ผลของการเสริม linseed oil ต่อผลผลิตน้ำนม และสัดส่วนของกรดไขมันในน้ำนมของโคนม

นายรัฐกร มิรัตนไพร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2555

EFFECTS OF LINSEED OIL SUPPLEMENTATION ON MILK PRODUCTION AND FATTY ACID PROFILE IN MILK OF DAIRY COWS

Rattakorn Mirattanaphrai

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 2012

ผลของการเสริม linseed oil ต่อผลผลิตน้ำนม และสัดส่วนของกรดไขมันในน้ำนมของโคนม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(อ. ดร.วิทธวัช โมพี)
ประธานกรรมการ

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

(ผศ. ดร.พิพัฒน์ เหลืองลาวัณย์)
กรรมการ

(ผศ. ดร.ปราโมทย์ แพงคำ)
กรรมการ

(ผศ. ดร.อมรรัตน์ โมพี)
กรรมการ

(ผศ. น.สพ. ดร.บัญชร ลิขิตเดชาโรจน์)
กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปีจำนงค์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(ผศ. ดร.สุเวทย์ นิงสานนท์)
คณบดีสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รัฐกร มิรัตนไพร : ผลของการเสริม linseed oil ต่อผลผลิตน้ำนม และสัดส่วนของกรดไขมันในน้ำนมของโคนม (EFFECTS OF LINSEED OIL SUPPLEMENTATION ON MILK PRODUCTION AND FATTY ACID PROFILE IN MILK OF DAIRY COWS) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.วิศิษฐิพร สุขสมบัติ, 103 หน้า.

วิทยานิพนธ์นี้ศึกษาถึงการเสริม linseed oil ที่ระดับ 0 150 และ 300 กรัม/ตัว/วัน ต่อผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม ตลอดจนปริมาณของกรดไขมันในน้ำนม รวมถึงการศึกษาเกี่ยวกับการหมักย่อยในกระเพาะหมัก โดยทำการทดลองในโคนมลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชียน

การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของการเสริม linseed oil ในอาหารโคนมต่อการกินได้ของวัตถุแห้ง การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว ผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบทางเคมีในน้ำนมและกรดไขมันในน้ำนม โคนมที่ใช้ในการทดลองเป็นโคนมพันธุ์ลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเชียน (Crossbreed Holstein Friesian) ระดับเลือดมากกว่า 87.5% จำนวน 24 ตัว จำนวนวันการให้นมเฉลี่ย 83±50 วัน (mean±SD) ปริมาณน้ำนมเฉลี่ย 13.0±3 กิโลกรัม/วัน น้ำหนักเฉลี่ย 390±32 กิโลกรัม ทำการจัดสัตว์เข้าทดลองโดยการ block ด้วย จำนวนท้อง (Parity) จากนั้นทำการปรับสมดุลในแต่ละ block ด้วยจำนวนวันที่ให้นม ปริมาณน้ำนมเริ่มต้นและน้ำหนักตัวเริ่มต้น ในแต่ละกลุ่มการทดลองจะมีโคนมกลุ่มละ 8 ตัว การทดลองจะใช้เวลาทั้งสิ้น 37 วัน แบ่งการทดลองออกเป็น 6 ช่วง ๆ ละ 5 วันและเวลาในการปรับตัวสัตว์ก่อนการทดลอง 7 วัน โดยที่กลุ่มทดลองที่ 1 ได้รับอาหารข้นตามปกติ (ไม่เสริม linseed oil) เสริมน้ำมันปาล์ม 300 กรัม/ตัว/วัน กลุ่มการทดลองที่ 2 ได้รับอาหารข้นเสริม linseed oil 150 กรัม/ตัว/วัน และน้ำมันปาล์ม 150 กรัม/ตัว/วัน และกลุ่มการทดลองที่ 3 ได้รับอาหารข้นเสริม linseed oil 300 กรัม/ตัว/วัน โดยอาหารข้น (Concentrate) ที่ใช้ในการทดลองเป็นอาหารข้นชนิดเม็ด (Pellet) 21% CP มีคุณค่าทางโภชนะตามความต้องการของโคนมระยะให้นม (NRC, 2001) ได้รับ 6 กิโลกรัม/ตัว/วัน วันละ 3 ครั้ง ในเวลา 08.00 น. 11.00 น. และ 16.00 น. อาหารหยาบ (Roughage) ที่ใช้ในการทดลองคือ หญ้าหมัก (*Brachiaria ruziziensis* อายุตัด 55 วัน) ซึ่งได้รับอย่างเต็มที่ (*ad libitum*) น้ำดื่มมีอ่างน้ำสะอาดสำหรับให้โคกินตลอดเวลา ทำการชั่งน้ำหนักตัวก่อนและหลังการทดลองของโคทั้ง 3 กลุ่มทดลอง ทำการวัดปริมาณน้ำนมโครายตัวทุกวัน สุ่มเก็บตัวอย่างน้ำนมดิบทุกช่วงการทดลอง โดยสุ่มเก็บช่วงละ 2 วันติดต่อกัน และ ทำการวัดปริมาณการกินได้ทุกช่วงการทดลอง (5 วัน) 2 วันติดต่อกัน

จากผลการทดลองพบว่า การกินได้ของวัตถุแห้ง โปรตีนที่ได้รับจากอาหาร ความต้องการพลังงานเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ ของโคนม การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว รวมไปถึง ผลผลิตน้ำนม และองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) และในการเสริม linseed oil ในระดับ 150 และ 300 กรัม/ตัว/วัน ไม่มีผลต่อระดับ C18:1 C18:2 C18:3 SFA

UFA n6 n3 และสัดส่วนของ n6 : n3 ($P>0.05$)

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของการเสริม linseed oil ต่อระบบนิเวศวิทยาในกระเพาะหมักของโคนม โดยใช้โคเจาะกระเพาะลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชียน จำนวน 3 ตัว จัดการทดลองแบบ 3×3 Latin squares โดยที่กลุ่มทดลองที่ 1 ให้โคเจาะกระเพาะ ได้รับอาหารข้นตามปกติ (ไม่เสริม linseed oil) เสริมน้ำมันปาล์ม 300 กรัม/ตัว/วันกลุ่มการทดลองที่ 2 โคเจาะกระเพาะได้รับอาหารข้นเสริม linseed oil 150 กรัม/ตัว/วัน และน้ำมันปาล์ม 150 กรัม/ตัว/วันโคเจาะกระเพาะและกลุ่มการทดลองที่ 3 ได้รับอาหารข้นเสริม linseed oil 300 กรัม/วัน พบว่าโคนมที่ได้รับการเสริม linseed oil 0 150 และ 300 กรัมต่อตัวต่อวัน มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าความเข้มข้นแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) ความเข้มข้นของกรดอะซิติก กรดโพรพิออนิก กรดบิวทีริก และอัตราส่วนกรดอะซิติกต่อกรดโพร-พิออนิก ของของเหลวในกระเพาะหมักของโคนม ทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จำนวนของ Cellulolytic Bacteria ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เนื่องจากโคทดลองได้รับอาหารหยาบในปริมาณที่เท่ากันทุกกลุ่มและจำนวนของ Protozoa ในกระเพาะหมักของโคทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในชั่วโมงที่ 3 หลังจากการให้อาหาร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์
ปีการศึกษา 2555

ลายมือชื่อนักศึกษา_____
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_____
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม_____

RATTAKORN MIRATTANAPHRAI : EFFECTS OF LINSEED OIL SUPPLEMENTATION ON MILK PRODUCTION AND FATTY ACID PROFILE IN MILK OF DAIRY COWS. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. WISITIPORN SUKSOMBAT, Ph.D., 103 PP.

MILK FATTY ACIDS/MILK COMPOSITION/LINSEED OIL/MILK PRODUCTION/DAIRY COWS

The objective of this study was to determine the effects of linseed oil supplementation on milk production, milk composition, and live weight change in crossbred Holstein Friesian dairy cows. This research was divided into 2 experiments.

The first experiment was to investigate the effects of linseed oil supplementation on milk production, milk composition, and live weight change in crossbred Holstein Friesian dairy cows. Twenty four Holstein Friesian crossbred lactating dairy cows, averaging 83 ± 50 days in milk, 13.0 ± 3 kg of milk and 390 ± 32 kg body weight, were blocked by milking days first and then stratified random balanced for milk yield and body weight into three groups of 8 cows. The first group (control) received approximately 6 kg of 21% CP concentrate three times per day at 0800, 1100 and 1600 h plus 300 g of palm oil. The second group was fed the same basal diet as the control group and supplemented with 150 g/d of linseed oil plus 150 g of palm oil and the third group was fed the same basal diet as the control group and supplemented with 300 g/d of linseed oil. All cows also received *ad libitum* grass silage (*Brachiaria ruziziensis*; 55 d cutting age), had free access to clean water and were individually housed in a free-stall unit and individually fed according to treatments. The experiment lasted for 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. Feeds offered and left after eating of individual cow was collected on 2 consecutive days each period and at the end of the experiment feed samples were pooled to make representative samples for proximate and detergent analyses. Daily milk yields were recorded. Milk samples and dry matter intakes were collected in 2 consecutive days each period. Live weights were recorded at the start and at the end of the experiment. The results showed no statistical significant differences in intakes, live weight changes, milk compositions and milk fatty acids profiles ($P>0.05$). It is recommended from this study that the addition of 150 g/d of linseed oil could be beneficial to lactating dairy cows in early lactation.

The second experiment was carried out to investigate the effects of different levels of linseed oil supplementation in crossbred Holstein Friesian dairy cows on rumen ecology. In this experiment, three crossbred Holstein Friesian cows fitted with cannula were assigned to three treatments in a 3×3 Latin square. The treatments consist of 300 g of palm oil (control), 150 g/d of linseed oil plus 150 g of palm oil (Tr2) and 300 g/d of linseed oil (Tr3). The rumen pH, $_{ammonia}$ N, acetate, propionate, butyrate, acetate : propionate ratio and cellulolytic bacteria number in ruminal fluids were unaffected by treatments. However, at 3 hours after feeding protozoa number was significant difference ($P<0.05$).

School of Animal Production Technology Student's Signature R. Mirattanaphrai

Academic Year 2012 Advisor's Signature

Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัยต่าง ๆ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วิศิษฐิพร สุขสมบัติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้โอกาสและทุนการศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา ให้คำแนะนำและแนวคิดที่เป็นประโยชน์ทั้งในด้านวิชาการ ด้านการดำเนินการวิจัย ตลอดจนคำแนะนำในการเขียนวิทยานิพนธ์ การตรวจแก้วิทยานิพนธ์และสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินการวิจัยจนเสร็จสมบูรณ์

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

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา ซึ่งให้การสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงานวิจัย ขอขอบคุณฟาร์มมหาวิทยาลัย อาคารศูนย์เครื่องมือและเทคโนโลยี 1 อาคารศูนย์เครื่องมือและเทคโนโลยี 3 อาคารศูนย์เครื่องมือและเทคโนโลยี 10 รวมทั้งพี่ ๆ บุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ เครื่องมือ อุปกรณ์และอำนวยความสะดวกต่าง ๆ รวมถึงคำปรึกษาให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับการวิเคราะห์ข้อมูล

ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ พี่ ๆ และ น้อง ๆ สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในงานวิจัยครั้งนี้

ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การเลี้ยงดูอบรม ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าตลอดมา จนทำให้ประสบความสำเร็จในการศึกษา

รัฐกร มิรัตนไพร

สารบัญ

หน้า

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

บทที่

1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย 2
1.3 สมมติฐานการวิจัย 2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
1.6 เอกสารอ้างอิง 2
2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 กรดไขมัน (Fatty acid) 4
2.1.1 ประเภทของกรดไขมัน 4
2.1.2 ข้อแตกต่างของกรดไขมันที่อิ่มตัวและไม่อิ่มตัว 5
2.2 ไขมันในกระเพาะหมัก 6
2.2.1 ไขมันแบคทีเรีย 7
2.2.2 ไขมันโปรโตซัว 7
2.3 เมแทบอลิซึมของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่ง (PUFA) ในกระเพาะหมัก 7
2.3.1 Hydrolysis 7

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.2 Isomerization 7
2.3.3 Hydrogenation 9
2.4 linseed 11
2.4.1 การใช้ linseed ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ 12
2.5 ความต้องการพลังงาน 18
2.5.1 หน่วยของพลังงาน 19
2.5.1.1 โภชนะย่อยได้ทั้งหมด (Total Digestible Nutrients, TDN) 19
2.5.1.2 Calorie System 19
2.5.2 การจำแนกประเภทของพลังงาน 19
2.5.2.1 พลังงานรวม หรือ Gross energy (GE) 19
2.5.2.2 พลังงานย่อยได้ (Digestible energy, DE) 20
2.5.2.3 พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (Metabolisable energy, ME) 20
2.5.2.4 พลังงานสุทธิ (Net energy) 21
2.5.3 ขั้นตอนของพลังงาน 23
2.5.4 การประเมินคุณค่าทางพลังงานตาม NRC (2001) 25
2.5.4.1 พลังงานจาก NFC 26
2.5.4.2 พลังงานจากโปรตีน 27
2.5.4.3 พลังงานจากไขมัน 28
2.5.4.4 พลังงานจาก NDF 28
2.5.4.5 การประมาณค่า DE 31
2.5.4.6 การประมาณค่าพลังงานสุทธิ (Net energy, NE_L) 33
2.5.5 ความต้องการโปรตีนในโคนม 34
2.5.5.1 การคำนวณโปรตีนในอาหาร 34
2.5.5.2 การคำนวณความต้องการโปรตีนในตัวโคนม 34
2.6 การให้น้ำนมของโค 37
2.6.1 การสังเคราะห์นม (Milk synthesis) 38
2.6.1.1 การสังเคราะห์โปรตีนนม (Milk protein synthesis) 38

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6.1.2 การสังเคราะห์แล็คโตส (Lactose synthesis) 39
2.6.1.3 การสังเคราะห์ไขมันนม (Milk fat synthesis) 40
2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตและองค์ประกอบของน้ำนมดิบ 42
2.7.1 ปัจจัยทางสรีรวิทยา 43
2.7.1.1 ลักษณะทางพันธุกรรม 43
2.7.1.2 อายุ 43
2.7.1.3 วงรอบของการเป็นสัตว์ และการตั้งท้อง 43
2.7.2 ปัจจัยเกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม 44
2.7.2.1 อุณหภูมิและความชื้น 44
2.7.2.2 ฤดูกาล 44
2.7.2.3 ระยะพักการให้นม (Dry period) 44
2.7.2.4 การรีดนม 44
2.7.2.5 อาหารและการให้อาหาร 45
2.8 รายการอ้างอิง 45
3 การศึกษาผลของการเสริม linseed oil ต่อผลผลิตน้ำนม และสัดส่วนของกรดไขมันในน้ำนมของโคนม 50
3.1 คำนำ 50
3.2 วัตถุประสงค์ 51
3.3 อุปกรณ์ และวิธีการ 51
3.3.1 การจัดสัตว์ทดลองและการให้อาหาร 51
3.3.2 วิธีการทดลองและเก็บข้อมูล 52
3.3.2.1 การกินได้ 52
3.3.2.2 น้ำหนักตัว 52
3.3.2.3 ผลผลิตและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม 53
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 54
3.5 สถานที่ทำการทดลอง 54
3.6 ระยะเวลาในการทดลอง 55

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.7 ผลการทดลอง 55
3.7.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร 55
3.7.2 ปริมาณการกินได้ของโคนม 58
3.7.3 การประมาณค่าโปรตีนและพลังงานของโคนมที่ได้รับอาหาร 59
3.7.4 น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง 61
3.7.5 ปริมาณน้ำนมและปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม 61
3.7.6 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำนม (% of total fatty acid) 62
3.8 วิจารณ์ผลการทดลอง 64
3.8.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร 64
3.8.2 ปริมาณการกินได้ของโคนม 65
3.8.3 การประมาณค่าโปรตีนและพลังงานของโคนมที่ได้รับอาหาร 67
3.8.4 น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง 68
3.8.5 ปริมาณน้ำนมและปริมาณองค์ประกอบของน้ำนม 68
3.8.6 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำนม 70
3.9 สรุปผลการทดลอง 71
3.10 รายการอ้างอิง 71
4 การศึกษาผลของการใช้ linseed oil ในอาหารโคต่อนิเวศวิทยาในกระเพาะหมัก 80
4.1 คำนำ 80
4.2 วัตถุประสงค์ 80
4.3 อุปกรณ์ และวิธีการ 80
4.3.1 การจัดการโคเจาะกระเพาะสำหรับทดลองและการให้อาหาร 80
4.3.2 วิธีการทดลองและเก็บข้อมูล 81
4.3.2.1 ระดับความเป็นกรดด่าง (pH) ในกระเพาะหมัก 81
4.3.2.2 ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียในของเหลวจากกระเพาะหมัก (Rumen ammonia) 82
4.3.2.3 การเก็บตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์หากรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acids) 82

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 82
4.5 สถานที่ทำการทดลอง 83
4.6 ระยะเวลาในการทดลอง 83
4.7 ผลการทดลอง 83
4.7.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของของเหลวในกระเพาะหมัก 83
4.7.2 ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) ของของเหลวในกระเพาะหมัก 83
4.7.3 ความเข้มข้นของกรดไขในระเหยได้ (Volatile fatty acid; VFAs) ของของเหลวในกระเพาะหมัก 84
4.7.4 จุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก 86
4.8 วิจารณ์ผลการทดลอง 87
4.8.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของของเหลวในกระเพาะหมัก 88
4.8.2 ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) ของของเหลวในกระเพาะหมัก 88
4.8.3 ความเข้มข้นของกรดไขในระเหยได้ (Volatile fatty acid; VFAs) ของของเหลวในกระเพาะหมัก 88
4.8.4 จุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก 89
4.9 สรุปผลการทดลอง 90
4.10 รายการอ้างอิง 90
5 สรุปและข้อเสนอแนะ 93
ภาคผนวก การประเมินพลังงานและโปรตีน 95
ประวัติผู้เขียน 103

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 แสดงผลของการใช้ linseed เป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารเลี้ยงโคนมต่อผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบน้ำนม 14

2.2 ผลของการใช้ linseed เป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารโคนมต่อ polyunsaturated fatty acid ในน้ำนม 17

2.3 กระบวนการปรับปัจจัย (Processing adjustment factors, PAF) สำหรับ NFC 27

2.4 ประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีนหยาบเพื่อใช้ในการประมาณค่า TDN_{1X} สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสัตว์ 30

2.5 ประสิทธิภาพการย่อยได้เพื่อการดำรงชีพ (Assumed 8% increase in digestibility compared with 3X maintenance) สำหรับอาหารสัตว์จากพวกไขมัน 30

3.1 แสดงลักษณะที่ใช้ในการจัดกลุ่มโคก่อนการทดลอง (Mean±S.D.) 52

3.2 องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร 56

3.3 คุณค่าทางพลังงานในสูตร 57

3.4 การย่อยสลายวัตถุแห้งของอาหาอาหารข้น และ หญ้าหมัก 57

3.5 การย่อยสลายโปรตีนการย่อยสลายโปรตีนของอาหารข้น และ หญ้าหมัก 57

3.6 ผลของการเสริม linseed oil ต่อปริมาณการกินได้ของโคนม 58

3.7 ปริมาณของโปรตีนที่ได้รับจากอาหารและความต้องการของโคนม 60

3.8 พลังงานที่โคนมต้องการเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ และที่โคนมได้รับจากอาหาร 60

3.9 ผลของการเสริม linseed oil ต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว 61

3.10 ผลของการเสริมเสริม linseed oil ต่อปริมาณผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมในโคนม 62

3.11 ผลของการเสริม linseed oil ต่อองค์ประกอบของน้ำนมในโคนม 62

3.12 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำนม (% of total fatty acid) 63

4.1 การจัดกลุ่มทดลองโคเจาะกระเพาะ 81

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.2 ผลการเสริม linseed oil ต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับความเป็นกรด-ด่าง (pH) และแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) ภายในกระเพาะหมักที่เวลาต่าง ๆ หลังการให้อาหาร 84
4.3 ผลการเสริม linseed oil ต่อความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acid; VFAs) ของของเหลวในกระเพาะหมักที่เวลาต่าง ๆ หลังการให้อาหาร 85
4.4 ผลการเสริม linseed oil ต่อจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักในกระเพาะหมักที่เวลาต่าง ๆ หลังการให้อาหาร 86

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1 แสดงกรดไขมันชนิดอิ่มตัว (saturated fatty acid) 5

2.2 แสดงกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) 5

2.3 แสดงกรดลิโนเลอิก (linoleic acid) กรดลิโนเลนิก (linolenic acid) และกรดอะราชิโดนิค (arachidonic acid) 6

2.4 ปฏิกิริยารีดักชั่น แคททาไลท์ (reduction catalyzed) ของ *Propionibacterium acnes* (PAI) 8

2.5 กระบวนการทางชีวเคมี ของ *Propionibacterium acnes* (PAI) และกระบวนการขนส่ง hydrogen ใน PUFA isomerases ของ *Propionibacterium acnes* (PAI), *Ptilota filicina* (PFI) และ *Butyrivibrio fibrisolvens* (BFI) 9

2.6 ขั้นตอนของการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันในกระเพาะหมักและในเนื้อเยื่อ 10

2.7 ขั้นตอนการจำแนกพลังงานประเภทต่าง ๆ 24

2.8 แสดงสัดส่วนโดยประมาณของพลังงานที่สูญเสียและที่ใช้เพื่อกิจกรรมต่าง ๆ ในโคนม 27

