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	315.2500	157.6250	0.21	0.8155
Block	1	20.1666	20.1666	0.03	0.8727
Error	20	15303.0833	765.1541		
Total	23	15638.5000			

R^2 = 0.0214 %CV = 7.36

ตารางที่ ข.5 (ต่อ)

น้ำหนักหลังการทดลอง

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	2442.5833	1221.2916	1.27	0.3035
Block	1	376.0416	376.0416	0.39	0.5394
Error	20	19286.3333	464.3166		
Total	23	22104.9583			

R^2 = 0.1275 %CV = 7.96

น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง (กรัม/วัน)

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	1203.6574	301.8287	0.002	0.9954
Block	1	106666.6666	106666.6666	0.82	0.3751
Error	20	2591958.3057	129597.9150		
Total	23	2699828.6297			

R^2 = 0.0399 %CV = 57.09

ตารางที่ ข.6 ผลของการเสริมไบโอตินต่อปริมาณผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมในโคนม

ผลผลิตน้ำนม

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.8817	0.4408	0.77	0.4767
Block	1	10.4412	10.4412	18.21	0.0004
Error	20	11.4660	0.5733		
Total	23	22.7889			

R^2 = 0.4968 %CV = 6.73

ตารางที่ ข.6 (ต่อ)

ปริมาณน้ำนมปรับไขมัน 3.5%

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	1.5562	0.7781	1.03	0.3765
Block	1	17.9920	17.9920	23.73	0.0001
Error	20	15.1663	0.7583		
Total	23	34.7146			

R^2 = 0.5631 %CV = 7.09

ปริมาณไขมันนม

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	3757.8053	1878.9026	1.0	0.3871
Block	1	30775.1140	30775.1140	16.30	0.0006
Error	20	37749.7806	1887.4890		
Total	23	72282.6999			

R^2 = 0.4777 %CV = 9.50

โปรตีนนม

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	211.6178	105.8089	0.10	0.9046
Block	1	1090.2624	1090.2624	1.04	0.3203
Error	20	20993.5925	1049.6796		
Total	23	22295.4727			

R^2 = 0.0583 %CV = 10.45

ตารางที่ ข.6 (ต่อ)

ปริมาณแล็คโตส

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	1797.2871	898.6445	0.90	0.4231
Block	1	13574.0997	13574.0997	13.57	0.0015
Error	20	20011.3223	1000.5854		
Total	23	35382.7091			

R^2 = 0.4344 %CV = 6.58

ปริมาณของแข็งพร่องไขมัน

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	7032.6481	3516.3240	0.88	0.4314
Block	1	44663.7048	44663.7048	11.14	0.0033
Error	20	80174.6104	4008.7305		
Total	23	131870.9633			

R^2 = 0.3920 %CV = 7.00

ปริมาณของแข็งรวมในนม

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	16515.1593	8257.5796	0.87	0.4354
Block	1	149226.7792	149226.7792	15.67	0.0008
Error	20	190470.2475	9523.5123		
Total	23	356212.1860			

R^2 = 0.4652 %CV = 7.17

ตารางที่ ข.6 (ต่อ)

เปอร์เซ็นต์ไขมันนม

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.2479	0.12395	0.82	0.4545
Block	1	0.1768	0.1768	1.17	0.2922
Error	20	3.0210	0.1510		
Total	23	3.4458			

R^2 = 0.1232 %CV = 9.54

เปอร์เซ็นต์โปรตีนนม

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.0187	0.0093	0.12	0.8907
Block	1	0.2501	0.2501	3.10	0.0935
Error	20	1.6131	0.0806		
Total	23	1.8820			

R^2 = 0.1428 %CV = 10.25

เปอร์เซ็นต์แล๊คโตส

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.0036	0.0018	0.10	0.9048
Block	1	0.0228	0.0228	1.27	0.2729
Error	20	0.3589	0.0179		
Total	23	0.3853			

R^2 = 0.0685 %CV = 3.12

ตารางที่ ข.6 (ต่อ)

เปอร์เซ็นต์ของแข็งพร่องไขมัน

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.0120	0.0060	0.03	0.9664
Block	1	0.1802	0.1802	1.02	0.3234
Error	20	3.5174	0.1758		
Total	23	3.7097			