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ADF	=	Acid detergent fiber
ADICP	=	Acid detergent insoluble crude protein
ADIN	=	Acid detergent insoluble N
ADL	=	Acid detergent lignin
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
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

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

C14:1	=	Myristoleic acid
C15:0	=	Pentadecanoic acid
C16:0	=	Palmitic acid
C16:1	=	Palmitoleic acid
C17:1	=	Heptadecenoic Acid
C18:0	=	Stearic acid
C18:1n9t	=	Elaidic acid
C18:1n9c	=	Oleic acid
C18:2n6t	=	Linolelaidic acid
C18:2n6c	=	Linoleic acid
C18:3n3	=	α -Linoleic acid
C20:0	=	Arachidic acid
C20:1	=	Gondoic acid
C22:0	=	Behenic acid
C20:3n-6	=	dihomo-γ-linolenic acid
C20:4n-6	=	arachidonic acid
C22:6n-3	=	docosahexaenoic acid
FCM	=	Fat corrected milk
HMB	=	2-hydroxy-4-(methylthio)-butanoic acid
HMBi	=	isopropyl-2-hydroxy-4-(methylthio)-butanoic acid
DL-Met	=	DL- methionine
FCM	=	Fat corrected milk
HMB	=	2-hydroxy-4-(methylthio)-butanoic acid
HMBi	=	isopropyl-2-hydroxy-4-(methylthio)-butanoic acid
M85	=	Mepron 85
NDF	=	Neutral detergent fiber
NDICP	=	Neutral detergent insoluble crude protein
NDIN	=	Neutral detergent insoluble N
NE	=	Net energy

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

NFC	=	Non-fiber carbohydrate
NPN	=	Non protein nitrogen
NRC	=	National research council
RDP	=	Rumen degradable protein
RDPreq	=	Rumen degradable protein requirement
RDPsup	=	Rumen degradable protein supply
RP-Met	=	ruminally protected Met
RUP	=	Rumen undegradable protein
RUPreq	=	Rumen undegradable protein requirement
RUPsup	=	Rumen undegradable protein supply
SmM	=	Smartamine
tdCP	=	Truly digested crude prote

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในผลิตภัณฑ์จากสัตว์เคี้ยวเอื้องมีปริมาณของกรดไขมันอิ่มตัว (saturate fatty acids, SFA) อยู่สูงเนื่องจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของไขมันในร่างกายของสัตว์เอง หากผู้บริโภคได้รับกรดไขมันดังกล่าวในปริมาณที่มากจะไม่เป็นผลดีต่อสุขภาพ แต่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) บางชนิดที่พบในผลิตภัณฑ์จากสัตว์เคี้ยวเอื้อง ได้แก่ กรดไขมันโอเมก้า 6 (omega-6, C18 : 2n-6) และโอเมก้า 3 (omega-3, C18:3n-3) ซึ่งกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่ง (polyunsaturated fatty acids, PUFA) มีความสำคัญต่อสุขภาพผู้บริโภค เช่น ช่วยป้องกันมะเร็ง และโรคไขมันอุดตันในเส้นเลือด (atherosclerosis) (Cruz-Hernandez et al., 2007)

ปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่ง(polyunsaturated fatty acids, PUFA) มีความจำเป็นต่อสุขภาพมนุษย์ เนื่องจากร่างกายมนุษย์ไม่สามารถสังเคราะห์ได้เอง Dierking et al. (2010) กล่าวว่า สัดส่วนของ omega-6 ต่อ omega-3 (ω6/ω3) ในระดับที่เหมาะสมต่อมนุษย์ คือ 2 : 1 ถึง 4 : 1 ซึ่งปัจจุบันมีงานวิจัยที่ช่วยปรับปรุงคุณภาพของกรดไขมันในผลิตภัณฑ์นม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเพิ่ม PUFA และการลดสัดส่วนของ omega-6 ต่อ omega-3 (ω6/ω3) เช่น การเสริมอาหารที่มีไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated lipids) และการใช้พืชน้ำมันทั้งในรูปของเมล็ดและน้ำมันที่ผ่านการสกัดแล้ว

ทั้งนี้พืชน้ำมันที่มีความน่าสนใจและมีปริมานกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงชนิดหนึ่ง คือ ลินสีด ซึ่งอาจจะมีผู้รู้จักในนามของพืชเศรษฐกิจชนิดใหม่ของประเทศที่ทางโครงการหลวงได้นำมาทดลองปลูกในเขตของภาคเหนือ โดยผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จากลินสีดที่คนไทยรู้จักและคุ้นเคยนั้น ได้แก่ น้ำมันลินสีดที่ใช้ผสมสี และทำหมึกพิมพ์ ด้วยคุณสมบัติของลินสีดที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่สูง จึงมีการนำเอาลินสีดมาใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารสัตว์เพื่อเพิ่มกรดไขมันที่จำเป็นในไข่ไก่ เนื้อสัตว์ รวมไปถึงน้ำนมจากสัตว์ ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของ การใช้ linseed ในอาหารโคนมต่อผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบน้ำนม และสัดส่วนของกรดไขมัน ในน้ำนม โดยมีงานวิจัยหลายงานพบว่าการเสริม เมล็ดหรือน้ำมันลินสีด สามารถเพิ่มปริมาณกรดไขมัน omega-3 ในน้ำนมให้สูงขึ้นและสามารถลดสัดส่วนของ omega-6 ต่อ omega-3 (ω6/ω3) ในน้ำนมให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมได้ (Zachut et al., 2010; Bu et al., 2007; Gonthier et al., 2005; Petit et al., 2004) โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่มีการเสริม

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของการเสริม linseed oil ต่อผลผลิตโคนมลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเชียน (Crossbred Holstein Friesian)

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของการเสริม linseed oil ต่อองค์ประกอบน้ำนมและสัดส่วนของกรดไขมันในน้ำนม

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1.3.1 การเสริม linseed oil ในสูตรอาหารข้นของโคนมสามารถส่งเสริมให้ผลผลิตน้ำนมสูงขึ้น

1.3.2 การเสริม linseed oil ในสูตรอาหารข้นของโคนมสามารถส่งผลให้องค์ประกอบน้ำนมและกรดไขมันในน้ำนมดีขึ้น

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาผลของการเสริม linseed oil ระดับ 150 g/d และ 300 g/d เสริมในอาหารข้น (Concentrate) สำหรับเลี้ยงโคนมลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชียน (Crossbred Holstein Friesian) ในระยะให้นม เพื่อศึกษาผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบของน้ำนมและกรดไขมันในน้ำนม

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบถึงปริมาณผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนมในโคนม ที่ได้รับอาหารข้นที่มีการเสริม linseed oil

1.5.2 ทราบถึงปริมาณที่ให้ประสิทธิภาพสูงที่สุดของ linseed oil ที่ทำการเสริมร่วมกับอาหารข้นของโคนม

1.5.3 ทราบถึงปริมาณของกรดไขมันในน้ำนมของโคนมเมื่อได้รับอาหารข้นที่เสริม linseed oil

1.6 เอกสารอ้างอิง

Bu, D. P., Wang, J. Q., Dhiman, T. R. and Liu, S. J. (2007). Effective ness of oils rich in linoleic and linolenic acids to enhance conjugated linoleic acid in milk from dairy cows. **J**. **Dairy Sci**. 90: 998-1007.

Cruz-Hernandez, C., Kramer, J. K.G., Kennelly, J. J., Glimm, D. R., Sorensen, B. M., Oking, E. K., Goonewardene, L. A. and Weselake, R. J. (2007). Evaluating the conjugated linoleic acid and trans 18:1 isomers in milk fat of dairy cows fed increasing amounts of sunflower oil and a constant level of fish oil. **J**. **Dairy Sci**. 90: 539-552.

Dierking, R. M., Kallenbach, R. L. and Grun, I. U. (2010). Effect of forage species on fatty acid content and performance of pasture–finished steers. **Meat Science**. 85: 597-605.

Gonthier, C., Mustafa, A. F., Ouellet, D. R., Chouinard, P. Y., Berthiaume, R. and Petit, H. V. (2005). Feeding micronized and extruded flaxseed to dairy cows : effects on blood parameters and milk fatty acid composition. **J**. **Dairy Sci**. 88: 748-756.

Petit, H. V., Germiquet, C. and Lebel, D. (2004). Effect of feeding whole, unprocessed sunflower Seeds and flaxseed on milk production, milk composition, and prostaglandin secretion in dairy cows. **J**. **Dairy Sci**. 87: 3889-3898.

Zachut, M., Dekel, I. Lehrer, H. Arieli A., Arav, A. Livshitz, L., Yakoby, S. and Moallem, U. (2010). Effects of dietary fats differing in n-6:n-3 ratio fed to high-yielding dairy cows on fatty acid composition of ovarian compartments, follicular status and oocyte quality. **J**. **Dairy Sci**. 93: 529-545.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในสัตว์เคี้ยวเอื้องจะมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของไขมันจากอาหารโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก ส่งผลให้มีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acids, SFA) อยู่สูงในผลิต-ภัณฑ์ เช่น ในเนื้อและนม หากผู้บริโภคได้รับมากเกินไปจะไม่เป็นผลดีต่อสุขภาพ อย่างไรก็ตามในน้ำนมสัตว์เคี้ยวเอื้องมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่ง (polyunsaturated fatty acids, PUFA) ที่มีความสำคัญต่อสุขภาพของผู้บริโภค เนื่องจากร่างกายมนุษย์ไม่สามารถสังเคราะห์ได้เอง ซึ่งผู้บริโภคควรได้รับ PUFA ที่มีสัดส่วนของกรดไขมันโอเมก้า 6 (omega-6) ต่อโอเมก้า 3 (omega-3) (ω6/ω3) จากในน้ำนมระดับที่เหมาะสมคือ 2 : 1 ถึง 4 : 1 ซึ่งสัดส่วน 4 : 1 สามารถป้องกันโรคหลอดเลือดหัวใจ (cardiovascular disease) และสัดส่วน 2 : 1 ลดมะเร็งลำไส้ (colorectal cancer) เป็นต้น ดังนั้นการใช้กลยุทธ์ที่ช่วยเพิ่มปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสายยาวหลายตำแหน่งในเนื้อสัตว์เคี้ยวเอื้องได้แก่ การเลือกใช้อาหาร เช่น การเสริมอาหารที่มีไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated lipids) และการใช้พืชน้ำมันทั้งในรูปของเมล็ดและน้ำมันที่ผ่านการสกัดแล้ว

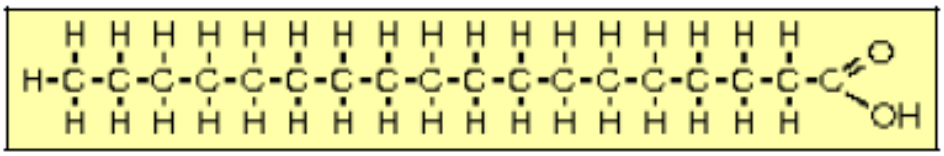
2.1 กรดไขมัน (Fatty acid)

กรดไขมันเป็นกรดอินทรีย์ที่มีหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) หมู่เดียวต่ออยู่กับไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) สายยาวดังนี้ คือ R-COOH (R แทน hydrocarbon ที่ต่างกับไป) ในธรรมชาติจะพบกรดไขมันในรูปอิสระ (free fatty acid) น้อยมาก ส่วนใหญ่มักจะอยู่ในรูปของ ester กรดไขมันในธรรมชาติมักจะมีจำนวน carbon อะตอมเป็นเลขคู่ ระหว่าง 4-24 อะตอม ที่พบมากจะมีจำนวน carbon 16 และ 18 อะตอม (วิทธวัช, 2540)

2.1.1. ประเภทของกรดไขมัน

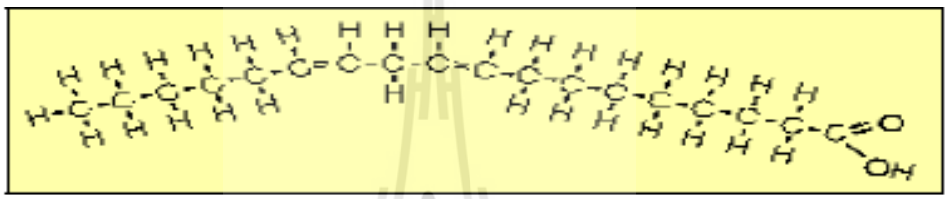
กรดไขมันแบ่งตามลักษณะโครงสร้างทางเคมีได้ 2 ประเภท ดังนี้คือ

-กรดไขมันชนิดอิ่มตัว (Saturated fatty acid) คือ กรดไขมันที่มีจำนวนอะตอมของ hydrogen เต็มความสามารถของ carbon อะตอมที่จะรับได้ ดังนั้นกรดไขมันชนิดนี้จึงมีเฉพาะพันธะเดี่ยว (single bond) ระหว่างอะตอม carbon เท่านั้น ดังรูป



ภาพที่ 2.1 แสดงกรดไขมันชนิดอิ่มตัว (saturated fatty acid)

-กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) คือกรดไขมันที่มีพันธะคู่ (double bond) ระหว่างอะตอม carbon อย่างน้อย 1 คู่ ทำให้สามารถรับอะตอมของ hydrogen ได้อีก ดังรูป



ภาพที่ 2.2 แสดงกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid)

2.1.2 ข้อแตกต่างของกรดไขมันที่อิ่มตัวและไม่อิ่มตัว

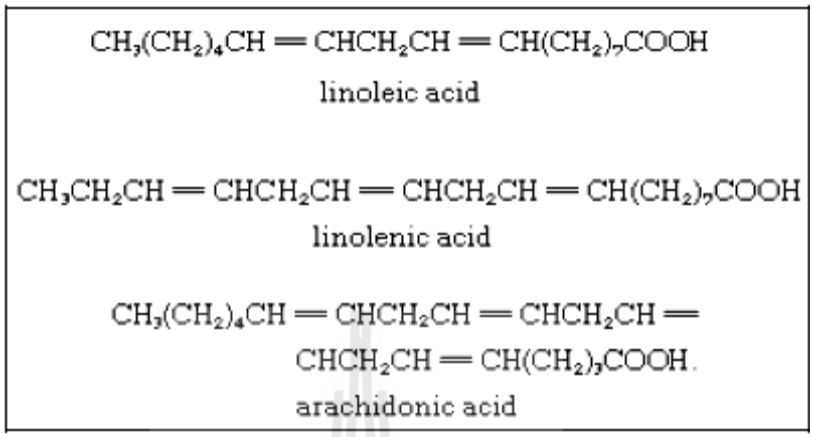
1. ในกรณีที่จำนวน carbon เท่ากัน กรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่าจะมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่า ไขมันจะมีลักษณะนิ่มกว่าหรือมีลักษณะเหลวที่อุณหภูมิห้อง ในเวลาเดียวกันไขมันที่มีกรดไขมันอิ่มตัวประกอบอยู่มากจะแข็งกว่า มีจุดหลอมเหลวสูงกว่า จุดหลอมเหลวของไขมันจะเป็นตัวบ่งให้ทราบถึงปริมาณ และชนิดของ fatty acid ที่ประกอบอยู่ในไขมันนั้นในทางอ้อม

2. กรดไขมันที่มีจำนวน carbon มากกว่าจะมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าเสมอ ไม่ว่าจะเป็นชนิดอิ่มตัวหรือไม่อิ่มตัวก็ตาม

3. กรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวในโมเลกุล ประกอบด้วยพันธะคู่ (double bond) จึงถูก oxidized ได้ง่าย ตรงตำแหน่ง double bond ทำให้หืนได้เร็วและง่าย ดังนั้น ไขมันชนิดไหนที่ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณมาก จะเก็บไว้ได้ไม่นานเพราะจะหืนง่าย

4. กรดไขมันที่มีจำนวน carbon น้อยกว่า จะมีจุดเดือดต่ำกว่าพวก carbon มาก กรดไขมันบางชนิดร่างกายของสัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์เองได้ หรือสังเคราะห์เองได้แต่ไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกายสัตว์ สัตว์จึงจำเป็นต้องได้รับจากอาหาร เราเรียกกรดไขมันชนิดนี้ว่า กรดไขมันที่จำเป็น (essential fatty acid) มีอยู่ 3 ชนิดคือ กรดลิโนเลอิค (linoleic acid) กรดลิโนเลนิค (linolenic acid) และ กรดอะราชิโดนิค (arachidonic acid) (ภาพที่ 2.3) อย่างไรก็ตามในบางตำรา

ไม่จัดกรดอะราชิโดนิคเป็นกรดไขมันที่จำเป็น เนื่องจากสามารถสังเคราะห์ได้จากกรดลิโนเลอิก ซึ่งเป็นกรดไขมันต้นกำเนิดในกลุ่ม ω6 (พันทิพา, 2535)



ภาพที่ 2.3 แสดงกรดลิโนเลอิก (linoleic acid) กรดลิโนเลนิก (linolenic acid) และ กรดอะราชิโดนิค (arachidonic acid)

กรดไขมันที่จำเป็นมีความสำคัญต่อร่างกายคือ เป็นส่วนประกอบของเนื้อเยื่อ เป็นพาหะในการขนส่งไขมันในร่างกาย และยังเป็นส่วนประกอบของ enzyme และ hormone บางชนิดเป็นต้น ในกรณีที่ร่างกายขาดหรือได้รับกรดไขมันจำเป็นไม่เพียงพอ โดยเฉพาะกรดลิโนเลอิค จะมีผลทำให้ตับขยายใหญ่ มีการสะสมไขมันในตับมากกว่าปกติ นอกจากนี้ยังพบกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว คือ eicosatrienoic acid (20 : 3) สะสมในตับและเนื้อเยื่อไขมันต่างๆ ซึ่ง eicosatrienoic acid นี้ถูกใช้เป็น indicator ในการบอกถึงขนาดกรดไขมันในร่างกาย (วิทธวัช, 2540)

2.2 ไขมันในกระเพาะหมัก

โดยทั่วไปโคที่ได้รับหญ้าแห้งจะมีความเข้มข้นของไขมันทั้งหมดอยู่ในปริมาณที่ค่อนข้างจะคงที่ในแต่ละวัน คือจะมีปริมาณ 500 มก/100 กรัมของวัตถุในกระเพาะหมัก โดยประมาณ 80% จะอยู่ในอาหาร 16% อยู่ในโปรโตซัว และ 4% อยู่ในแบคทีเรีย

ไขมันที่อยู่ในอาหารสัตว์ จะมีทั้งไตรกลีเซอไรด์และกาแลคโตไลปิด ซึ่งไขมันส่วนนี้จะถูกเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในกระเพาะหมัก ได้กรดไขมันอิสระ กลีเซอรอล และ กาแลคโตส ซึ่งจะถูกนำไปใช้โดยจุลินทรีย์และไหลผ่านไปยังทางเดินอาหารส่วนล่าง

2.2.1 ไขมันแบคทีเรีย

ไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักของไขมันแบคทีเรียยังไม่สามารถที่จะบ่งบอกได้แน่ชัดว่ามีชนิดใดบ้าง อย่างไรก็ตามมีรายงานว่า 30% ของไขมันทั้งหมดของแบคทีเรียจะเป็น unesterified fatty acids 20%, phosphatidylethanolamine, 6.5%, phosphatidylserine, 0.4% phosphatedylcholine และอีก 43% ยังไม่สามารถที่จะแยกแยะได้ ซึ่ง sphingolipids อาจจะเป็นไขมันในส่วนที่ยังไม่สามารถแยกได้ก็เป็นได้ ซึ่งโดยพบว่ามีประมาณ 50% ของไขมันทั้งหมดที่พบใน *Bacteriodes ruminicola* และมีบ้างที่เป็น glycolipids สำหรับกรดไขมันที่มีพบในแบคทีเรียได้แก่ myristic (3.9%) pentadecanoic (8%) palmitic (31%) margaric (1.6%) stearic (15%) oleic (6%) linoleic (2.7%) และกรดไขมันอื่น ๆ (15.8%)

2.2.2 ไขมันโปรโตซัว

ไขมันในโปรโตซัวจะเป็นพวก unesterified fatty acid (10.1%) monoacylglycerols (1.4%) diacylglycerols (1%) phospholipids (85.5%) sterol esters waxes ect. (0.7%) โดยพวกฟอสโฟไลปิดที่ปรากฏอยู่จะประกอบด้วย phosphatidylcholine (36.3%) phosphatidylethanol-amine (18.7%) diacylglycerol aminoethylphosphonate (11%) และethanolamine plasmalogen (9.5%) ส่วนกรดไขมันที่วิเคราะห์ได้มีพวก pentadecanoic (3.4%) palmitic (43.1%) stearic (9.3%) oleic (18.4%) linoleic (16.1%) และกรดไขมันที่มีสาขาอื่น ๆ (4.9%)

2.3 เมแทบอลิซึมของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่ง (PUFA) ในกระเพาะหมัก

กรดไขมันที่พบในอาหารสัตว์ เมื่อมาถึงกระเพาะหมักมีการเปลี่ยนแปลง 3 ขั้นตอน คือ

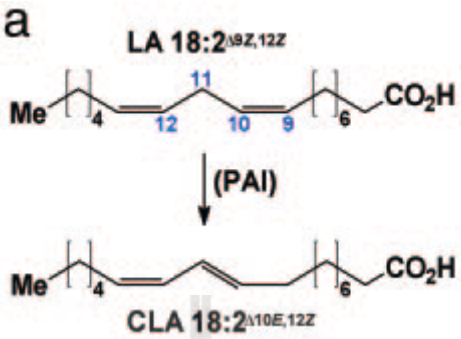
2.3.1 Hydrolysis

ทั้ง galactolipids และ phospholipids ในพืชอาหารสัตว์เป็นจุดเริ่มต้นให้เอนไซม์ของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักทำงาน (Faruque et al,. 1974) โดยมีแบคทีเรีย *Anaerovibrio lipolytica* มีบทบาทที่สำคัญในการผลิต hydrolytic enzymes 2 ชนิด ได้แก่ cell-bound esterase และ extracellular lipase นอกจากนี้ Hespell and O'Bryan-Shah (1988) พบว่า esterase ได้มาจากแบคทีเรียหลากหลายชนิดประกอบด้วย 30 strains ของ *Butyrivibrio fibrisolvens* แต่แบคทีเรียที่ย่อยสลายพันธะเอสเทอร์ (esters) ของกรดไขมันสายยาว (long-chain fatty acids) นั้นพบได้น้อยมาก

2.3.2 Isomerization

เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวจาก cis ให้เป็น trans จากการทำงานของเอนไซม์ isomerase ของแบคทีเรีย ซึ่งจะมีความจำเพาะสูงกับ c9, c12-CLA กระบวนการ isomerization ของ CLA อธิบายได้ดังนี้ hydrogen radical หรือประจุลบได้ตำแหน่ง C11 เกิดการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่ (double-bond shift) และเกิด rehydrogenation ที่ตำแหน่ง C13 หรือ C9

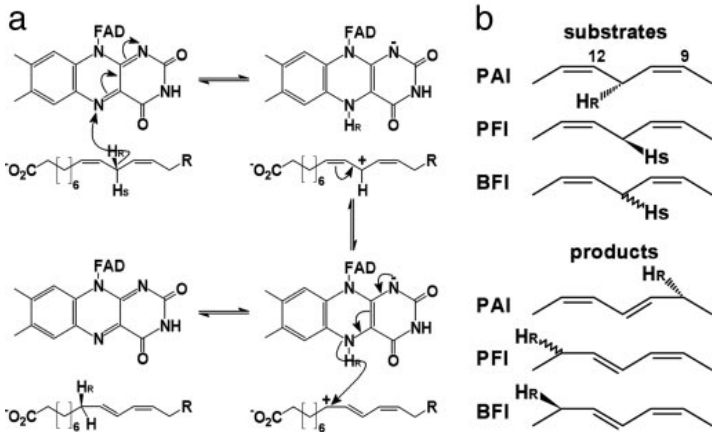
โดย *Propionibacterium acnes* (ภาพที่ 2.4) อย่างไรก็ตามยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัดถึงกระบวนการทางเคมีในการเปลี่ยนจาก pentadienyl moiety ใน a conjugated diene



ภาพที่ 2.4 ปฏิกิริยารีดักชั่น แคททาไลท์ (reduction catalyzed) ของ *Propionibacterium acnes* (PAI)
ที่มา : Liavonchanka et al. (2006)

นักชีวเคมีได้รายงานถึงกลไกการทำงานของ PUFA isomerases จาก *Butyrivibrio fibrisolvens* (BFI) และ red algae *Ptilota filicina* (PFI) ซึ่ง PFI มี flavin adenine dinucleotide (FAD) เป็น cofactor และมีการพบ dinucleotide-binding domains ที่พบใน FAD-containing aminooxidases (ภาพที่ 2.5) อย่างไรก็ตามในปัจจุบันยังไม่พบโครงสร้างของ PUFA isomerase แต่ทางนักวิทยาศาสตร์ได้กำหนด crystal structure ของ PAI เพื่ออธิบายถึง active site และสกัดโครงสร้างทางเคมีของ polyenoic fatty acid isomerization ส่วนโครงสร้างของ PAI สามารถที่จะส่งเสริมการทำงานของสารตั้งต้นที่จำเพาะ (substrate specificity) ที่ไม่ได้เป็นกรดไขมันอิสระได้อีกด้วย

Conacher and Gunstone (1969) รายงานว่า PFI มี FAD เป็น cofactor ซึ่งเอนไซม์ที่ผลิตขึ้นสามารถเคลื่อนย้าย H-atom ของ gramma-linoleic acid ที่ตำแหน่ง C-13 และเคลื่อนย้าย H-atom และ proton ที่ตำแหน่ง C11 ผลทำให้เกิด isomerization ถึง 2 พันธะคู่ จากข้อมูลดังกล่าวพบว่ากระบวนการที่เกี่ยวข้องกับ PUFA isomerase enzymes ได้แก่ มีการขจัด H-atom ที่ตำแหน่ง C11 ของ C18-PUFA จากนั้น H-atom ถูกเคลื่อนย้ายไปยังตำแหน่ง C9 โดย *P. acnes* หรือ C13 โดย *B. fibrisolvens* และ *P. filicina* (Liavonchanka et al., 2006)



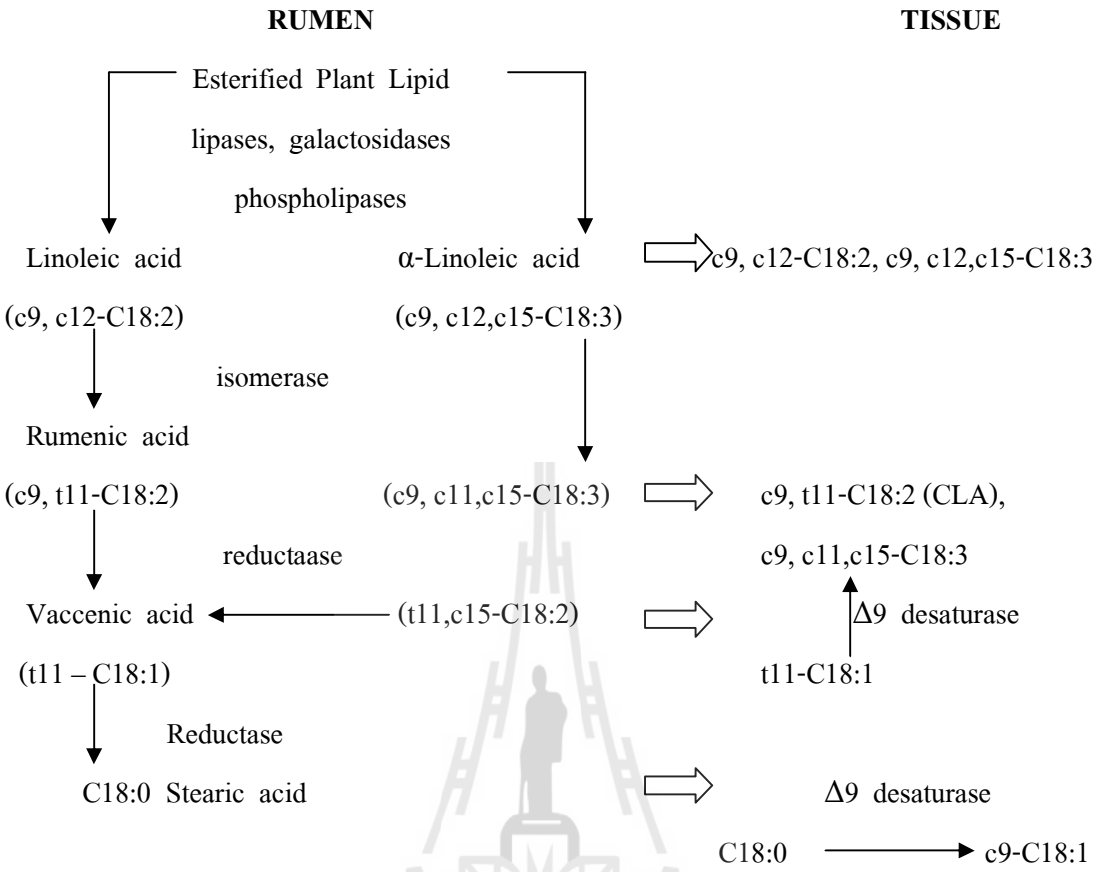
ภาพที่ 2.5 กระบวนการทางชีวเคมี ของ *Propionibacterium acnes* (PAI) และกระบวนการขนส่ง hydrogen ใน PUFA isomerases ของ *Propionibacterium acnes* (PAI), *Ptilota filicina* (PFI) และ *Butyrivibrio fibrisolvens* (BFI)

ที่มา : Liavonchanka et al. (2006)

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าปฏิกิริยา isomerization ในกระเพาะหมักไม่ได้เกิดจากจุลินทรีย์ชนิดใดชนิดหนึ่ง แต่เกิดจากจุลินทรีย์หลายชนิดที่มีการทำงานร่วมกัน ซึ่งกระบวนการดังกล่าว ทำให้จุดหลอมเหลวของกรดไขมันสูงขึ้น ไขมันมีลักษณะแข็งตัวขึ้น กรดไขมันอิ่มตัวที่พบมากคือ stearic acid และ palmitic acid นอกจากนี้ จุลินทรีย์สามารถสังเคราะห์กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนเป็นเลขคี่จาก propionic acid และกรดไขมันที่มีสายไฮโดรคาร์บอนที่เป็นแขนงได้ โดยสังเคราะห์ได้จากกรดอะมิโน ได้แก่ valine leucine และ isoleucine

2.3.3 Hydrogenation

กระบวนการนี้เกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก แบคทีเรียที่ทำให้เกิดกระบวนการนี้ ได้แก่ *Butyrivibrio fibrisolvens* และ *Anaerovibrio lipolytica* (Jenkins, 1993) เป็นหลัก โดยมีการเติมไฮโดรเจนเข้าไปในพันธะคู่ของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวให้กลายเป็นกรดไขมันที่อิ่มตัวจากการทำงานของเอนไซม์ reductase (Drackley, 2000) ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.6 ขั้นตอนของการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันในกระเพาะหมักและในเนื้อเยื่อ
ที่มา : Jenkins (1993); Drackley (2000); Mele et al. (2008)

การเกิด hydrogenation เกิดขึ้นเพื่อขจัด reducing power คือ H-atom ในสภาพไร้ออกซิเจน (anaerobic fermentation) H-atom จะถูกเคลื่อนย้ายไปยังพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว และป้องกันการเกิดพิษที่จะส่งผลกระทบต่อจุลินทรีย์ ใน *B. fibrisolvens* พบว่าการเกิดพิษเนื่องจากไขมันจะมีระดับความแตกต่างขึ้นอยู่กับชนิดของกรดไขมัน ดังนี้ linolenic acid มีความเป็นพิษมากกว่า linoleic acid หรือ CLA (Maia et al., 2006) หลังจากเกิดกระบวนการ hydrogenation โดย *B. fibrisolvens* จะมีการสะสมของ c9,t11-CLA ขึ้นเนื่องจากจุลินทรีย์ดังกล่าวขาดความสามารถในการ hydrogenated CLA ให้ได้เป็น vaccenic acid (t11C18:1) ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเข้าใจการทำงานของ genes expression ของเอนไซม์ และกระบวนการ hydrogenation ที่เกิดขึ้นอย่างชัดเจน (Jenkins et al., 2008)

2.4 linseed

linseed เป็นพืชในสกุล *Linum* จัดอยู่ในวงศ์ *Linaceae* ซึ่งประกอบด้วยพืชหลายชนิดในหลายสกุล ที่สำคัญ คือ *Linum*, *Dasylinum, Cathartolium, Linastrum* และ *Syllinum* โดยเฉพาะ 2 สกุลหลังแตกต่างไปมากเพราะมีใบขนาดใหญ่ ลำต้นเป็นพุ่มแผ่กว้าง และมีกรด ricinoleic acid ในเมล็ดสูงมาก ปกติแล้ว พืชในสกุล *Linum* มีด้วยกันประมาณ 200 ชนิด ขึ้นทั่วไปทั้งในเขตอบอุ่นและเขตหนาวในซีกโลกเหนือ ส่วนใหญ่ทางแถบยุโรปและเอเชีย และมีประมาณ 50 ชนิด มีในแถบทวีปอเมริกา และมีเพียงชนิดเดียวคือ *L. usitatissimum* เท่านั้นที่มีความสำคัญทางการเกษตร มีทั้งพวกที่มีแคปซูลเป็นแบบ non-dehiscent (ไม่แตกเมื่อแก่) และแบบ dehiscent capsule (แตกเมื่อแก่)นิยมปลูกเป็นพืชล้มลุก สูงประมาณ 60-120 ซม. พันธุ์ที่ปลูกใช้เส้นใย (fiber type) มักมีลำต้นผอมบางค่อนข้างสูง ไม่แตกหน่อ และแตกกิ่งน้อย ขณะที่พันธุ์ที่ปลูกเพื่อใช้เมล็ดสกัดน้ำมัน ปกติจะมีขนาดเล็กกว่า แตกกิ่งมาก และมีการแตกหน่อมาก ดอกมีขนาดเล็ก สีน้ำเงินสดใส แต่อาจมีสีชมพู หรือมีกลีบดอกสีขาวที่ปลายช่อดอกที่เป็นแบบ panicle แม้ว่าดอกจะมีต่อมน้ำหวาน แต่ก็เป็นพืชผสมตัวเอง โดยมีเปอร์เซ็นต์ผสมข้ามที่น้อยกว่า 10% ผลของลินสีดเป็นแบบแคปซูล รูปร่างกลม แบ่งออกเป็น 5 ห้อง (chambers) แต่ละช่อง (ห้อง) มีเมล็ดสีเหลืองหรือน้ำตาล ประมาณ 2 เมล็ด น้ำหนัก 1,000 เมล็ดประมาณ 3-16 ก. ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์

เมล็ดลินิน ประกอบไปด้วยกรดแอลฟาลิโนเลนิค (alpha-linolenic acid; ALA) ซึ่งเป็นกรดไขมันจำเป็นชนิด Omega-3 ซึ่งมีปริมาณมากถึง 40-60% เมล็ดลินินยังประกอบไปด้วยกรดไขมันจำเป็นชนิด Omega-6 ในรูปของกรดลิโนเลอิค (linoleic acid; LA) นอกจากนี้แล้วยังเป็นแหล่งของสารลิกแนน (lignans) ซึ่งให้ประโยชน์ต่อร่างกายเช่นเดียวกัน

ตัวอย่างของ % กรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบของ linseed oil ในทางอุตสาหกรรม

C16:0	6%	Palmitic
C18:0	2.5%	Stearic acid
C20:0	5%	Arachidic acid
C18:1	19%	Oleic acid
C18:2	24.1%	Linoleic acid
C18:3	47.4%	Linolenic acid
	0.2%	Other

2.4.1 การใช้ linseed ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์

พบว่ามีการนำ linseed มาใช้เป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารสัตว์ปีก โดยนำมาใช้ในรูปของ linseed meal ซึ่งผลของการใช้นั้นพบว่า ระดับของ omega 3 ในไข่ เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ในปัจจุบันมีความสนใจในการเสริมลินซีดให้กับโคนมเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เพราะมีองค์ประกอบของกรดไขมัน โดยเฉพาะกรดไลโนเลอิก ซึ่งให้กรดไขมันชนิด n-3 และสามารถช่วยเพิ่มองค์ประกอบของ CLA ในขณะที่สามารถลดองค์ประกอบของ SFA ในน้ำนมของสัตว์เคี้ยวเอื้อง (Chilliard et al., 2007) มีการศึกษาจำนวนมากเกี่ยวกับผลของการเสริมลินซีดต่อผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนม (Glasser et al., 2008a) การศึกษาส่วนใหญ่เสริมในรูป whole, rolled, crushed, หรือ ground crude linseed (Kennelly, 1996; Collomb et al., 2004); linseed oil (Dhiman et al., 2000; Loor et al., 2005) และ extruded หรือ micronized linseed (Gonthier et al., 2005; Akraim et al., 2007) กรดไขมัน *cis*-9, *trans*-11 CLA จะถูกสังเคราะห์เป็น intermediate product ในกระเพาะหมัก ระหว่างการเกิดกระบวนการ biohydrogenation ของกรดไลโนเลอิกจากอาหาร หรือ ในเนื้อเยื่อของสัตว์ด้วย Δ9-desaturase จากกรดแวคเซนิก (**VA**, *trans*-11 C18:1) ซึ่งเป็น intermediate อีกชนิดหนึ่งในกระบวนการ biohydrogenation ในกระเพาะหมัก (Griinari and Bauman, 1999) ไม่เหมือนกับกรดไลโนเลอิก การเกิดกระบวนการ biohydrogenation ของกรดไลโนเลนิก (C18:3n-3) ในกระเพาะหมัก จะนำไปสู่การเกิด VA ไม่ใช่ *cis*-9, *trans*-11 CLA (Harfoot and Hazlewood, 1997) ประมาณว่าร้อยละ 80 ของ *cis*-9, *trans*-11 CLA ที่ปรากฏในไขมันในน้ำนมโคถูกสังเคราะห์มาจากต่อมน้ำนม โดยผ่านทาง Δ9-desaturase (Mosley et al., 2006) มีรายงานว่าการเสริม ELS (Control+ extruded linseed) ในอาหารทำให้องค์ประกอบของไขมันในน้ำนมและผลผลิตน้ำนมลดลง เมื่ออาหารมีองค์ประกอบของ NDF ค่อนข้างสูง (42-43% of DM; Gonthier et al., 2005; Akraim et al., 2007) แต่ไม่ส่งผลต่อองค์ประกอบของไขมันในน้ำนมและผลผลิตน้ำนมเมื่ออาหารมีองค์ประกอบของ NDF ค่อนข้างต่ำ (31%) ทำนองเดียวกัน การเสริม LSO (Control+linseed oil) ทำให้องค์ประกอบของไขมันในน้ำนมและผลผลิตน้ำนมลดลงเมื่อเสริมในอาหารที่มีองค์ประกอบของ NDF ต่ำ แต่ไม่มีผลเมื่อเสริมในอาหารที่มีองค์ประกอบของ NDF สูง (Dhiman et al., 2000; Loor et al., 2005; Flachowsky et al., 2006)

การเสริม CLS(Control+whole crude linseed) ไม่มีผลต่อการกินได้วัตถุแห้งและผลผลิตน้ำนม สอดคล้องกับการศึกษาของ Gonthier et al. (2005) และ Beauchemin et al. (2009) ที่เสริมด้วย ground crude linseed ถึงแม้ว่าจะมีรายงานว่าการกินได้วัตถุแห้งลดลงเมื่อเสริมด้วย crushed linseed (Kennelly, 1996) การเสริม CLS ไม่มีผลต่อการกินได้วัตถุแห้งและผลผลิตน้ำนมอาจเนื่องมาจากกรดไขมันใน whole crude linseed นั้นไม่ได้ถูกย่อยในกระเพาะหมักเร็วเท่ากับ ELS

(Control+extruded linseed) และ LSO (Control+linseed oil) ดังนั้นการทำหน้าที่ของกระเพาะหมักจึงไม่ถูกรบกวน

มีรายงานว่าผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้นเมื่อเสริมด้วย linseed oil (Loor et al., 2005, using 3% oil with hay-based diet; Bu et al., 2007, using 4% oil with hay/corn silage (61/39)-based diet), ในขณะที่พบว่าผลผลิตน้ำนมลดลงเมื่อเสริมด้วย extruded linseeds [Gonthier et al., 2005, using 13% linseeds with grass/corn (60/40) silage-based diet; Akraim et al., 2007, using 17% linseed with corn silage-based diet] ผลผลิตน้ำนมที่ลดลงในการศึกษาดังกล่าวอาจเป็นเพราะว่าการกินได้วัตถุแห้งและการย่อยได้เยื่อใยลดลง (Martin et al., 2008) เนื่องมาจากการเสริมน้ำมันในระดับสูง 5% DMI of LSO (Control+linseed oil) หรือ 15% DMI of ELS(Control+extruded linseed) อย่างไรก็ตาม การศึกษาก่อนหน้านี้ไม่พบว่าการกินได้วัตถุแห้งลดลงเมื่อเสริมด้วย ELS (Control+extruded linseed) หรือ LSO(Control+linseed oil) (Gonthier et al., 2005; Loor et al., 2005; Bu et al., 2007)