R^2 = 0.0518 %CV = 5.20

เปอร์เซ็นต์ของแข็งรวมในนม

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.3366	0.1683	0.31	0.7383
Block	1	0.00001	0.00001	0.00	0.9956
Error	20	10.9277	0.5463		
Total	23	11.2644			

R^2 = 0.0298 %CV = 6.0950

ตารางที่ 7 ผลของการเสริมไบโอตินต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำนม

C4:0

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	2.6602	1.3301	3.23	0.0610
Block	1	0.1926	0.1926	0.47	0.5021
Error	20	8.2458	0.4122		
Total	23	11.0986			

R^2 = 0.2570 %CV = 36.33

ตารางที่ ข.7 (ต่อ)

C6:0

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.0108	0.0054	0.12	0.8918
Block	1	0.0651	0.0651	1.38	0.2537
Error	20	0.9426	0.0471		
Total	23	1.0185			

R^2 = 0.0745 %CV = 59.00

C8:0

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.0450	0.0225	0.59	0.5624
Block	1	0.3528	0.3528	9.28	0.0064
Error	20	0.7606	0.0380		
Total	23	1.1584			

R^2 = 0.3434 %CV = 22.15

C10:0

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.0767	0.0383	0.23	0.7970
Block	1	1.3920	1.3920	8.32	0.0092
Error	20	3.3443	0.1672		
Total	23	4.8131			

R^2 = 0.3051 %CV = 22.24

ตารางที่ ข.7 (ต่อ)

C11:0

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.0097	0.0048	0.72	0.4978
Block	1	0.0084	0.0084	1.25	0.2763
Error	20	0.1347	0.0067		
Total	23	0.1528			

R^2 = 0.1188 %CV = 191.24

C12:0

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	4.9786	2.4893	1.25	0.3066
Block	1	6.9122	6.9122	3.48	0.0767
Error	20	39.6710	1.9835		
Total	23	51.5619			

R^2 = 0.2306 %CV = 17.00

C13:0

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.0008	0.0004	1.75	0.1997
Block	1	0.0001	0.0001	0.65	0.4301
Error	20	0.0046	0.0002		
Total	23	0.0055			

R^2 = 0.1716 %CV = 23.09

ตารางที่ ข.7 (ต่อ)

C14:0

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.2565	0.1282	0.08	0.9209
Block	1	4.5762	4.5762	2.95	0.1011
Error	20	30.9819	1.5490		
Total	23	35.8147			

R^2 = 0.1349 %CV = 9.49

C14:1

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	1.8848	0.9424	1.08	0.3572
Block	1	0.4788	0.4788	0.55	0.4666
Error	20	17.3824	0.8691		
Total	23	19.7460			

R^2 = 0.1197 %CV = 58.37

C15:0

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.0341	0.0170	2.43	0.1136
Block	1	0	0	0	1.0000
Error	20	0.1404	0.0070		
Total	23	0.1745			

R^2 = 0.1955 %CV = 10.68

ตารางที่ ข.7 (ต่อ)

C16:0

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	1.6900	0.8450	0.30	0.7458
Block	1	0.0570	0.0570	0.02	0.8887
Error	20	56.7823	2.8391		
Total	23	58.5293			

R^2 = 0.0298 %CV = 5.47

C16:1

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.0086	0.0043	0.03	0.9734
Block	1	0.0035	0.0035	0.02	0.8839
Error	20	3.2054	0.1602		
Total	23	3.2175			

R^2 = 0.0037 %CV = 23.90

C18:0

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	5.1822	2.5911	0.47	0.6319
Block	1	3.3525	3.3525	0.61	0.4447
Error	20	110.3177	5.5158		
Total	23	118.8524			

R^2 = 0.0718 %CV = 22.64

ตารางที่ ข.7 (ต่อ)

C18:1n9t

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.1958	0.0979	0.85	0.4442
Block	1	0.0192	0.0192	0.17	0.6877
Error	20	2.3163	0.1158		
Total	23	2.5314			

R^2 = 0.0849 %CV = 15.55

C18:1n9c

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	9.6168	4.8084	0.69	0.5138
Block	1	44.9087	44.9087	6.43	0.0197
Error	20	139.6500	6.9825		
Total	23	194.1755			

R^2 = 0.2808 %CV = 10.77

C18:2n6t

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.0006	0.0003	0.59	0.5629
Block	1	0.0005	0.0005	0.98	0.3339
Error	20	0.0102	0.0005		
Total	23	0.0113			