รายงานการศึกษาของ Loor et al.(2005) ที่ศึกษาการใช้ linseed oil ร่วมกับการให้อาหารโคนมที่มีสัดส่วนของอาหารข้นและอาหารหยาบในอัตราส่วนที่แตกต่าง คือ 35 : 65 (low concentrate: high forge; LC) และ 65 : 35 (high concentrate : low forge; HC) โดยแบ่งอาหารออกเป็น 4 สูตร คือ LC, HC, LCO (LC+Linseed Oil at 3% of DM) และ HCO (HC+Linseed Oil at 3% of DM) พบว่าปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบน้ำนม (ไขมันน้ำนม โปรตีนน้ำนม และ แล๊คโตส) ไม่มีความแตกต่างกัน สอดคล้องกับรายงานการศึกษาของ Flowers et al. (2008) ที่ศึกษาเกี่ยวปริมาณน้ำนมกับองค์ประกอบน้ำนมของโคนมที่ได้รับอาหารเสริม Linseed oil จากอาหาร 3 สูตร คือ control (control grain supplement), LSO1 (control+170 g/d of Linseed oil), LSO2 (control+ 340 g/d of Linseed oil) และ LSO3 (control+510 g/d of Linseed oil) และรายงานของ Petit et al. (2005) ที่ศึกษาเกี่ยวกับ ผลของการให้อาหาร flaxseed ที่มีต่อความต้องการโปรตีนและการขับออกของไนโตรเจนในโคนมที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณของโปรตีนต่างกัน 2 ระดับ โดยแบ่งอาหารออกเป็น MPC (Medium protein (16%) control); MPF (medium protein (16%) with flaxseed); HPC (high protein (18%) control) และ HPF (high protein (18%) with flaxseed) แต่จากรายงานการศึกษาของ Petit el al. (2002) ที่ศึกษาเกี่ยวกับผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนมของโคนมที่ได้รับอาหารที่มีกรดไขมันโอเมก้าเป็นส่วนประกอบ โดยใช้อาหารในการศึกษา 4 สูตร คือ MEG (Megalac), LIN (formaldehyde-treated whole linseed), FIS (50 : 50 of fish oil and formaldehyde-treated whole linseed) และ OIL (no fat in the concentrate but with 500 g of linseed oil) และรายงานของ Petit et al. (2004) ที่ศึกษาเกี่ยวกับการใช้อาหาร Whole, Unprocessed Sunflower seeds และ Flaxseeds ต่อผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบน้ำนมและการหลั่งสาร prostaglandin ในโคนม โดยทำการแบ่งอาหารทดลองออกเป็น 4 สูตรคือ MEG (calcium salts of

palm oil, Megalac), FLA (Whole unprocessed flaxseed), SUN (Whole unprocessed Sunflower seeds) และControl (no fat in the concentrate) นั้นพบว่าองค์ประกอบน้ำนม (ไขมันน้ำนม โปรตีนน้ำนม และ แลคโตส) นั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญสถิติ ($P<0.05$) เช่นเดียวกันกับรายงานการศึกษาของ Chilliard et al. (2009) ที่พบว่าปริมาณน้ำนมและไขมันในน้ำนมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญสถิติ ($P<0.05$) ของโคนมที่ได้รับอาหารที่มีส่วนประกอบของ Linseed ซึ่งผ่านการแปรรูปที่แตกต่างกัน คือ สูตรอาหารที่ศึกษาประกอบด้วย Control, CLS (Control+whole crude linseed), ELS (Control+extruded linseed) และ LSO(Control+linseed oil) โดยการใช้ whole crude linseed พบว่าปริมาณไขมันน้ำนมไม่มีความแตกต่างเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ในขณะที่การใช้ในรูปของ linseed oil และ extruded linseed นั้นส่งผลให้ปริมาณของไขมันในน้ำนมลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.1 แสดงผลของการใช้ linseed เป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารเลี้ยงโคนมต่อผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบน้ำนม

References	Diet	Milk yield (kg/d)	Milk composition (%)		
			Fat	Protein	Lactose
Chilliard et al., 2009	Control	23.0[a]	4.11[a]	3.40	4.83
	CLS	21.5[a]	4.54[a]	3.46	4.52
	ELS	20.8[ab]	3.53[b]	3.33	4.80
	LSO	18.9[b]	3.23[b]	3.47	4.86
Flowers et al., 2008	Control	18.93	3.23	3.03	4.56
	LS01	18.50	3.44	3.19	4.40
	LS02	19.60	3.35	3.12	4.59
	LS03	19.10	3.27	3.08	4.66
Loor et al., 2005	LC	24.2	3.30	3.10	4.50
	LCO	27.7	3.45	2.95	4.83
	HC	28.8	2.40	3.03	4.76
	HCO	26.2	2.22	3.21	4.78
Petit et al., 2005	MPC	24.0	4.68	3.45	4.58
	MPF	20.3	4.99	3.12	4.43
	HPC	24.4	4.44	3.46	4.47
	HPF	24.9	4.45	3.16	4.42

ตารางที่ 2.1 แสดงผลของการใช้ linseed เป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารเลี้ยงโคนมต่อผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบน้ำนม (ต่อ)

References	Diet	Milk yield (kg/d)	Milk composition (%)		
			Fat	Protein	Lactose
Petit et al., 2004	Control	24.8[b]	3.49	3.92[a]	-
	MEG	31.5[a]	3.35	3.68[c]	-
	FLA	32.1[a]	3.63	3.87[ab]	-
	SUN	25.9[a]	3.33	3.74[bc]	-
Petit et al., 2002	MEG	22.1	4.12[a]	3.25[a]	4.59[a]
	LIN	21.7	3.97[a]	3.28[a]	4.63[b]
	FIS	22.2	3.11[b]	3.08[b]	4.61[b]
	OIL	20.9	4.01[a]	3.30[a]	4.75[a]

หมายเหตุ :

[a, b, c] Within a column means without a common superscript differ (P<0.05), **CLS** = Control+whole crude linseed), **ELS** = Control+extruded linseed**,** **LSO** = Control+linseed oil **MEG** = Megalac**,** **LIN** = formaldehyde-treated whole linseed, **FIS** = fish oil and formaldehyde-treated whole linseed **OIL** = no fat in the concentrate but with 500 g of linseed oil, **LC** = 35 : 65, low concentrate: high forge, **LCO** = LC+Linseed Oil at 3% of DM**,** **HC** = 65 :3 5, high concentrate : low forge**,** **HCO** = HC+Linseed Oil at 3% of DM**,** **LS01 =** control+170 g/d of Linseed**,** **LS02** = control+340 g/d of Linseed oil**,** **LS03** = control+510 g/d of Linseed oil, **MPC** = Medium protein (16%) control, **MPF** = medium protein (16%) with flaxseed, **HPC** = high protein (18%) control, **HPF** = high protein (18%) with flaxseed, **MEG** = calcium salts of palm oil, Megalac, **FLA** = Whole unprocessed flaxseed, **SUN** = Whole unprocessed Sunflower seeds

Petit et al. (2004) ที่ศึกษาเกี่ยวกับการใช้อาหาร Whole, Unprocessed Sunflower seeds และ Flaxseeds ต่อผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบน้ำนมและการหลั่งสาร prostaglandin ในโคนม โดยทำการแบ่งอาหารทดลองออกเป็น 4 สูตรคือ MEG (calcium salts of palm oil, Megalac), FLA (Whole unprocessed flaxseed), SUN (Whole unprocessed Sunflower seeds) และControl (no fat in the concentrate) และรายงานของ Petit el al. (2002) ที่ศึกษาเกี่ยวกับผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนมของโคนมที่ได้รับอาหารที่เป็นของกรดไขมันโอเมก้าเป็นส่วนประกอบ โดยใช้อาหารในการศึกษา 4 สูตร คือ MEG (Megalac), LIN (formaldehyde-treated whole linseed), FIS (50 : 50 of fish oil and formaldehyde-treated whole linseed) และ OIL (no fat in the concentrate but with 500 g of linseed oil) และ รายงานการศึกษาของ Chilliard et al. (2009) ที่ศึกษาเกี่ยวกับกรดไขมันใน

น้ำนมของโคนมที่ได้รับอาหารที่มีส่วนประกอบของ Linseed ซึ่งผ่านการแปรรูปที่แตกต่างกัน คือ สูตรอาหารที่ศึกษาประกอบด้วย Contol, CLS (Control+whole crude linseed), ELS (Control+extruded linseed) และ LSO (Control+linseed oil) โดยพบว่า ปริมาณของกรดไขมันกลุ่ม polyunsaturated fatty acid ในน้ำนม นั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดย linseed ผ่านความร้อนนั้นจะมีผลต่อปริมาณของ กรดไขมัน (polyunsaturated fatty acid) ในน้ำนมที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการเสริมในรูปของ linseed oil ที่พบว่าปริมาณของ C18 : 3n-3 เพิ่มขึ้น

ปริมาณของกรดไขมัน (polyunsaturated fatty acid) ในน้ำนม

รายงานการศึกษาของ Loor et al. (2005) ที่ศึกษาการใช้ linseed oil ร่วมกับการให้อาหารโคนมที่มีสัดส่วนของอาหารข้นและอาหารหยาบในอัตราส่วนที่แตกต่าง คือ 35 : 65 (low concentrate : high forge; LC) และ 65 : 35 (high concentrate : low forge; HC) โดยแบ่งอาหารออกเป็น 4 สูตร คือ LC, HC, LCO (LC+Linseed Oil at 3% of DM) และ HCO (HC+Linseed Oil at 3% of DM) พบว่าปริมาณของกรดไขมันกลุ่มของ polyunsaturated fatty acid ในน้ำนม นั้นไม่มีความแตกต่างกัน เช่นเดียวกับรายงานการศึกษา Flowers et al. (2008) ที่ศึกษาเกี่ยวกับองค์ประกอบน้ำนมของโคนมที่ได้รับอาหารเสริม Linseed oil จากอาหาร 3 สูตรคือ control (control grain supplement), LSO1 (control+170 g/d of Linseed oil), LSO2 (control+340 g/d of Linseed oil) และ LSO3 (control+510 g/d of Linseed oil) กับรายงานของ Petit et al. (2005) ที่ศึกษาเกี่ยวกับ ผลของการให้อาหาร flaxseed ที่มีต่อความต้องการโปรตีนและการขับออกของไนโตรเจนในโคนมที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณของโปรตีนต่างกัน 2 ระดับ โดยแบ่งอาหารออกเป็น MPC (medium control without flaxseed), MPF (medium control with flaxseed), HPC (high control without flaxseed) และ HPF(high control with flaxseed)

แต่จากรายงานของ Petit et al. (2004) ที่ศึกษาเกี่ยวกับการใช้อาหาร Whole, Unprocessed Sunflower seeds และ Flaxseeds ต่อผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบน้ำนมและการหลั่งสาร prostaglandin ในโคนม โดยทำการแบ่งอาหารทดลองออกเป็น 4 สูตรคือ MEG (calcium salts of palm oil, Megalac), FLA (Whole unprocessed flaxseed), SUN (Whole unprocessed Sunflower seeds) และControl (no fat in the concentrate) และรายงานของ Petit el al. (2002) ที่ศึกษาเกี่ยวกับผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนมของโคนมที่ได้รับอาหารที่เป็นของกรดไขมันโอเมก้าเป็นส่วนประกอบ โดยใช้อาหารในการศึกษา 4 สูตร คือ MEG (Megalac), LIN (formaldehyde-treated whole linseed), FIS (50 : 50 of fish oil and formaldehyde-treated whole linseed) และ OIL (no fat in the concentrate but with 500 g of linseed oil) และ รายงานการศึกษาของ Chilliard et al. (2009) ที่ศึกษาเกี่ยวกับกรดไขมันในน้ำนมของโคนมที่ได้รับอาหารที่มีส่วนประกอบของ Linseed ซึ่งผ่านการแปรรูปที่แตกต่างกัน คือ สูตรอาหารที่ศึกษาประกอบด้วย Contol, CLS (Control+whole crude

linseed), ELS (Control+extruded linseed) และ LSO (Control+linseed oil) โดยพบว่า ปริมาณของกรดไขมันกลุ่ม polyunsaturated fatty acid ในน้ำนม นั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดย linseed ผ่านความร้อนนั้นจะมีผลต่อปริมาณของ กรดไขมัน (polyunsaturated fatty acid) ในน้ำนมที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการเสริมในรูปของ linseed oil ที่พบว่าปริมาณของ C18:3n-3 เพิ่มขึ้นดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ผลของการใช้ linseed เป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารโคนมต่อ polyunsaturated fatty acid ในน้ำนม

References	Diet	Milk fatty acid (% of total FA)						
		ω-3				ω-6		
		C18:3n-3 ALA	C20:5n-3 EPA	C22:5n-3 DPA	C22:6n-3 DHA	C20:3n-6	C20:4n-6 ARA	PUFA
Chilliard et al., 2009	Control	0.67[b]	0.06[a]	0.09[a]	-	0.06[a]	0.09[a]	4.42[c]
	CLS	0.65[b]	0.05[a]	0.07[b]	-	0.05[a]	0.07[a]	3.45[d]
	ELS	1.20[a]	0.04[a]	0.06[c]	-	0.03[b]	0.06[b]	6.94[b]
	LSO	0.54[b]	0.02[b]	0.03[d]	-	0.03[b]	0.03[c]	8.48[a]
Petit et al., 2002	MEG	1.0[b]	0.14[b]	-	-	-	-	-
	LIN	2.0[b]	0.17[b]	-	-	-	-	-
	FIS	1.4[b]	0.26[a]	-	-	-	-	-
	OIL	13.9[a]	0.15[b]	-	-	-	-	-
Loor et al., 2005	LC	-	0.06	0.08	0.01	0.06	0.12	-
	LCO	-	0.05	0.02	0.05	0.06	0.06	-
	HC	-	0.05	0.12	0.01	0.04	0.15	-
	HCO	-	0.05	0.07	0.12	0.04	0.07	-
Flowers et al., 2008	Control	0.59	0.05	0.08	0.14	0.02	0.18	-
	LS01	0.78	0.04	0.08	0.19	0.01	0.16	-
	LS02	1.01	0.04	0.08	0.12	0.02	0.14	-
	LS03	1.03	0.04	0.07	0.11	0.01	0.11	-

ตารางที่ 2.2 ผลของการใช้ linseed เป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารโคนมต่อ polyunsaturated fatty acid ในน้ำนม (ต่อ)

References	Diet	Milk fatty acid (% of total FA)						
		ω-3				ω-6		
		C18:3n-3 ALA	C20:5n-3 EPA	C22:5n-3 DPA	C22:6n-3 DHA	C20:3n-6	C20:4n-6 ARA	PUFA
Petit et al., 2004	MEG	0.6[b]	-	-	-	0.17	0.18	4.3[b]
	FLA	1.1[a]	-	-	-	0.13	0.19	4.2[b]
	SUN	0.5[a]	-	-	-	0.13	0.19	5.2[a]
	Control	0.6[b]	-	-	-	0.18	0.23	4.5[b]
Petit et al., 2005	MPC	0.54	0.04	-	-	0.13	0.13	3.25
	MPF	1.00	0.06	-	-	0.08	0.08	3.61
	HPC	0.67	0.06	-	-	0.15	0.15	3.72
	HPF	1.01	0.07	-	-	0.09	0.09	4.00

หมายเหตุ

[a, b, c] Within a column means without a common superscript differ (P<0.05), **CLS** = Control+whole crude linseed), **ELS** = Control+extruded linseed**, LSO** = Control+linseed oil, **MEG** = Megalac**, LIN** = formaldehyde-treated whole linseed, **FIS** = fish oil and formaldehyde-treated whole linseed**, OIL** = no fat in the concentrate but with 500 g of linseed oil, **LC** = 35 : 65 ,low concentrate : high forge, **LCO** = LC+Linseed Oil at 3% of DM**, HC** = 65 : 35, high concentrate : low forge **, HCO** = HC+Linseed Oil at 3% of DM**,LS01 =** control+170 g/d of Linseed**, LS02** = control+340 g/d of Linseed oil**, LS03** = control+510 g/d of Linseed oil, **MPC** = Medium protein (16%) control, **MPF** = medium protein (16%) with flaxseed, **HPC** = high protein(18%) control, **HPF** = high protein (18%) with flaxseed, **MEG** = calcium salts of palm oil, Megalac, **FLA** = Whole unprocessed flaxseed, **SUN** = Whole unprocessed Sunflower seeds.

2.5 ความต้องการพลังงาน

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

เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของร่างกายสัตว์ ในทางผลิตสัตว์นั้นถือได้ว่าพลังงานเป็นต้นทุนส่วนใหญ่ที่สำคัญที่สุดในอาหาร

2.5.1 หน่วยของพลังงาน

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

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

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

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

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

การเทียบค่าพลังงานระหว่างระบบทั้งสองกระทำได้โดยประมาณดังนี้

1 cal	= 4.184 joules
1 kgTDN	= 3.82 Mcal ME = 19 MJ DE = 16 MJ ME ~ 4 Mcal

2.5.2 การจำแนกประเภทของพลังงาน

อาหารที่สัตว์กินเข้าไปจะผ่านกระบวนการต่าง ๆ ก่อนที่สัตว์จะนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น การย่อยได้ การดูดซึม และการเมทาบอลิซึม ในการนี้จะมีพลังงานที่สัตว์กินเข้าไปบางส่วนสูญเสียไปในรูปของมูล ปัสสาวะ ก๊าซจากการหมักย่อย และความร้อน พลังงานที่เหลือเรียกว่า

พลังงานสุทธิ ซึ่งสัตว์จะนำไปใช้ในการดำรงชีพซึ่งสามารถจำแนกชนิดของพลังงานในอาหารสัตว์ตามหลักการกระจายของพลังงานในกระบวนการต่าง ๆ ของร่างกาย ดังแสดงในภาพที่ 2.1

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

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

$$DE = GE - \text{Fecal energy}$$

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

$$\text{DE Intake} - (\text{Urinary energy} + \text{Methane energy}) = \text{Me Intake}$$

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

$$ME = 0.82DE$$

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

$$q = ME/GE$$

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

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

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

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

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

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

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

1. ความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพ (Net energy lactation requirement for maintenance) ความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพขึ้นอยู่กับกิจกรรมของตัวสัตว์ซึ่งมีความสัมพันธ์กับขนาดรูปร่างและพันธุ์การหา NE_{LM} ของโคนมที่ให้นมสามารถหาได้จากสมการ $0.073LW^{0.75}$ (NRC, 1988) อย่างไรก็ตามในสมการดังกล่าวได้มีการเผื่อในกิจกรรมบางส่วนอีก 10% ซึ่งจะได้สมการที่ใช้ในการหา NE_{LM} คือ $0.080LW^{0.75}$ (NRC, 1988) มีการศึกษาเกี่ยวกับการเลี้ยงโคนมโดยการปล่อยเลี้ยงในทุ่งหญ้าโดยการเพิ่มระยะทางในการเดินของโคนมและพบว่าในทุ่งหญ้าที่มีหญ้าไม่สมบูรณ์อาจจะมีการเผื่อในการคำนวณความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพจาก 10% เป็น 20% ก็ได้ นอกจากกิจกรรมของตัวโคนมเองแล้วสิ่งแวดล้อมรอบตัวของโคนมนั้นก็มีผลต่อความต้องการพลังงานด้วยเช่นกัน ในขณะที่โคสาวนั้นจะมีสมการที่ใช้ในการคำนวณหาความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพ คือ

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

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

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

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

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

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

ทั้งนี้เพราะ

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

เมื่อ

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

Proportion empty body fat = 0.037683 × BSC (9)

Proportion empty body protein = 0.200886-0.0066762 × BCS(9)

BCS (9) = ((dairy BCS-1) × 2)+1

3. ความต้องการพลังงานเพื่อการสร้างน้ำนม (Net energy lactation requirement for lactation) ในการคำนวณพลังงานเพื่อการสร้างน้ำนมจะใช้องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม เช่น เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนม เปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนม และเปอร์เซ็นต์แล็คโตสในน้ำนม สำหรับการประเมิน NRC (1988) จะใช้สมการคำนวณจากเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนม ดังนี้ คือ 0.3512+ 0.0962%Fat

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

ถ้าเราวิเคราะห์เฉพาะเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมใช้สมการดังต่อไปนี้

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

คำนวณจากเปอร์เซ็นต์ไขมันและโปรนตีน

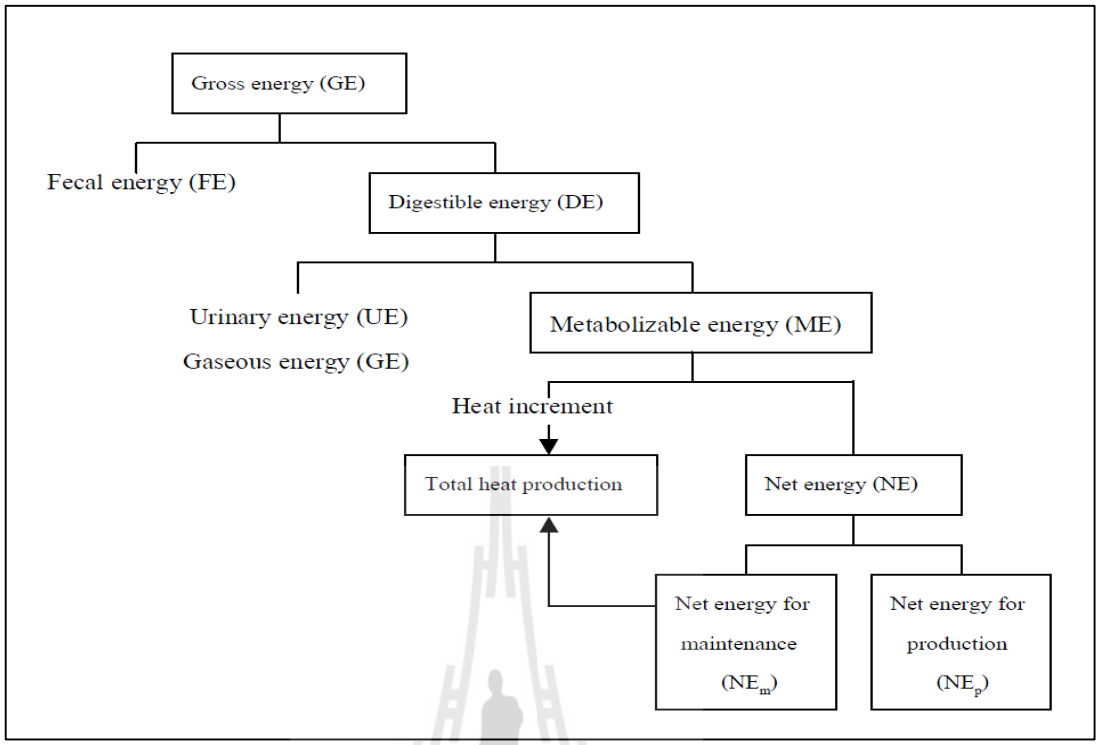
NE_{LL} (Mcal/kg of milk) = (0.2929 × %Fat) + (0.0547 × %Protein) + 0.192

คำนวณจากเปอร์เซ็นต์ไขมัน, โปรตีน และแล็คโตส

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

2.5.3 ขั้นตอนของพลังงาน

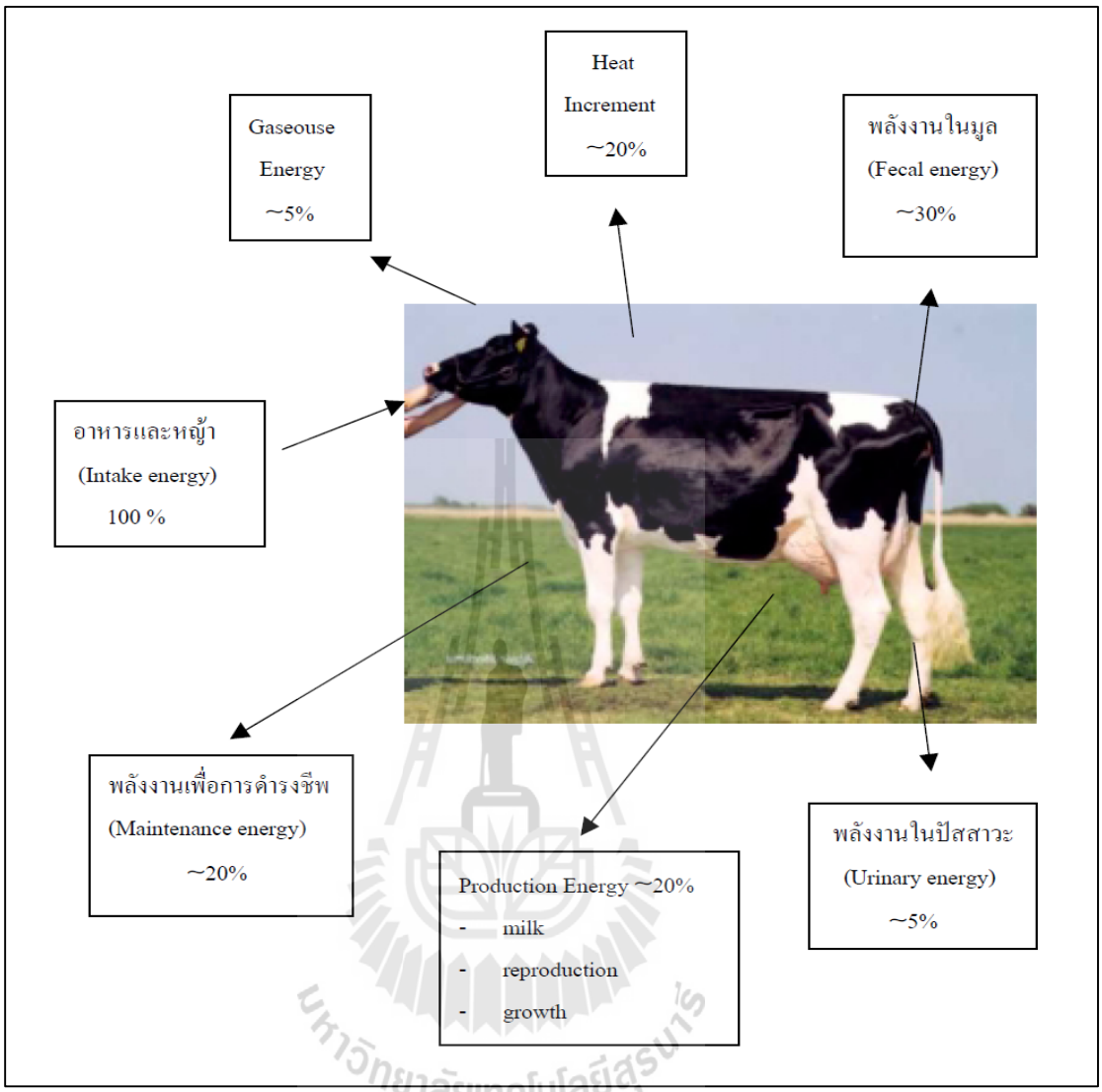
ขั้นตอนของพลังงานมีกระบวนการต่างๆ เช่น การย่อย การดูดซึม และการเมทาบอลิซึมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในร่างกายซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับพลังงานทั้งสิ้น ดังนั้นความเข้าใจเรื่องพลังงานจึงเป็นพื้นฐานสำคัญในการศึกษาเรื่องนี้ เมื่อสัตว์กินอาหารเข้าไปก่อนที่สัตว์จะนำไปใช้ประโยชน์ได้จะมีพลังงานที่สัตว์กินเข้าไปบางส่วนสูญเสียไปในรูปของมูล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



ภาพที่ 2.7 ขั้นตอนการจำแนกพลังงานประเภทต่าง ๆ

ที่มา : บุญล้อม ชีวะอิสระกุล (2541)

ในอาหารโคทั่วไปมีการสูญเสียพลังงานในมูลประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ พลังงานสูญเสียในปัสสาวะประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ และพลังงานในรูปความร้อนประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ เหลือเป็นพลังงานสุทธิประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ ของพลังงานที่กินเข้าไปทั้งหมด ดังในภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 แสดงสัดส่วนโดยประมาณของพลังงานที่สูญเสียและที่ใช้เพื่อกิจกรรมต่าง ๆ ในโคนม
ที่มา : บุญล้อม ชีวะอิสระกุล (2541)

2.5.4 การประเมินคุณค่าทางพลังงานตาม NRC (2001)

ถึงแม้ระบบการประเมินคุณค่าทางโภชนะโดยใช้ค่า NE จะเป็นระบบที่ดี แต่ทำการวัดโดยตรงได้ยากต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมากตลอดจนใช้เครื่องที่ยุ่งยากและซับซ้อน ประเทศต่าง ๆ จึงได้ทำการคิดค้นสมการมาใช้ในการคำนวณโดยใช้การประเมินค่าทางพลังงานจากองค์ประกอบทางเคมี เช่น ในประเทศเยอรมันคำนวณค่า NE_L จาก GE และ ME ประเทศสหรัฐอเมริกาคำนวณจากค่า TDN อย่างไรก็ตามการจะได้มาซึ่งค่าต่าง ๆ นั้น ในการทำนายคุณค่าทางพลังงานก็มีหลากหลายบางสมการใช้ได้เฉพาะอาหารบางชนิด เช่น อาหารข้น บางสมการใช้ได้

เฉพาะกับอาหารหยาบ 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

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

เมื่อ td = Truly digestible

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

$$tdNFC = 0.98\ (100\text{-}[(NDF - NDICP) + CP + EE + Ash]) \times PAF \text{ หรือ}$$

$$tdNFC = 0.98\ (100\text{-}[(NDFN + CP + EE + Ash]) \times PAF$$

$$NDF_N = NDF - NDICP$$

$$NDICP = DIN \times 6.25$$

เมื่อ NFC = Non fiber carbohydrate

NDF = Neutral detergent fiber

NDIN = Neutral detergent insoluble nitrogen

PAF = Processing adjustment factor

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

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

For feeds not shown PAF = 1.0

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

Truly digestible CP for forages (tdCPf)

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

Truly digestible CP for concentrates (tdCPc)

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

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

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

FA = EE – 1.0 (Allen, 2000)

tdFA = FA แต่ถ้าในกรณีที่ EE < 1, FA จะมีค่าเท่ากับ 0

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

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

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 × 6.25

พลังงานจาก NDF คำนวณโดยคูณค่า pdNDF ด้วยสัมประสิทธิ์การย่อยได้ ประมาณว่าการย่อยได้ของ pdNDF ในสัตว์ที่ได้รับอาหารในระดับ Maintenance มีค่าเท่ากับ 0.75

ฉะนั้น Truly digestible NDF (tdNDF) จะมีค่าดังสมการ

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

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

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

เมื่อ CP digest = estimated true digestibility of CP

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

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

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

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

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

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

สำหรับแหล่งไขมันที่มีองค์ประกอบของ Glycerol:

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

สำหรับแหล่งไขมันที่ไม่มีองค์ประกอบของ Glycerol:

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

2.5.4.5 การประมาณค่า DE

1. การประมาณค่า DE ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Maintenance

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

จากการที่ GE value of TDN ในอาหารแต่ละชนิดมีค่าไม่เท่ากัน อาหารที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ใน TDN จะมีค่า GE value of TDN มากกว่า 4.409 Mcal/kg ในทางกลับกัน อาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ใน TDN จะมีค่า GE value of TDN น้อยกว่า 4.409 Mcal/kg ดังนั้นการคำนวณค่า DE จาก 0.4409 × TDN (%) ตามที่แนะนำไว้ใน NRC (1988) นั้น ปัจจุบันได้ยกเลิกแล้ว โดย NRC (2001) ได้พัฒนาการคำนวณค่า DE โดยคำนวณจาก Estimated digestible nutrient concentration คูณด้วย Heat of combustion ของโภชนะนั้น ๆ และเนื่องจาก DE คำนวณจาก Apparent digestibility แต่สมการคำนวณ TDN จากโภชนะต่าง ๆ ใช้ค่า True digestibility ดังนั้นต้องใช้ค่า Metabolic fecal energy มาทำการปรับเมื่อต้องการคำนวณค่า DE จาก TDN โดยทั่วไปค่า Heat of combustion ของ Metabolic fecal TDN จะประมาณเท่ากับ 4.4 Mcal/kg ดังนั้น Metabolic fecal DE = 7 × 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 เท่ากับ 2

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

3. การประมาณค่า ME ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Actual Intake

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

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

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

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

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

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

2.5.4.6 การประมาณค่าพลังงานสุทธิ (Net energy, NE_L)

1. การประมาณค่า NE_L ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Actual Intake

NRC (1988) ใช้สมการ NE_L (Mcal/kg) = 0.0245 × (%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

2.5.5 ความต้องการโปรตีนในโคนม

สัตว์เคี้ยวเอื้องมีความต้องการโปรตีนเพื่อเสริมสร้างส่วนต่าง ๆ ของร่างกายและเพื่อการเจริญเติบโตการให้ผลผลิตในรูปของเนื้อและนม ความต้องการโปรตีนเพื่อการต่าง ๆ มีลักษณะคล้ายกับความต้องการพลังงาน คือ ความต้องการโปรตีนเพื่อการดำรงชีพ ความต้องการโปรตีนเพื่อการเจริญเติบโตและความต้องการโปรตีนเพื่อการผลิตน้ำนม

2.5.5.1 การคำนวณโปรตีนในอาหาร การคำนวณโปรตีนในอาหารจะสามารถทำได้โดยการหาประสิทธิภาพการย่อยได้ของอาหารโปรตีนจากวิธีการ Nylon bag technique

2.5.5.2 การคำนวณความต้องการโปรตีนในตัวโคนม NRC (2001) ได้ปรับเปลี่ยนการประเมินความต้องการโปรตีนของโคนมโดยนำเสนอใหม่ในรูปของ Metabolizable protein (MP_R) ดังสมการ

$$MP_R = MP_M + MP_G + MP_L$$

โดย MP_R (g/d) = Metabolizable protein requirement

MP_M (g/d) = Metabolizable protein requirement for maintenance

MP_G (g/d) = Metabolizable protein requirement for growth

MP_L (g/d) = Metabolizable protein requirement for lactation

1. Metabolizable Protein requirements for maintenance (MP_M)

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

MP_U คือ ความต้องการ MP สำหรับ Endogenous urinary protein (UPN)

MP_U = UPN/0.67

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

MP_U = $4.1 \times (\text{Live weight})^{0.5}$

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

MP_{SH} = SPN/0.67

SPN = $0.2 \times (\text{Live weight})^{0.60}$

MP_{SH} = $0.3 \times (\text{Live weight})^{0.60}$

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 × Dry Matter Intake (kg.)

MP_{MFP} = [(DMI × 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 × (268-(29.4 × (RE/SWG)))

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

EQEBW = 0.891 × EQSBW

EQEBG = 0.956 × SWG

EQSBW = SBW × (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)

$RDP_R = MCP/0.85$

$RDP_R = 0.15294 \times TDN_{Actual}$

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

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

$MP_{Bact} = 0.64\ MCP$

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

การคำนวณหาความต้องการ RUP

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

$0.8\ RUP = total\ digest\ RUP$

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

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

$RUP_R = MP_{RUP}/0.528$

ดังนั้นจะสามารถคำนวณ CP requirement จาก RDP และ RUP จากสมการ

$CP_R = RDP_R + RUP_R$

เมื่อ NP_G = Net protein requirement for growth

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

SWG = Shrunk weight gain

RE = Retain energy

EQEBG = Equivalent empty body weight gain

EQSBW = Equivalent shrunk body weight

EQEBW = Equivalent empty body weight

SBW = Shrunk body weight

WG = Weight gain

2.6 การให้นมของโคนม

น้ำนมเป็นผลผลิตที่ได้จากการสังเคราะห์จากองค์ประกอบของสารตั้งต้นในเลือด ซึ่งสารเหล่านี้จะต้องผ่านเข้าสู่เซลล์ผลิตน้ำนมก่อนที่จะถูกเปลี่ยนไปเป็น แล็คโตส ไขมัน และโปรตีนนม สารตั้งต้นเหล่านี้จะออกจากกระแสเลือดและเข้าสู่ของเหลวภายนอกเซลล์ (Extracellular fluids) ระหว่างเส้นเลือดฝอยและเซลล์สร้างน้ำนม จากนั้นสารตั้งต้นดังกล่าวจะผ่านเข้าไปยัง basolateral membland ของเซลล์ผลิตน้ำนม เมื่อเข้ามาอยู่ภายในเซลล์แล้วสารตั้งต้นเหล่านี้จะเข้าสู่วิถีการนำเข้าสารตั้งต้นเพื่อนำไปสังเคราะห์น้ำนมที่ตำแหน่งของเซลล์เฉพาะที่เต้านม คือ secretory cell เป็นเซลล์

สังเคราะห์น้ำนมที่มีลักษณะคล้ายกระเปาะนม เรียกว่า alveolus ปริมาณน้ำนมที่ได้จะเก็บกักไว้รอการปล่อยออกมาโดยวิธีการดูดของลูกโค หรือผ่านกระบวนการรีดนม

2.6.1 การสังเคราะห์นม (Milk synthesis)

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

2.6.1.1 การสังเคราะห์โปรตีนนม (Milk Protein Synthesis) น้ำนมมีโปรตีนหลายชนิด โปรตีนเหล่านี้ถูกสร้างขึ้นเฉพาะในเต้านมท่านั้น จึงไม้สามารถพบได้ในเนื้อเยื่อชนิดอื่น ๆ โปรตีนนมโดยเฉพาะเคซีน (casein) นั้น มีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของลูกอ่อน นอกจากนี้ยังมีโปรตีนชนิดอื่น ได้แก่ โปรตีนที่เป็นเอนไซม์ โปรตีนที่มีบทบาทในการขนส่งโปรตีน ที่มีบทบาทในการต้านทานโรค (อิวมิวโนโกลบูลินและอื่น ๆ) รวมทั้งโกรธแฟคเตอร์ เป็นต้น โปรตีนในน้ำนมที่พบมากที่สุดคือเคซีน ในน้ำนมของสัตว์ส่วนใหญ่จะมีเคซีนอยู่ประมาณ 3-4 ชนิด โดยเคซีนแต่ละชนิดจะมีโครงสร้างที่เหมือนกันแต่มีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกัน นอกเหนือไปจากเคซีนแล้วจะเรียกโปรตีนที่เหลือทั้งหมดว่าเวย์โปรตีน (whey protein) เวย์โปรตีนหลักในน้ำนมโคคือ β-lactoglobulin และ α-lactalbumin ซึ่งโปรตีนเหล่านี้ล้วนถูกสังเคราะห์ขึ้นที่เซลล์ผลิตน้ำนมของเต้านมเท่านั้น

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

การใช้กรดอะมิโนในเต้านมจะขึ้นอยู่กับ 1) ระดับของกรดอะมิโนในกระแสเลือด 2) กลไกการนำกรดอะมิโนเข้าสู่เซลล์เต้านม 3) เมทาบอลิซึมของกรดอะมิโนภายในเซลล์ ซึ่งทั้ง 3 ปัจจัยนี้ต่างขึ้นอยู่กับปัจจัยที่มาควบคุมอีกต่อหนึ่ง เช่น ระดับของกรดอะมิโนในเลือดจะขึ้นกับอาหาร สรีรวิทยาของสัตว์ กลไกลการนำกรดอะมิโนเข้าสู่เซลล์เต้านมซึ่งอาจมีหลายกลไกและมีความจำเพาะต่อกรดอะมิโนแต่ละชนิด ในการนำกรดอะมิโนเข้าสู่เซลล์เต้านมและเมทาบอลิซึมของกรดอะมิโนภายในเซลล์จะมีความซับซ้อนมากกว่าการสร้างโปรตีนนม ยกตัวอย่างเช่น การนำเข้ากรดอะมิโนชนิดที่ไม่จำเป็นแต่ละชนิดจะใช้เวลาไม่เท่ากัน หากไม่สามารถนำเข้าเซลล์ได้จะมีผลต่อปริมาณโปรตีนนม กรดอะมิโนที่จำเป็น เช่น lys met phy tyr trp หากนำเข้า 1 หน่วยจะปรากฏในน้ำนม : 1 หน่วย ในขณะที่กรดอะมิโนชนิดอื่น (กลุ่ม blanched chain amino acid และ arginine) จะถูกนำเข้าเซลล์เต้านมเป็นจำนวนมากกว่าที่จะนำไปสร้างโปรตีนนม เชื่อกันว่ากรดอะมิโนที่นำเข้าเกินเหล่านี้จะถูกนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานภายในเต้านม เป็นแหล่งคาร์บอนและไนโตรเจนสำหรับการสังเคราะห์กรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น หลังจากเข้าสู่เซลล์แล้วกรดอะมิโนจะถูกนำไปใช้ในการทำกิจกรรมต่าง ๆ เหล่านี้ได้แก่ 1) สร้างโปรตีนนมภายใต้กระบวณการ mRNA-directed polymerization 2) เข้าสู่ปฏิกิริยาทางเมทาบอลิซึมได้เป็น CO_2 Urea Polyamine และกรดอะมิโน ที่ไม่จำเป็น 3) ยังคงอยู่ภายในเซลล์ในรูปของโปรตีนโครงสร้างของเซลล์และเอนไซม์ และ 4) ผ่านเซลล์ไปโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ทั้งสิ้น

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

2.6.1.2 การสังเคราะห์แล็คโตส (Lactose Synthesis) แล็คโตสจัดเป็นคาร์โบไฮเดรตหลักในน้ำนมของสัตว์ส่วนใหญ่ แล็คโตสเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ที่ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวสองชนิดคือ ดี-กลูโคสและ ดี-กาแล็คโตสเชื่อมกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกชนิด β-1,4 กลูโคสนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการสร้างน้ำนม ปริมาณ 2 ใน 3 ของกลูโคสจะถูกใช้โดยเซลล์เยื่อบุผิวของเต้านมในการสร้างแล็คโตส ความเข้มข้นของกลูโคสในเซลล์เต้านมจะเป็นตัวกำหนดความเร็วของปฏิกิริยาในการสร้างแล็คโตส กลูโคสที่เหลือส่วนใหญ่จะถูกเมตาบอไลท์โดยวิถีที่จะนำไปสู่การ

สร้างกลีเซอรอลและการผลิตเพนโตส ซึ่งเพนโตสจะถูกนำไปใช้ในการสร้างกรดไขมันและสร้างโมเลกุลของไรโบสสำหรับการสร้าง RNA และ DNA

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

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

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

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

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

UDP -galactose + Glucose ⟶ lactose synthetase ⟶ Lactose

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

2.6.1.3 การสังเคราะห์ไขมันนม (Milk Fat Synthesis) ไขมันในน้ำนมกว่า 98% จะอยู่ในรูปของไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides) ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคไขมันระหว่าง 1-7 ไมโครเมตร (μm) (Holmes and Wilson, 1984) โคนมจะได้รับสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ไขมันโดยตรงจากอาหารและจากไขมันที่สะสมอยู่ในเนื้อเยื่อไขมันภายในร่างกายกรด ไขมันในน้ำนมจำพวก Short และ Medium chain (C_4-C_{16}) จะถูกสังเคราะห์มาจากอะซิเตท (Acetate) และเบต้า-ไฮ

ดร็อกซีบิวทีเรท (β-hydroxybutyrate) ซึ่งอะซิเตทจะถูกดูดซึมจากกระเพาะหมักและเบต้า-ไฮดร็อกซีบิวทีเรท (β-hydroxybutyrate) จะถูกเปลี่ยนรูปมาจากบิวทีเรท (Butyrate) ในขณะที่ถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะหมัก 40-60% ของสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ไขมันจะอยู่ในรูปของไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides) ซึ่งถูกสังเคราะห์ในลำไส้เล็กจากกรดไขมันที่ได้จากอาหารหรือถูกสังเคราะห์ที่ตับจากกรดไขมันที่ได้จากเนื้อเยื่อไขมัน (Holmes and Wilson, 1984)

ไขมันนมไตรกลีเซอไรด์นั้นถูกสังเคราะห์ขึ้นในเซลล์ผลิตน้ำนม อย่างไรก็ตาม กรดไขมันที่นำมาสังเคราะห์ไตรกลีเซอไรด์ได้มาจาก 2 แหล่ง คือ

1. จากการแตกตัวของไขมันในเลือด ประมาณ 40-60 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันมาจากเลือด ไขมันเหล่านี้ได้มาจากไลโพโปรตีนที่มีความหนาแน่นต่ำมากหรือ very low density lipoprotein (VLDL) ซึ่งสังเคราะห์ที่ลำไส้เล็กหรือตับ VLDL ประกอบไปด้วยไขมัน 90-95 เปอร์เซ็นต์ อยู่ตรงกลางอนุภาค และโปรตีน 5-10 เปอร์เซ็นต์ ที่ผิวด้านนอก ไคโลไมครอนประกอบด้วยกรดไขมันที่ย่อยได้ในลำไส้เล็ก จัดเป็นไขมันที่ได้จากเลือดอีกแหล่งหนึ่ง