R^2 = 0.0976 %CV = 33.38

ตารางที่ ข.7 (ต่อ)

C18:2n6c

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.6219	0.3109	3.11	0.0666
Block	1	0.0006	0.0006	0.01	0.9390
Error	20	1.9982	0.0999		
Total	23	2.6207			

R^2 = 0.2375 %CV = 29.63

C18:3

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.0001	0.00005	0.61	0.5548
Block	1	0.0002	0.0002	1.42	0.2480
Error	20	0.0028	0.0001		
Total	23	0.0032			

R^2 = 0.1162 %CV = 11.85

C20:0

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.0126	0.0063	2.41	0.1154
Block	1	0.0048	0.0048	1.83	0.1907
Error	20	0.0525	0.0026		
Total	23	0.0699			

R^2 = 0.2497 %CV = 24.49

ตารางที่ ข.7 (ต่อ)

C20:1n9

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.0049	0.0024	3.30	0.0576
Block	1	0.0010	0.0010	1.44	0.2444
Error	20	0.0148	0.0004		
Total	23	0.0208			

R^2 = 0.2868 %CV = 18.15

C18:3

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.0001	0.00005	0.61	0.5548
Block	1	0.0002	0.0002	1.42	0.2480
Error	20	0.0028	0.0010		
Total	23	0.0032			

R^2 = 0.1162 %CV = 11.85

C20:3n6

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.0004	0.0002	2.25	0.1311
Block	1	0.00001	0.00001	0.16	0.6951
Error	20	0.0021	0.0010		
Total	23	0.0026			

R^2 = 0.1891 %CV = 18.66

ตารางที่ ข.7 (ต่อ)

C22:0

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.0003	0.0001	0.31	0.7337
Block	1	0.0002	0.0002	0.40	0.5367
Error	20	0.0103	0.0005		
Total	23	0.0108			

R^2 = 0.0487 %CV = 37.11

C22:2

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	0.00002	0.00001	0.23	0.7987
Block	1	0.00003	0.00003	0.68	0.4187
Error	20	0.0011	0.00005		
Total	23	0.0011			

R^2 = 0.0537 %CV = 45.63

Short chain FA: (C4:0 – C13:0)

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	11.7534	5.8767	1.57	0.2330
Block	1	25.1945	25.1945	6.72	0.0174
Error	20	74.9486	3.7474		
Total	23	111.8965			

R^2 = 0.3301 %CV = 14.61

ตารางที่ ข.7 (ต่อ)

Medium chain FA: (C14:0 – C17:0)

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	8.7477	4.3738	0.60	0.5600
Block	1	11.1657	11.1657	1.52	0.2313
Error	20	146.5187	7.3259		
Total	23	166.4321			

R^2 = 0.1196 %CV = 5.64

Long chain FA: (> C18:0)

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	12.2153	6.1076	0.42	0.6648
Block	1	73.3251	73.3251	5.00	0.0369
Error	20	293.1704	14.6585		
Total	23	378.7108			

R^2 = 0.2258 %CV = 9.89

Saturated FA

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	2.5094	1.2547	0.14	0.8668
Block	1	33.9626	33.9626	3.90	0.0624
Error	20	174.3303			
Total	23	210.8023			

R^2 = 0.1730 %CV = 4.30

ตารางที่ ข.7 (ต่อ)

unsaturated FA

Source	df	SS	MS	F value	Pr>F
Treatment	2	3.1766	1.5883	0.16	0.8536
Block	1	38.0772	38.0772	3.82	0.0646
Error	20	199.1337			
Total	23	240.3875			

R^2 = 0.1716 %CV = 9.98

ประวัติผู้เขียน

นายพิทักษ์พงษ์ แพงสาย เกิดวันที่ 25 กรกฎาคม พ.ศ. 2528 ที่จังหวัดมหาสารคาม เริ่มศึกษาระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนบ้านโนนศรีสวัสดิ์ สำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2539 จากนั้นเข้าศึกษาต่อระดับมัธยมศึกษา 1-6 ที่โรงเรียนแก่นนครวิทยาลัยในปีการศึกษา 2545 ศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา และสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2549 และได้ศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ในปีการศึกษา 2550