ไตรกลีเซอไรด์ใน VLDL จะถูกไฮโดรไลซ์ในหลอดเลือดฝอยของเต้านมโดยเอนไซม์ที่เรียกว่า lipoprotein lipase (LPL) โดย LPL สมารถไฮโดรไลซ์กรดไขมันซึ่งจับกับกลีเซอ-รอลได้ทั้ง 1 2 หรือทั้ง 3 กลุ่มได้เป็นกรดไขมันอิสระกับไดเอซิลกลีเซอไรด์ โมโนกลีเซอไรด์ หรือกลีเซอรอลตามลำดับ กรดไขมันอิสระ ไดเอซิลกลีเซอไรด์ โมโนกลีเซอไรด์และกลีเซอรอล จะถูกนำเข้าสู่เซลล์ผลิตน้ำนม และถูกนำไปสร้างไตรกลีเซอไรด์ขึ้นมาใหม่

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

2. จากการสังเคราะห์ขึ้นใหม่ การสังเคราะห์กรดไขมันสายสั้นและสายยาวเกิดขึ้นโดยการสังเคราะห์กรดไขมันขึ้นใหม่ (de novo synthesis) การสังเคราะห์กรดไขมันขึ้นใหม่เกิดในส่วนของไซโทซอลของเซลล์ผลิตน้ำนม เรียกว่าระบบไซโทพลาสซึม (Cytoplasmic system) เป็นการสร้างจากอะเซติลโคเอจนได้กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนที่ยาวที่สุด 16 อะตอม คือกรดปาล์มมิติก (palmitate) หรือปาล์มิเตท ดังนั้นจึงอาจเรียกว่า palmitate synthesis system การสังเคราะห์กรด

ไขมันนี้อาจเกิดจากการสังเคราะห์ตั้งแต่ต้นหรือการสังเคราะห์โมเลกุลของกรดไขมันขึ้นมาใหม่ โดยอาศัยสารตั้งต้นจากกระแสเลือด ในสัตว์เคี้ยวเอื้องแหล่งของคาร์บอนที่นำมาใช้ในการสังเคราะห์กรดไขมันคือ อะซิเตท และ β-hydroxybutyrate (BHBA) กลูโคสคือแหล่งของคาร์บอนที่สำคัญในสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง ส่วน reducing equivalent ที่จำเป็นสำหรับการสังเคราะห์กรดไขมันได้มาจาก $NADPH_2$ (nicotinamide adenine dinucleotide phosephate, reducing form) เอนไซม์ที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์กรดไขมันในเต้านม คือ Acetyl-CoA Carboxylase เป็นตัวกำหนดความเร็วของปฏิกิริยาในวิถีการสังเคราะห์กรดไขมัน และ Fatty Acid Synthetase เป็นระบบมัลติเอนไซม์คอมเพล็กส์ที่ทำหน้าที่ต่อสายกรดไขมันให้ยาวขึ้น

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

2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตและองค์ประกอบของน้ำนมดิบ

การให้ผลผลิตน้ำนมของโคนมหลังคลอด ในช่วงแรกโคจะให้ผลผลิตน้ำนมไม่สูง และจะค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้นจนถึงระดับที่สูงสุด (peak of lactation) ซึ่งจะมีระยะเวลาประมาณ 3-6 สัปดาห์แต่โคที่ให้นมมากจะมีระดับสูงสุดนานกว่านี้ จากนั้นปริมาณน้ำนมจะลดลงอย่างช้า ๆ อัตราการลดลง

ของน้ำนมจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการให้นมทน (milk persistency) ของโคแต่ละตัว (ชวนิศน-ดากร วรวรรณ, 2534) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของพันธุกรรม และการเลี้ยงดูการให้อาหารด้วย โดยปกติระยะเวลาการให้นมของโคประมาณ 305 วัน และมีระยะเวลาการพักการให้นม (dryperiod) ประมาณ 60 วัน องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม จะเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการให้นมในทางตรงกันข้ามกับปริมาณน้ำนม คือ โคที่ให้น้ำนมลดลง แต่คุณภาพน้ำนมจะสูงขึ้น โดยที่เปอร์เซ็นต์ไขมันจะเปลี่ยนแปลงมาก เปอร์เซ็นต์โปรตีนจะเปลี่ยนแปลงตามไขมัน ส่วนเปอร์เซ็นต์แล็คโตสในน้ำนมนั้นค่อนข้างคงที่ และเปอร์เซ็นต์ของแข็งพร่องไขมันสูงขึ้น ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม สามารถแบ่งออกเป็น 2 ปัจจัยหลัก ได้แก่

2.7.1 ปัจจัยทางสรีรวิทยา

เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการให้น้ำนม ซึ่งมีทั้งที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางพันธุกรรม และไม่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางพันธุกรรม

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

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

2.7.1.3 วงรอบของการเป็นสัด และการตั้งท้อง ในขณะที่โคแสดงอาการการเป็นสัดจะมีผลทำให้ปริมาณน้ำนมลดลง เนื่องจากอิทธิพลของฮอร์โมน และปริมาณการกินได้ของโคลดลง โคที่อยู่ในระหว่างการเป็นสัด จะมีความอยากอาหารน้อย และโคมีความกระวนกระวายมาก และไม่ค่อยสนใจกินอาหาร ดังนั้น ปริมาณน้ำนมที่ได้จากโคจะลดลงจนกว่าโคจะผ่านช่วงของการเป็นสัด

และกลับมากินอาหารได้ตามปกติ ปริมาณน้ำนมจึงจะเพิ่มขึ้นเท่าเดิม ในแง่ของการจัดการจึงควรคัดแยกโคที่เป็นสัดออกอยู่อีกกลุ่มหนึ่ง เพื่อลดปัญหาการรบกวนกับโคในฝูง โคที่ตั้งท้องจะมีผลทำให้ผลผลิตของน้ำนมลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วงปลายของการตั้งท้อง (5 เดือนขึ้นไป) ปริมาณน้ำนมลดลงได้ถึง 20% ที่อายุการตั้งท้อง 225 วัน ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากโภชนะบางส่วนถูกนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตของตัวอ่อนและขนาดของลูกโคในท้องแม่โคจะมีผลต่อช่องว่างในท้องหรือความจุของกระเพาะแม่โค หรือจำกัดปริมาณการกินอาหาร และยังมีสาเหตุมาจาการเปลี่ยนแปลงระดับของฮอร์โมนในกระแสเลือดในแม่โคที่ตั้งท้องอยู่ในระยะปลายใกล้คลอดจะมีเอนไซม์ออกซีโทซิเนส (Oxytocinase) มากขึ้น และจะไปทำลายฮอร์โมนออกซีโทซิน โดยเป็นตัวกระตุ้นการปล่อยฮอร์โมนโปรแลคติน จากต่อมใต้สมองส่วนหน้า (วิศิษฐิพร สุขสมบัติ, 2538) โดยเฉพาะก่อนคลอดประมาณ 4 สัปดาห์ ซึ่งเป็นผลให้โคมีปริมาณน้ำนมที่ลดต่ำลง

2.7.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม

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

2.7.2.2 ฤดูกาล มีผลต่อผลผลิตและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม โดยปกติโคจะกินอาหารได้มากเมื่ออากาศหนาวเย็น และจะให้ผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้น ฤดูฝนเป็นเวลาที่โคจะให้ผลผลิตน้ำนมมากกว่าฤดูกาลอื่น ๆ เพราะโคจะได้รับอาหารที่อุดมสมบูรณ์ ซึ่งเป็นผลทางอ้อมในการให้นม และมีอากาศเย็น ส่วนในฤดูร้อนโคจะให้นมน้อยลง

2.7.2.3 ระยะพักการให้นม (Dry period) จะทำให้สภาพของโคเมื่อคลอดลูกสมบูรณ์และทำให้ปริมาณน้ำนมที่โคผลิตได้สูงสุด โดยโคจะใช้อาหารที่สะสมไว้ในร่างกายมาสร้างเป็นองค์ประกอบของน้ำนม โคควรมีระยะพักการให้นมไม่เกิน 60 วัน ถ้าโคนมมีระยะพักนานเกินไปจะมีผลทำให้ผลผลิตน้ำนมทั้งหมดลดลง แต่ถ้ามีระยะพักการให้นมน้อยเกินไป ก็ทำให้ผลผลิตน้ำนมลดลงเช่นกัน Smith and Dodd (1966) พบว่าโคที่ไม่ได้มีระยะพักการให้นมจะทำให้ผลผลิตน้ำนมต่ำกว่าโคที่มีระยะพักการให้นม 56-62 เปอร์เซ็นต์

2.7.2.4 การรีดนม ปกติการรีดนมมักจะทำกันวันละ 2 ครั้ง เช้า และเย็น และระยะห่างไม่ค่อยเท่ากันคือไม่ทุก 12 ชั่วโมง โดยที่ระยะช่วงเย็นถึงเช้าจะนานกว่าระยะช่วงเช้าถึงเย็น ช่วงระยะเวลาที่ยาวกว่าจะได้ปริมาณน้ำนมสูงกว่า แต่องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมจะต่ำกว่า คือ

เปอร์เซ็นต์ไขมันจะต่ำกว่าในช่วงระยะเวลาที่สั้นกว่า นอกจากนี้จำนวนครั้งของการรีดนมก็มีผลต่อปริมาณน้ำนม เช่น การรีดนม 3 ครั้งต่อวัน จะได้ปริมาณน้ำนมสูงกว่าการรีด 2 ครั้งต่อวัน การรีดนมไม่หมดเต้ามีผลทำให้ผลผลิตและเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมลดลง เนื่องจากน้ำนมที่ค้างอยู่ในเต้าเป็นน้ำนมที่มีไขมันสูง การที่น้ำนมค้างเต้าเป็นระยะเวลาหลายวัน จะทำให้ผลผลิตของน้ำนมลดลงและเปอร์เซ็นต์ไขมันเพิ่มขึ้น

2.7.2.5 อาหารและการให้อาหาร โภชนะที่ใช้ในการสร้างน้ำนมมาจาก 2 แหล่ง คือ จากอาหารที่กินและอาหารสะสมในร่างกาย ทั้งสองแหล่งจะมีผลต่อปริมาณสารอาหารที่ใช้ในการสังเคราะห์น้ำนม จากรูปแบบของการให้น้ำนมโคตลอดช่วงการรีดนมนั้น จะต้องมีการปรับความต้องการอาหารของโคให้สอดคล้องกับระยะของการให้ผลผลิต รวมถึงการปรับปรุงแบบการจัดการจ่ายอาหาร ชนิดอาหาร ความถี่ในการจ่ายอาหาร เพื่อให้โคนมได้รับปริมาณสิ่งแห้งรวมอย่างเพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย เนื่องจากปริมาณน้ำนมที่ผลิตได้มีผลมาจากระดับของโภชนะที่ได้รับ ถ้าได้รับโภชนะต่ำกว่าปกติจะมีผลทำให้ปริมาณน้ำนมที่ผลิตได้ และน้ำตาลแล็คโตสในน้ำนมลดลงอย่างชัดเจน แต่ถ้าได้รับโภชนะสูงกว่าปกติ ปริมาณน้ำนมจะสูงขึ้นไม่มากนัก ความสำคัญของสูตรอาหารมีอิทธิพลน้อยกว่าวิธีการจัดการจ่ายอาหาร ถ้าจ่ายอาหารให้โคได้รับอย่างไม่เพียงพอจะมีผลกระทบทันทีต่อผลผลิตน้ำนม การจำกัดปริมาณการกินอาหารก็มีผลกระทบต่อปริมาณน้ำนมเช่นเดียวกัน โครีดนมจะมีอัตราการกินปริมาณสิ่งแห้ง 3-4 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวโค อาหารสะสมในร่างกายจะช่วยให้โค มีความทนทานต่อการให้ผลผลิต ช่วยให้อัตราการลดลงของน้ำนมต่ำกว่าร้อยละ 10 ต่อเดือน ในการให้อาหารข้นแก่โคปริมาณสูง และให้อาหารหยาบในปริมาณที่ต่ำ จะมีผลทำให้ไขมันในน้ำนมนั้นลดต่ำลง ถ้าโคได้รับอาหารหยาบน้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณอาหารที่ได้รับทั้งหมด จะมีผลทำ ให้ไขมันในน้ำนมลดลงเหลือเพียง 2 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นในการกินอาหารโคต้องได้รับอาหารหยาบไม่น้อยกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว จึงจะทำให้ปริมาณไขมันในน้ำนมไม่ลดลงซึ่งในการศึกษาของ Dhiman, Klrinmans, Tessmann, Radloff and Satter (1995) ได้ศึกษาถึงสัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้น พบว่าเมื่ออาหารหยาบสูงขึ้นจะมีผลทำให้ปริมาณการกินได้วัตถุแห้งของโคลดลง แต่เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ (MacLeod and Wood, 1972)

2.8 รายการอ้างอิง

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

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

บุญล้อม ชีวะอีสระกุล. (2541). **โภชนศาสตร์สัตว์**. พิมพ์ครั้งที่ 6. เชียงใหม่: ธนบรรณการพิมพ์. ประวีร์ วิชชุลตา ณิฐิมา เฉลิมแสน และสุทธิศักดิ์ แก้วแกมจันทร์. (2546). **สถานภาพองค์ประกอบ น้ำนมดิบในประเทศไทย.** เอกสารประกอบการประชุมวิชาการโคนม พ.ศ. 2546. (หน้า 7-13).ขอนแก่น: ขอนแก่นการพิมพ์.

ประวีร์ วิชชุลตา, ณิฐิมา เฉลิมแสน และสุทธิศักดิ์ แก้วแกมจันทร์. (2546). **สถานภาพองค์ประกอบน้ำนมดิบในไทย.** เอกสารประกอบการประชุมวิชาการโคนม (หน้า 7-13). ขอนแก่น คณะสัตวแพทย์ศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

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

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

วิทธวัช โมพี. (2540). **เอกสารประกอบการสอน โภชนศาสตร์สัตว์กระเพาะเดี่ยว**. สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

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

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

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.

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

Beauchemin, K. A., McGinn, S. M., Benchaar, C. and Holtshausen, L. (2009). Crushed sunflower, flax, or canola seeds in lactating dairy cow diets: Effects on methane production, rumen fermentation, and milk production. **J. Dairy Sci**. 92: 2118-2127.

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

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

Bu, D. P., Wang, J. Q., Dhiman, T. R., and Liu, S. J. (2007). Effective ness of Oils Rich in Linoleic and Linolenic Acids to Enhance Conjugated Linoleic Acid in Milk from Dairy Cows. **J**. **Dairy Sci**. 90: 998-1007.

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

Chilliard, Y., martin, C., Rouel, J. and Doreau, M. (2009). Milk fatty acids in dairy cows fed whole crude linseed, extruded linseed, or linseed oil, and their relationship with methane output. **J**. **Dairy Sci**. 92: 5199-5211.

Clifford Spencer, **LINSEED**; Robin Appel Ltd., Church Court, Clewers Hill, Waltham Chase,Hampshire.

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.

Cruz-Hernandez, C., Kramer, J. K. G., Kennelly, J. J., Glimm, D. R., Sorensen, B. M., Oking, E. K., Goonewardene, L. A. and Weselake, R. J. (2007). Evaluating the conjugated linoleic acid and trans 18:1 isomers in milk fat of dairy cows fed increasing amounts of sunflower oil and a constant level of fish oil. **J**. **Dairy Sci**. 90: 539-552.

Dierking, R. M., Kallenbach, R. L. and Grun, I. U. (2010). Effect of forage species on fatty acid content and performance of pasture-finished steers. **Meat Sci**. 85: 597-605.

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

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

Flowers, G., Ibrahim, S. A. and AbuGhazaleh, A. A. (2008). Milk fatty acid composition of grazing dairy cows when supplemented with linseed oil. **J**. **Dairy Sci**. 91: 722-730.

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

Gonthier, C., Mustafa, A. F., Ouellet, D. R., Chouinard, P. Y., Berthiaume, R. and Petit, H. V.

(2005). Feeding micronized and extruded flaxseed to dairy cows: effects on blood parameters and milk fatty acid composition. **J**. **Dairy Sci**. 88: 748-756.

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

Hurley, L. W. (1995). **Lactation** Biology. Urbana: Department of Animal Sciences. Available from: http://dasses. Ansci. Illinois. Edu/ansc438/index. Html.

Loor, J. J., Ferlay, A., Ollier, A., Doreau, M. and Chilliard, Y. (2005). Relationship among *trans* and conjugated fatty acids and bovine milk fat yield due to dietary concentrate and linseed oil. **J**. **Dairy Sci**. 88: 726-740.

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

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

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

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

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

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

Petit, H. V., Dewhurst, R. J., Scollan, N. D., Proulx, J. G., Khalid, M., Haresign, W., Twagiramungu, H. and Mann, G. E. (2002). Milk production and composition, ovarian function, nd prostaglandin secretion of dairy cows fed omega-3 fats. **J**. **Dairy Sci**. 85: 889-899.

Petit, H. V., Ivan, M. and Mir, P. S. (2005). Effects of flaxseed on protein requirements and N excretion of dairy cows fed diets with two protein concentrations. **J**. **Dairy Sci**. 88: 1755-1764.

Petit, H. V., Germiquet, C. and Lebel, D. (2004). Effect of feeding whole, unprocessed sunflower seeds and flaxseed on milk production, milk composition, and prostaglandin secretion in

dairy cows. **J**. **Dairy Sci**. 87: 3889-3898.

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

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

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.

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

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

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
การศึกษาผลของการเสริม linseed oil ต่อผลผลิตน้ำนมและสัดส่วนของกรดไขมันในน้ำนมของโคนม

3.1 คำนำ

ในผลิตภัณฑ์จากสัตว์เคี้ยวเอื้องมีปริมาณของกรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acids, SFA) อยู่สูงเนื่องจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของไขมันในร่างกายของสัตว์เอง หากผู้บริโภคได้รับกรดไขมันดังกล่าวในปริมาณที่มากจะไม่เป็นผลดีต่อสุขภาพ แต่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัว(unsaturated fatty acid) บางชนิดที่พบในผลิตภัณฑ์จากสัตว์เคี้ยวเอื้อง ได้แก่ กรดไขมันโอเมก้า 6 (omega-6, C18:2n-6) และโอเมก้า 3 (omega-3, C18:3n-3) ซึ่งกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่ง (polyunsaturated fatty acids, PUFA) มีความสำคัญต่อสุขภาพผู้บริโภค เช่น ช่วยป้องกันมะเร็ง และโรคไขมันอุดตันในเส้นเลือด (atherosclerosis) (Cruz-Hernandez et al., 2007) ปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่ง (polyunsaturated fatty acids, PUFA) มีความจำเป็นต่อสุขภาพมนุษย์ เนื่องจากร่างกายมนุษย์ไม่สามารถสังเคราะห์ได้เอง Dierking et al. (2010) กล่าวว่า สัดส่วนของ omega-6 ต่อ omega-3 (ω6/ω3) ในระดับที่เหมาะสมต่อมนุษย์ คือ 2 : 1 ถึง 4 : 1 ซึ่งปัจจุบันมีงานวิจัยที่ช่วยปรับปรุงคุณภาพของกรดไขมันในผลิตภัณฑ์นม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเพิ่ม PUFA และการลดสัดส่วนของ omega-6 ต่อ omega-3 (ω6/ω3) เช่น การเสริมอาหารที่มีไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated lipids) และการใช้พืชน้ำมันทั้งในรูปของเมล็ดและน้ำมันที่ผ่านการสกัดแล้ว

ทั้งนี้พืชน้ำมันที่มีความน่าสนใจและมีปริมานกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงชนิดหนึ่ง คือ ลินสีด ซึ่งอาจจะมีผู้รู้จักในนามของพืชเศรษฐกิจชนิดใหม่ของประเทศที่ทางโครงการหลวงได้นำมาทดลองปลูกในเขตของภาคเหนือ โดยผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จากลินสีดที่คนไทยรู้จักและคุ้นเคยนั้นได้แก่ น้ำมันลินสีดที่ใช้ผสมสี และทำหมึกพิมพ์ ด้วยคุณสมบัติของลินสีดที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่สูง จึงมีการนำเอาลินสีดมาใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารสัตว์เพื่อเพิ่มกรดไขมันที่จำเป็นในไข่ไก่ เนื้อสัตว์ รวมไปถึงน้ำนมจากสัตว์ ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้ linseed oil ในอาหารโคนมต่อผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบน้ำนม และสัดส่วนของกรดไขมันในน้ำนม โดยมีงานวิจัยหลายงานพบว่าการเสริม เมล็ดหรือน้ำมันลินสีด สามารถเพิ่มปริมาณกรดไขมัน omega-3 ในน้ำนมให้สูงขึ้นและสามารถลดสัดส่วนของ omega-6 ต่อ omega-3 (ω6/ω3) ในน้ำนมให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมได้ (Zachut et al., 2010, Bu et al., 2007; Gonthier et al., 2005; Petit et al., 2004) โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่มีการเสริม

3.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของการเสริม linseed oil ต่อผลผลิตน้ำนมและสัดส่วนของกรดไขมันในน้ำนมของโคนม

3.3 อุปกรณ์และวิธีการ

3.3.1 การจัดการสัตว์ทดลองและการให้อาหาร

การจัดการสัตว์ทดลอง

โคนมที่ใช้ในการทดลองเป็นโคนมพันธุ์ลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเชียน (Crossbreed Holstein Friesian) ระดับเลือดมากกว่า 87.5% HF จำนวน 24 ตัว จำนวนวันการให้นมเฉลี่ย 83±50 วัน (mean±SD) ปริมาณน้ำนมเฉลี่ย 13.0±3 กิโลกรัม/วัน น้ำหนักเฉลี่ย 390±32 กิโลกรัม ทำการจัดสัตว์เข้าทดลองโดยการ block ด้วย จำนวนท้อง (parity) จากนั้นทำการปรับสมดุลในแต่ละ block ด้วยจำนวนวันที่ให้นม ปริมาณน้ำนมเริ่มต้นและน้ำหนักตัวเริ่มต้น ในแต่ละกลุ่มการทดลองจะมีโคนมกลุ่มละ 8 ตัว การทดลองจะใช้เวลาทั้งสิ้น 37 วัน แบ่งการทดลองออกเป็น 6 ช่วง ๆ ละ 5 วัน และเวลาในการปรับตัวสัตว์ก่อนการทดลอง 7 วัน จัดให้โคแต่ละตัวกินอาหารตามกลุ่มทดลองอย่างเป็นอิสระต่อกันดังนี้

กลุ่มการทดลองที่ 1 เป็นกลุ่มควบคุม ได้รับอาหารข้นตามปกติ (ไม่เสริม linseed oil) เสริมน้ำมันปาล์ม 300 กรัม/ตัว/วัน

กลุ่มการทดลองที่ 2 เป็นกลุ่มทดลอง ได้รับอาหารข้นเสริม linseed oil 150 กรัม/ตัว/วัน และน้ำมันปาล์ม 150 กรัม/ตัว/วัน

กลุ่มการทดลองที่ 3 เป็นกลุ่มทดลอง ได้รับอาหารข้นเสริม linseed oil 300 กรัม/ตัว/วัน

โดยการเสริมน้ำมันปาล์มร่วมกับน้ำมันลินสีดในกลุ่มควบคุมและในกลุ่มที่เสริมน้ำมันลินสีด 150 กรัม/วัน ก็เพื่อให้แต่ละกลุ่มการทดลองได้รับพลังงานเท่าเทียมกัน สำหรับอาหารข้น (Concentrate) ที่ใช้ในการทดลองเป็นอาหารข้นชนิดเม็ด (Pellet) มีคุณค่าทางโภชนะตามความต้องการของโคนมระยะให้นม (NRC, 2001) ได้รับวันละ 3 ครั้ง ในเวลา 08.00 น. 11.00 น. และ 16.00 น.

อาหารหยาบ (Roughage) ที่ใช้ในการทดลองคือ หญ้าหมัก ซึ่งได้รับอย่างเต็มที่ (*ad libitum*) น้ำดื่ม มีอ่างน้ำสะอาดสำหรับให้โคกินตลอดเวลา

ตารางที่ 3.1 แสดงลักษณะที่ใช้ในการจัดกลุ่มโคก่อนการทดลอง (Mean±S.D.)

Parameters	Control 300 g/d PO	150 g/d LO + 150 g/d PO	300 g LO/d
No. of lactation	1.62±0.9	1.62±0.8	1.87±1
Milk yield, Kg/d	13.0±3.02	13.0±2.50	13.0±3.52
Day in milk, d	84±55	82±54	82±45
Body weight, kg	383±30.67	390±44.51	392±32.35

3.3.2 วิธีการทดลองและเก็บข้อมูล

ทำการจัดกลุ่มที่อยู่ในช่วงแรกของการให้นมจำนวน 24 ตัว ออกเป็น 3 กลุ่มทดลอง นำโคเข้าทดลองโดยได้อาหารข้นตามปกติ (ไม่เสริม linseed oil) แต่เสริมน้ำมันปาล์ม 300 กรัม/ตัว/วัน ในกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มที่ได้รับ อาหารข้นเสริม linseed oil 150 กรัม/ตัว/วัน ร่วมกับน้ำมันปาล์ม 150 กรัม/ตัว/วัน และ 300 กรัมต่อตัวต่อวัน ในกลุ่มทดลองที่ 2 และ 3 ตามลำดับ อาหารหยาบ (Roughage) ที่ใช้ในการทดลองคือ หญ้าหมัก ซึ่งได้รับอย่างเต็มที่ (*ad libitum*) ระหว่างทดลองมีการเก็บข้อมูลดังต่อไปนี้

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

3.3.2.2 น้ำหนักตัว ทำการชั่งน้ำหนักตัวก่อนและหลังการทดลองของโคทั้ง 3 กลุ่มทดลอง หลังจากทำการรีดนมช่วงเช้าก่อนการให้อาหาร โดยชั่งน้ำหนักโครายตัวด้วยเครื่องชั่ง จากนั้นนำน้ำหนักโคทั้งก่อนและหลังการทดลองไปคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวเฉลี่ยต่อวัน (Body Weight Change : BWC)

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

3.3.3 การศึกษาองค์ประกอบและปริมาณของกรดไขมันในไขมันนม

สุ่มเก็บน้ำนมดิบในวันที่ 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 จากหลอดทดลองใส่ในหลอดทดลองที่เติมโซเดียมซัลเฟต (Na_2So_4) และทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที ทำการแยกตัวทำละลายออกจากไขมันโดยระเหยที่อุณหภูมิ 40°C ด้วย Rotary Evaporator แล้วย้ายไปเก็บภายใต้แก๊สไนโตรเจนที่อุณหภูมิ -20°C จนกว่าจะทำการ Methylation และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมัน (Fatty acid) โดยเครื่อง Gas Chromatography (GC)

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

1. การทำ saponification

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

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

2. การทำ methylation

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

มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ใน hexane) ไล่อากาศภายในหลอดทดลองด้วยแก๊สไนโตรเจน ปิดฝาหลอดทดลองให้สนิท

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

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

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

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

Condition of GC :

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

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

Detector : FID, 260°C

Injector : split 100 :1, 250°C

3.4 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลที่บันทึกจากการทดลองได้แก่ การกินได้วัตถุแห้ง น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัว ที่เปลี่ยนแปลง ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม องค์ประกอบและกรดไขมัน ในน้ำนม ข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการทดลองถูกนำเข้าประมวลผลและวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) ตามแผนการทดลอง แบบ Randomize Complete Block Design (RCBD) โดยใช้ Proc. GLM (SAS, 1996) และวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ โดยวิธี F-test เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ตามวิธีการของ Steel and Torrie (1980)

3.5 สถานที่ทำการทดลอง

ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อาคารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 1 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
อาคารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 3 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.6 ระยะเวลาในการทดลอง

เริ่มการทดลองตั้งแต่วันที่ 28 ตุลาคม 2554 ถึงวันที่ 3 ธันวาคม 2554

3.7 ผลการทดลอง

3.7.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารข้น หญ้าหมัก ที่ใช้ในการทดลอง แสดงดังตารางที่ 3.2 โดยโคนมทั้งสามกลุ่มการทดลองจะได้รับอาหารข้นที่มีคุณค่าทางโภชนะที่เหมือนกัน ซึ่งได้แก่ วัตถุแห้งมีค่าเท่ากับ 92.25% โปรตีนมีค่าเท่ากับ 21.82% ไขมันมีค่าเท่ากับ 4.93% เถ้ามีค่าเท่ากับ 12.44% เยื่อใยมีค่าเท่ากับ 18.94% NFC มีค่าเท่ากับ 24.22% NDF มีค่าเท่ากับ 36.57% ADF มีค่าเท่ากับ 21.88% ADL มีค่าเท่ากับ 6.21% NDIN มีค่าเท่ากับ 1.42% NDINCP มีค่าเท่ากับ 8.91% ADIN มีค่าเท่ากับ 0.75% ADINCP มีค่าเท่ากับ 4.74% และ ได้รับอาหารหยาบที่มีคุณค่าทางโภชนะที่เหมือนกัน ซึ่งได้แก่ วัตถุแห้งมีค่าเท่ากับ 28.97%โปรตีนมีค่าเท่ากับ 7.08% ไขมันมีค่าเท่ากับ 1.99% เถ้ามีค่าเท่ากับ 12.66% เยื่อใยมีค่าเท่ากับ 29.24% NFC มีค่าเท่ากับ 5.91% NDF มีค่าเท่ากับ 72.34% ADF มีค่าเท่ากับ 50.07% ADL มีค่าเท่ากับ 10.41% NDIN มีค่าเท่ากับ 0.57% NDINCP มีค่าเท่ากับ 3.62% ADIN มีค่าเท่ากับ 0.49% และ ADINCP มีค่าเท่ากับ 3.07%

เมื่อนำค่าองค์ประกอบทางเคมีของอาหารข้น และ หญ้าหมัก มาคำนวณหาค่าโภชนะของการย่อยได้ทั้งหมด (TDN) พลังงานย่อยได้ (DE) พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (ME) และพลังงานสุทธิ (NE) ตามสมการของ NRC (2001) จะได้ค่าต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.3 ค่าโภชนะของการย่อยได้ทั้งหมดของอาหารข้น มีค่าเท่ากับ 53.68% พลังงานการย่อยได้มีค่าเท่ากับ 2.41 Mcal/kgDM ส่วนพลังงานใช้ประโยชน์ได้ มีค่าเท่ากับ 1.99 Mcal/kgDM และพลังงานสุทธิ มีค่าเท่ากับ 1.21 Mcal/kgDM และมีค่าโภชนะของการย่อยได้ทั้งหมดของอาหารหยาบ มีค่าเท่ากับ 40.17% พลังงานการย่อยได้มีค่าเท่ากับ 2.00 Mcal/kgDM ส่วนพลังงานใช้ประโยชน์ได้ มีค่าเท่ากับ 1.57 Mcal/kgDM และพลังงานสุทธิ มีค่าเท่ากับ 0.91 Mcal/kgDM

ตารางที่ 3.2 องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร

Composition			
Dry matter (%)	**Grass silage**	**Concentrate**	**PO/LSO**
……% Dry matter……..			
Dry matter	28.97	92.25	-
Crude protein	7.08	21.82	-
Crude fat	1.99	4.93	100
Ash	12.66	12.44	-
Crude fiber	29.24	18.94	-
Non fiber carbohydrate	5.91	24.22	-
Neutral detergent fiber	72.34	36.57	-
Acid detergent fiber	50.07	21.88	-
Acid detergent lignin	10.41	6.21	-
Neutral detergent insoluble nitrogen	0.57	1.42	-
Neutral detergent insoluble crude protein	3.62	8.91	-
Acid detergent insoluble nitrogen	0.49	0.75	-
Acid detergent insoluble crude protein	3.07	4.74	-
dg DM	0.34	0.60	-
dg CP	0.39	0.69	-

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.3 คุณค่าทางพลังงานในอาหาร

	Grass silage	Conc.	LSO
Total digestible nutrient at maintenance (TDN_{1X}; %)[1]	40.17	53.68	184.15
Digestible energy at production level (DE_P; Mcal/kg)[2]	2.00	2.41	5.79
Metabolizable energy at production level (ME_P; Mcal/kg)[3]	1.57	1.99	5.79
Net energy for lactation at production level (NE_{LP}; Mcal/kg)[4]	0.91	1.21	4.63

หมายเหตุ :

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

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

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

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

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

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

ตารางที่ 3.4 การย่อยสลายวัตถุแห้งของอาหาอาหารข้น และ หญ้าหมัก

	วัตถุแห้ง (ชั่วโมง)								
วัตถุดิบ	**0**	**2**	**4**	**8**	**12**	**24**	**48**	**72**	***dg* DM**
Degradability of DM	…….. (%) ……..								
อาหารข้น โปรตีน 21%	34.78	49.44	53.93	55.77	63.65	74.93	86.99	-	59.93
หญ้าหมัก	11.67	14.87	19.11	25.95	29.06	44.71	58.52	67.36	33.91

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

ตารางที่ 3.5 การย่อยสลายโปรตีนการย่อยสลายโปรตีนของอาหารข้น และ หญ้าหมัก

	วัตถุแห้ง (ชั่วโมง)								
วัตถุดิบ	**0**	**2**	**4**	**8**	**12**	**24**	**48**	**72**	***dg* CP**
Degradability of CP	…….. (%) ……..								
อาหารข้น โปรตีน 21%	48.79	58.81	63.98	69.11	73.11	79.97	87.67	-	68.78
หญ้าหมัก	35.56	36.98	38.50	38.66	39.12	40.78	41.65	44.12	39.41

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

3.7.2 ปริมาณการกินได้ของโคนม

ปริมาณการกินได้ของโคนม เมื่อเปรียบเทียบกับโคนมกลุ่มควบคุม และ กลุ่มที่ได้รับการเสริม linseed oil ในระดับ 150 และ 300 กรัม/ตัว/วัน แสดงดังตารางที่ 3.6 พบว่าปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14.67 14.86 และ 14.79 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ของโคทั้ง 3 กลุ่มการทดลองและปริมาณการกินได้ของโปรตีนจากอาหาร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,833 1,847 และ 1,842 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ ซึ่งจากการทดลองนั้นพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ของโคนมทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง ส่วนปริมาณการกินได้ของพลังงานสุทธิจากอาหาร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.12 16.30 และ 16.24 Mcal/ตัว/วัน ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ 3.6 ผลของการเสริม linseed oil ต่อปริมาณการกินได้ของโคนม

ปริมาณการกินได้	Control 300 g/d PO	150 g/d LO + 150 g/d PO	300 g LO/d	EM	P-value
วัตถุแห้ง		**……..(กิโลกรัม/วัน)……**			
อาหารข้น	5.54	5.54	5.54	-	-
หญ้าหมัก	8.83	9.02	8.95	0.175	0.9044
Palm/Linseed oil	0.30	0.30	0.30	-	-
รวม	14.67	14.86	14.79	0.175	0.9044
โปรตีน		**……. (กรัม/วัน) ……**			
อาหารข้น	1208	1208	1208	-	-
หญ้าหมัก	625	639	634	12.39	0.9044
Palm/Linseed oil	0	0	0	-	-
รวม	1833	1847	1842	12.39	0.9044
พลังงานสุทธิ		**……. (Mcal/วัน)……**			
อาหารข้น	6.70	6.70	6.70	-	-
หญ้าหมัก	8.03	8.21	8.15	0.159	0.9043
Palm/Linseed oil	1.39	1.39	1.39	-	-
รวม	16.12	16.30	16.24	0.159	0.9034

3.7.3 การประมาณค่าโปรตีนและพลังงานของโคนมที่ได้รับอาหาร

การได้รับโปรตีนย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{sup}) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP_{sup}) ของโคนมกลุ่มควบคุม และ กลุ่มที่ได้รับการเสริม linseed oil ในระดับ 150 และ 300 กรัม/ตัว/วัน แสดงไว้ในตารางที่ 3.7 พบว่า RDP_{sup} มีค่าเท่ากับ 1077 1082 และ 1080 กรัม/วัน ตามลำดับ และ RUP_{sup} มีค่าเท่ากับ 756 761 และ 764 กรัม/วัน ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ของทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง ความต้องการโปรตีนย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{sup}) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP_{sup}) สามารถคำนวณได้จากสมการของ NRC (2001) แสดงไว้ในตารางที่ 3.7 พบว่าความต้องการโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{sup}) ของโคนมในกลุ่มควบคุม มีค่าเท่ากับ 1,206 กรัม/วัน โคในกลุ่มที่ได้รับ การเสริม linseed oil ที่ระดับ 150 กรัม/ตัว/วัน มีค่าเท่ากับ 1,218 กรัม/วัน และโคในกลุ่มที่ได้รับการเสริมที่ระดับ 300 กรัม/ตัว/วัน มีค่าเท่ากับ 1,126 กรัม/วัน ซึ่งทั้ง 3 กลุ่มการทดลองได้รับ RDP_{sup} ไม่เพียงพอต่อความต้องการเท่ากับ -129 -136 และ -134 กรัม/วัน ตามลำดับ ในส่วนของความต้องการโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RUP_{sup}) พบว่าโคนมในโคนมกลุ่มควบคุม และ กลุ่มที่ได้รับการเสริม linseed oil ในระดับ 150 และ 300 กรัม/ตัว/วัน มีความต้องการ RUP_{req} เท่ากับ 656 874 และ 888 กรัม/วัน ตามลำดับ ซึ่งพบว่าโคนมกลุ่มควบคุม ได้รับ RUP_{req} เกินความต้องการเท่ากับ +100 แต่โคนมที่ได้รับการเสริม linseed oil ในระดับ 150 และ 300 กรัม/ตัว/วัน ได้รับ RUP_{req} ไม่เพียงพอต่อความต้องการเท่ากับ -110 และ -117 ตามลำดับ ซึ่งพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ระหว่าง 3 กลุ่มการทดลอง นอกจากนี้โปรตีนที่ได้รับจากจุลินทรีย์ เท่ากับ 1,025 1,218 และ 1,214 กรัม/วัน ตามลำดับ และความต้องการโปรตีนทั้งหมด มีค่าเท่ากับ 1074 1,196 และ 1,200 กรัม/วัน ตามลำดับ พบว่าโปรตีนที่ได้รับจากจุลินทรีย์และความต้องการโปรตีนทั้งหมด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ของโคนมทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง

การจำแนกพลังงานสุทธิเพื่อกิจกรรมต่างๆ ของโคนม กลุ่มควบคุม และ กลุ่มที่ได้รับการเสริม linseed oil ในระดับ 150 และ 300 กรัม/วัน ตามสมการ NRC (2001) ซึ่งแสดงในตารางที่ 3.8 พบว่าการกินได้ของพลังงานสุทธิ (NE_L intake) มีค่าเท่ากับ 16.12 16.30 และ 16.24 Mcal/วัน ตามลำดับ ในส่วนของพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (NE_{LM}) มีค่าเท่ากับ 6.94 7.09 และ 7.14 Mcal/วัน ตามลำดับ พลังงานสุทธิเพื่อการผลิตน้ำนม (NE_{LL}) มีค่าเท่ากับ 7.80 7.45 และ 7.33 Mcal/วัน ตามลำดับ พลังงานสุทธิเพื่อการสร้างน้ำหนักตัว (NE_{LG}) มีค่าเท่ากับ 0.68 1.32 และ 1.94 Mcal/วัน ตามลำดับ พลังงานสุทธิสะสม (NE_{LR}) มีค่าเท่ากับ 15.42 15.86 และ 16.41 Mcal/วัน ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของโคนมทั้ง 3 กลุ่มการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.96 0.97 และ 1.00 ตามลำดับ โดยพบว่า พลังงานที่โคนมใช้ในการทำกิจกรรมต่าง ๆ และพลังงานที่โคนมได้รับจาก

อาหารนั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) (ตารางที่ 3.8)

ตารางที่ 3.7 ปริมาณของโปรตีนที่ได้รับจากอาหารและความต้องการของโคนม

	Control 300 g/d PO	**150 g/d LO + 150 g/d PO**	**300 g LO/d**	**SEM**	**P-value**
	.....(กรัม/ตัว/วัน)……				
ความต้องการ RDP_{req}	1206	1218	1214	12.9	0.2034
(RDP_{sup}) จากอาหาร	1077	1082	1080	4.9	0.4764
ขาด/เกิน	-129	-136	-134	8.0	0.5429
โปรตีนที่ได้รับจากจุลินทรีย์ (MCP)	1025	1035	1032	11.0	0.2034
ความต้องการโปรตีนทั้งหมด (MP_R)	1074	1196	1200	60.3	0.6941
ความต้องการ RUP_{req}	656	874	888	55.0	0.4469
(RUP_{sup}) จากอาหาร	756	764	761	7.5	0.6195
ขาด/เกิน	$+100^{a}$	-110^{b}	-117^{b}	53.0	0.0482

ตารางที่ 3.8 พลังงานที่โคนมต้องการเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ และที่โคนมได้รับจากอาหาร

	Control 300 g/d PO	**150 g/d LO + 150 g/d PO**	**300 g LO/d**	**SEM**	**P-value**
	.....…….(Mcal/วัน)…….....				
การกินได้พลังงานสุทธิ (NE_L intake)	16.12	16.30	16.24	0.159	0.9034
พลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (NE_{LM})	6.94	7.09	7.14	0.087	0.6149
พลังงานสุทธิเพื่อการผลิตน้ำนม (NE_{LL})	7.80	7.45	7.33	0.444	0.8380
พลังงานสุทธิเพื่อการเพิ่มน้ำหนักตัว (NE_{LG})	0.68	1.32	1.94	0.464	0.5487
พลังงานสุทธิสะสม (NE_{LR})	15.42	15.86	16.41	0.595	0.8492
ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Efficiency)	0.96	0.97	1.00	0.064	0.7695

3.7.4 น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง

น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลงของโคนมมกลุ่มควบคุม และ กลุ่มที่ได้รับการเสริม linseed oil ในระดับ 150 และ 300 กรัม/ตัว/วัน แสดงไว้ในตารางที่ 3.9 พบว่าน้ำหนักตัวของโคนมก่อนการทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 383 390 และ 392 กิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนน้ำหนักตัวหลังสิ้นสุดการทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 385 401 และ 406 กิโลกรัม ตามลำดับและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 67 367 และ 467 กรัมต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งจากการทดลองพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ระหว่างโคนมทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง

ตารางที่ 3.9 ผลของการเสริม linseed oil ต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว

น้ำหนักตัว (กิโลกรัม)	Control 300 g/d PO	150 g/d LO + 150 g/d PO	300 g LO/d	SEM	P-value
ก่อนการทดลอง	383	390	392	7.424	0.8689
หลังการทดลอง	385	401	406	6.09	0.3452
น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง (g/d)	+67	+367	+467	135	0.4550

3.7.5 ปริมาณน้ำนมและปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม

ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม แสดงดังตารางที่ 3.10 พบว่า โคนมกลุ่มควบคุม และ กลุ่มที่ได้รับการเสริม linseed oil ในระดับ 150 และ 300 กรัม/ตัว/วัน โคนมมีผลผลิตน้ำนมเท่ากับ 11.35 11.80 และ 10.88 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ ปริมาณน้ำนมปรับไขมัน 3.5% เท่ากับ 12.04 11.44 และ 11.18 กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ ปริมาณไขมันนมเท่ากับ 445 397 และ 405 กรัม/วัน ตามลำดับ ปริมาณโปรตีนนมเท่ากับ 322 330 และ 313 กรัม/วัน ตามลำดับ ปริมาณแล็คโตสเท่ากับ 481 494 และ 467 กรัม/วัน ตามลำดับ ปริมาณของแข็งพร่องไขมัน 920 946 และ 891 กรัม/วัน ตามลำดับ ปริมาณของแข็งรวมในน้ำนม 1,366 1,344 และ 1,296 กรัม/วัน ตามลำดับ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

เปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบน้ำนมแสดงไว้ในตารางที่ 3.11 พบว่าไขมันนมมีค่าเท่ากับ 3.92 3.37 และ 3.73% ตามลำดับ โปรตีนนมมีค่าเท่ากับ 2.84 2.80 และ 2.88% ตามลำดับ แล็คโตสมีค่าเท่ากับ 4.24 4.19 และ 4.30% ตามลำดับ ของแข็งพร่องไขมัน (solid not fat) มีค่าเท่ากับ 8.11 8.02 และ 8.19%ตามลำดับ ของแข็งรวมในน้ำนม (total solid) มีค่าเท่ากับ 12.04 11.39 และ 11.92% ตามลำดับ ซึ่งพบว่าเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ 3.10 ผลของการเสริมเสริม linseed oil ต่อปริมาณผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมในโคนม

ผลผลิตน้ำนม	300 g/d PO	150 g/d LO + 150 g/d PO	300 g LO/d	SEM	P-value
	…….. (kg/day) ……				
ปริมาณน้ำนม	11.35	11.80	10.88	0.647	0.8483
ปริมาณน้ำนมปรับไขมัน 3.5%	12.04	11.44	11.18	0.581	0.8273
องค์ประกอบของน้ำนม	…….. (g/day) ……				
ปริมาณไขมันนม	445	397	405	19.61	0.5608
ปริมาณโปรตีนนม	322	330	313	18.15	0.9230
ปริมาณแล็คโตส	481	494	467	27.27	0.9207
ปริมาณของแข็งพร่องไขมัน	920	946	891	52.67	0.9087
ปริมาณของแข็งรวมในนม	1366	1344	1296	70.22	0.9224

ตารางที่ 3.11 ผลของการเสริม linseed oil ต่อองค์ประกอบของน้ำนมในโคนม

องค์ประกอบน้ำนม (%)	Control 300 g/d PO	150 g/d LO + 150 g/d PO	300 g LO/d	SEM	P-value
	…….. (%) .. ……				
ไขมันนม	3.92	3.37	3.73	0.099	0.0940
โปรตีนนม	2.84	2.80	2.88	0.017	0.1453
แล็คโตส	4.24	4.19	4.30	0.023	0.1368
ของแข็งพร่องไขมัน	8.11	8.02	8.19	0.049	0.3893
ของแข็งรวมในนม	12.04	11.39	11.92	0.127	0.1145

3.7.6 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำนม (% of total fatty acid)

ปริมาณสัดส่วนของกรดไขมันในน้ำนมของโคนมกลุ่มควบคุม และ กลุ่มที่ได้รับการเสริม linseed oil ในระดับ 150 และ 300 กรัม/ตัว/วัน แสดงดังตารางที่ 3.12 พบว่าการเสริม plam oil ในระดับ 300 กรัม/ตัว/วัน มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมัน C16 : 0 เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ได้รับการเสริม linseed oil ในระดับ 150 และ 300 กรัม/ตัว/วัน การเสริม linseed oil ในระดับ 150 และ 300 กรัม/ตัว/วัน ไม่มีผลต่อระดับ C18 : 1 C18 : 2

C18 : 3 SFA USFA MUFA PUFA n6 n3 และสัดส่วนของ n6 : n3 (P>0.05) แต่อย่างไรก็ตาม การเสริม linseed oil ที่ระดับ 300 กรัม/ตัว/วัน จะมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมัน C20 : 3n6 เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ได้รับการเสริม linseed oil ในระดับ 150 กรัม/ตัว/วัน

ตารางที่ 3.12 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำนม (% of total fatty acid)

Fatty Acids	Control 300 g/d PO	150 g/d LO + 150 g/d PO	300 g LO/d	SEM	P-value
C4:0	12.982	12.613	13.250	0.748	0.9444
C6:0	4.890	4.812	5.747	0.371	0.5724
C8:0	2.075	1.980	2.745	0.212	0.3882
C10:0	3.328	3.598	3.916	0.389	0.8577
C11:0	0.650	0.518	0.538	0.046	0.7126
C12:0	7.443	9.324	7.007	0.696	0.3943
C13:0	0.383	0.540	0.476	0.027	0.3506
C14:0	7.345	1.735	1.710	1.036	0.0996
C15:0	1.087	0.987	1.000	0.127	0.9645
C16:0	37.315	35.635	29.113	1.90	0.2567
C16:1	2.234	2.037	1.774	0.295	0.8811
C17:1	1.200	1.173	1.210	0.104	0.9927
C18:0	6.914	11.117	8.477	0.84	0.2606
C18:1n9t	7.82	6.04	12.81	3.268	0.7415
C18:1n9c	0.633	1.320	0.651	0.118	0.1272
C18:2n6t	3.318	3.950	3.368	0.32	0.6955
C18:2n6c	0.832	0.717	1.045	0.125	0.6751
C18:3n6	0.650	0.440	0.230	0.036	0.2480
C18:3n3	1.426	1.565	1.774	0.192	0.8316
C20:0	2.787	2.835	2.908	0.317	0.9923
C20:1	4.763	2.390	2.162	0.515	0.3473
c9t11	1.146	0.846	0.842	0.124	0.6268
C22:0	0.990	0.726	1.930	0.118	0.2168

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.12 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำนม (% of total fatty acid) (ต่อ)

Fatty Acids	Control 300 g/d PO	150 g/d LO + 150 g/d PO	300 g LO/d	SEM	P-value
C20:3n6	ND	0.485	0.380	0.007	0.2490
C20:4n6	1.07[c]	1.76[b]	2.43[a]	0.001	0.0074
C22:6n3	ND	1.51	1.21	0.119	0.6113
SFA	82.082	80.064	72.274	2.403	0.2939
UFA	17.705	19.936	17.705	2.407	0.2856
n6	5.672	6.240	6.041	0.461	0.8970
n3	1.426	3.075	2.984	0.541	0.9050
n6:n3	3.98	2.03	2.02	0.228	0.6806

หมายเหตุ: SEM = Standard error of mean, ND=Not detected ,[a,b] ที่กำกับอยู่ในแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

3.8 วิจารณ์ผลการทดลอง

3.8.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของอาหารสัตว์ทดลอง พบว่าอาหารข้นมีองค์ประกอบทางเคมี คือ เปอร์เซ็นต์โปรตีนเท่ากับ 21.82% ซึ่งสูงกว่าระดับของ NRC (2001) ที่แนะนำว่าโคที่อยู่ในระยะแรกของการให้น้ำนมที่มีปริมาณน้ำนมไม่เกิน 15 กิโลกรัมต่อวัน มีโปรตีนนมเฉลี่ยไม่เกิน 3% และมีไขมันนมเฉลี่ยไม่เกิน 4.5% ควรจะได้รับอาหารข้นที่มีโปรตีนที่ระดับ 16.3% เปอร์เซ็นต์ ไขมันมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.93% อยู่ในช่วงที่ NRC, (2001) แนะนำคือที่ระดับ 3% แต่ไม่เกิน 5% ซึ่งเป็นระดับที่ไม่ส่งผลต่อการย่อยเซลลูโลสในกระเพาะหมักและมีค่าใกล้เคียงกับ พิทักษ์พงษ์ แพงสาย (2552) ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ไขมันในอาหารข้นเท่ากับ 4.06% เปอร์เซ็นต์เยื่อใยมีค่าเท่ากับ 18.94% เปอร์เซ็นต์คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใย (NFC) มีค่าเท่ากับ 24.22% ซึ่งพบว่าต่ำกว่าที่ระดับของ NRC (2001) แนะนำคือ ที่ระดับ 36-44%

เปอร์เซ็นต์เยื่อใยที่ไม่ละลายในตัวทำละลายที่เป็นกลาง (NDF) มีค่าเท่ากับ 36.57% ซึ่งพบว่าใกล้เคียงกับรายงานของ พิทักษ์พงษ์ แพงสาย (2552) และ NRC (2001) คือที่ระดับ 39.08% และ 36-44% ตามลำดับ ซึ่งพบว่า NDF มีคุณสมบัติทางกายภาพในการเพิ่มการเคี้ยวเอื้อง และเพิ่มความเป็น buffer ซึ่งจะทำให้ระดับของ pH ในกระเพาะหมักมีความสมดุลมากขึ้น เปอร์เซ็นต์เยื่อใย

ที่ไม่ละลายในตัวทำละลายที่เป็นกรด (ADF) มีค่าเท่ากับ 21.88 % ซึ่งพบว่ามีค่าสูงกว่ารายงานของ พิทักษ์พงษ์ แพงสาย (2552 คือที่ระดับ 15.99% และ NRC (2001) แนะนำคือ 17-21% ในสูตรอาหาร เปอร์เซ็นต์ NDIN มีค่าเท่ากับ 1.42% และ ADIN มีค่าเท่ากับ 0.75% (NDICP มีค่าเท่ากับ 8.91% และ ADICP มีค่าเท่ากับ 4.74%)

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารหยาบ คือ หญ้าหมัก พบว่า มีค่าเฉลี่ยของ วัตถุแห้ง โปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใย NFC NDF ADF ADL NDIN และ ADIN เท่ากับ 28.97 7.08 1.99 12.66 29.24 5.91 72.34 50.07 10.41 0.57 และ 0.49% ตามลำดับ

อัตราการย่อยสลายของวัตถุแห้ง (dgDM) ในอาหารข้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 60.0% พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับ พิทักษ์พงษ์ แพงสาย (2552) ที่รายงานไว้ที่ระดับ 60.9 % หญ้าหมักมีค่าเท่ากับ 34.0% ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับรายงานของ พิทักษ์พงษ์ แพงสาย (2552) ที่รายงานไว้ที่ 37.3% และอัตราการย่อยสลายของโปรตีน (dgCP) ในอาหารข้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 69.0% ซึ่งพบว่ามีค่าใกล้เคียง พิทักษ์พงษ์ แพงสาย (2552) ที่รายงานไว้ที่ 69.4% ส่วนในอาหารหยาบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -39.0% ต่ำกว่ารายงานของพิทักษ์พงษ์ แพงสาย (2552) ที่รายงานไว้ที่ 48.2%

เมื่อนำผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีไปคำนวณหาค่าพลังงานประเภทต่าง ๆ ตามสมการของ NRC (2001) พบว่าอาหารข้นและหญ้าหมักมีพลังงานในรูปของโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (Total digestible nutrient, TDN_{1X}) เท่ากับ 53.68 และ 40.17 % ทั้งนี้ค่า TDN_{1X} อาจขึ้นกับอายุในการเก็บเกี่ยวและชนิดของวัตถุดิบที่นำมาประกอบในสูตรอาหารข้นและของหญ้าหมักเอง ซึ่งโคนมทั้งสามกลุ่มทดลองจะได้รับในปริมาณที่เท่ากันเพราะใช้อาหารข้นและหญ้าหมักชนิดเดียวกันในการทดลอง

3.8.2 ปริมาณการกินได้ของโคนม

การกินได้วัตถุแห้ง โปรตีนหยาบ และพลังงานสุทธิเพื่อการผลิตน้ำนมของโคทดลองทั้ง 3 กลุ่ม ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) (ตารางที่) 3.4 ซึ่งสอดคล้องกับที่ได้มีรายงานมาก่อนว่า ถ้าเปอร์เซ็นต์ไขมันในอาหารไม่เกินกว่า 6% ของวัตถุแห้งอาหาร การกินได้มีผลกระทบเล็กน้อยเมื่อทำการเสริมไขมันที่มีความเข้มข้นและชนิดต่าง ๆ กัน (Kennelly, 1996; Oldick et al., 1997; Dhiman et al., 2000; Petit et al., 2001; Suksombat and Chullanandana, 2008) Benchaar et al. (2012) ให้อาหารผสมครบส่วน (Total mix ration; TMR) ที่มีสัดส่วนอาหารข้นต่ออาหารหยาบ เท่ากับ 50 : 50 (น้ำหนักแห้ง) โดยไม่เสริม (กลุ่มควบคุม) หรือ เสริม (น้ำหนัก/น้ำหนัก;

วัตถุแห้ง) ด้วยน้ำมันลินสีด ที่ระดับ 2 3 และ 4% ให้กับโคนมที่กำลังรีดนม การทดลองพบว่า การเสริมน้ำมันลินสีดนั้นไม่มีผลต่อการกินได้วัตถุแห้ง และต่อการย่อยได้โภชนะ (อินทรียวัตถุ NDF ADF แป้ง และพลังงานรวม) ในทางตรงกันข้าม Martin et al. (2008) สรุปว่าโครีดนมที่ได้รับอาหารที่เสริมด้วยน้ำมันลินสีดจะมีการกินได้วัตถุแห้งและผลผลิตน้ำนมต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่เสริม แต่ถ้าเสริมในรูปเมล็ดลินสีด หรือเอกซ์ทรูดลินสีด การลดลงของการกินได้ที่เกิดขึ้นกับโคที่ได้รับการเสริมน้ำมันลินสีด ไม่สามารถอธิบายได้อย่างเชื่อมั่นว่าเกิดจากการรบกวนการทำหน้าที่ของกระเพาะหมัก ทั้งนี้เพราะการย่อยได้ของโภชนะนั้นไม่ได้เป็นผลกระทบมาจากรูปแบบต่าง ๆ ของน้ำมันลินสีด อาจเป็นไปได้ว่า การกินได้กรดไขมันมีผลยับยั้งโดยตรงต่อการกินได้อิสระ โดยการยับยั้งการเคลื่อนไหวของกระเพาะหมัก (Chilliard, 1993)

ผลของ UFA รวมทั้งการเสริม LSO ต่อการกินได้และการย่อยได้โภชนะค่อนข้างผันแปรระหว่างการศึกษา ยกตัวอย่าง เช่น Ben Salem et al. (1993) รายงานว่าไม่มีผลต่อการกินได้เมื่อเสริม rapeseed oil ที่ระดับ 7% ให้กับโคนมที่ได้รับอาหารที่มีหญ้าแห้งเป็นอาหารหยาบหลัก (60 : 40 อาหารหยาบต่ออาหารข้น) แต่ rapeseed oil ลดการย่อยได้อินทรีย์วัตถุและเยื่อใยในโคนมที่ได้รับอาหารที่มีต้นข้าวโพดหมักเป็นอาหารหยาบหลัก (65 : 35 อาหารหยาบต่ออาหารข้น) ในทางตรงกันข้าม Martin et al. (2008) พบว่า การเสริม LSO ที่ระดับ 5.7% ให้กับโคนมที่ได้รับพืชอาหารสัตว์สดเป็นอาหารหยาบหลัก (65 : 35 อาหารหยาบต่ออาหารข้น) ลดการกินได้วัตถุแห้งและการย่อยได้วัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ และเยื่อใย Doreau et al. (2009) ทำการเสริม LSO ที่ระดับ 2.6% ให้กับโคนมที่ได้รับพืชอาหารสัตว์สดเป็นอาหารหยาบหลัก (75 : 25 อาหารหยาบต่ออาหารข้น) และพบว่า LSO ไม่ได้ทำให้การกินได้วัตถุแห้งลดลง และไม่ได้ทำให้การย่อยได้วัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ ละเยื่อใยลดลง นอกจากนี้ Ueda et al. (2003) รายงานไม่พบความแตกต่างของการกินได้วัตถุแห้งในโคนมที่ได้รับพืชอาหารสัตว์สดเป็นอาหารหยาบหลัก (65 : 35 อาหารหยาบต่ออาหารข้น) หรือโคที่ได้รับอาหารข้นมาก (35 : 65 อาหารหยาบต่ออาหารข้น) เมื่อทำการเสริม LSO ที่ระดับ 3% ในขณะที่ Shingfield et al. (2011) ไม่พบความแตกต่างของการกินได้และการย่อยได้วัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ หรือเยื่อใย เมื่อทำการเสริม LSO ที่ระดับ 3% ในเพศผู้ตอนที่กำลังเจริญเติบโตที่ได้รับอาหารที่มีต้นข้าวโพดหมักเป็นอาหารหยาบหลัก (60 : 40 อาหารหยาบต่ออาหารข้น) เป็นที่น่าสนใจว่า Ueda et al. (2003) รายงานว่า การย่อยได้เยื่อใยและอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเสริม LSO ที่ระดับ 3% ให้กับโคนมที่ได้รับพืชอาหารสัตว์สดเป็นอาหารหยาบหลัก แต่การย่อยได้โภชนะเหล่านี้กลับลดลง

เมื่อโคนมได้รับอาหารข้นมาก งานวิจัยในครั้งนี้เสริม LSO ที่ระดับ 1-2% และใช้หญ้าหมักเป็นอาหารหยาบหลักและสัดส่วนอาหารหยาบต่ออาหารข้นเท่ากับ 60 : 40 ซึ่งอยู่ในช่วงระดับปานกลาง และให้ผลสอดคล้องกับงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น จากการประมวลภาพรวมนี้ ผลการทดลองเหล่านี้ชี้ให้เห็นว่าผลของการเสริม UFA รวมทั้ง LSO ต่อการกินได้วัตถุแห้ง และการย่อยได้โภชนะ ผันแปรตามระดับของไขมันที่เสริม ชนิดของอาหารหยาบ และสัดส่วนอาหารหยาบต่ออาหารข้น

3.8.3 การประมาณโปรตีนและพลังงานของโคนมที่ได้รับจากอาหาร

ผลของโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{sup}) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP_{sup}) ของโคนมที่ได้รับจากอาหารข้นและหญ้าหมัก พบว่า RDP_{sup} และRUP_{su} ที่ศึกษาไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง ทั้งนี้ผลเนื่องมาจากการกินได้ของโคนมทั้ง 3 กลุ่มการทดลองไม่แตกต่างกัน จึงส่งผลให้ได้รับ RDP_{sup}และ RUP_{sup} ทั้ง 3 กลุ่มการทดลองไม่แตกต่างกัน ความต้องการ โปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{req}) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP_{req}) ที่คำนวณตามสมการ NRC (2001) แสดงไว้ในตารางที่ 3.5 พบว่าโคนมได้รับโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{sup}) ต่ำกว่าความต้องการของโคนมกล่าวคือ -129 -136 และ -134 กรัมต่อตัวต่อวัน ในกลุ่มควบคุม กลุ่มการทดลองที่ 1 (150 กรัม linseed ต่อวัน) และกลุ่มการทดลองที่ 2 (300 กรัม linseed ต่อวัน) ตามลำดับ ซึ่งพบว่าโคได้ที่รับอาหารที่มีโปรตีนที่สามารถย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักสูงกว่าจะส่งผลให้ปริมาณการกินได้สูงกว่าโคที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนที่สามารถย่อยสลายได้น้อยในกระเพาะหมัก Claypool, Pangbornand, and Adams (1980) พบว่าสาเหตุที่โปรตีนไปมีผลต่อปริมาณการกินได้เป็นเพราะว่าโคที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนสูงกว่าจะทำให้จุลินทรีย์ที่อยู่ในกระเพาะหมักได้รับไนโตรเจนเพียงพอต่อการเจริญเติบโต ซึ่งจะส่งผลให้การย่อยได้สูงขึ้นการไหลผ่านของอาหารจากกระเพาะหมักก็เพิ่มสูงขึ้นทำให้โคสามารถกินอาหารได้มากขึ้น ส่วนการได้รับโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก RUP_{sup} พบว่าโคนมกลุ่มควบคุม ได้รับ RUP_{req} เกินความต้องการเท่ากับ +100 แต่โคนมที่ได้รับการเสริม linseed oil ในระดับ 150 และ 300 กรัม/ตัว/วัน ได้รับ RUP_{req} ไม่เพียงพอต่อความต้องการเท่ากับ -110 และ -117 ตามลำดับ ซึ่งพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ระหว่าง 3 กลุ่มการทดลอง ซึ่งในกล่มทดลองที่ได้รับ RUP_{req} ไม่เพียงพอต่อความต้องการอาจแก้ไขปัญหาได้โดยการใช้ by pass protein เพื่อให้สัตว์ได้รับโปรตีนตามที่ต้องการ

การเสริม linseed oil ไม่มีผลต่อการกินได้ของพลังงานสุทธิ (NE_{intake}) และพลังงานที่โคต้องการเพื่อใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ (Ne_{LM} NE_{LL} NE_{LG} และ NE_{LR}) รวมไปถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

3.8.4 น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง

การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวของโคนมในการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.7 ซึ่งพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ของน้ำหนักตัวก่อนการทดลอง หลังการทดลอง และการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว (Body weight change : BWC) แต่อย่างไรก็ตามในการทดลองครั้งนี้พบว่าอาหารที่ใช้ในการทดลองมี RDP_{sup} และ RUP_{sup} ที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการของโคนม แต่เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าโคนมทั้ง 3 กลุ่มการทดลองมีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลอันเนื่องมาจากมีการเสริมน้ำมันลงในอาหารทำให้โคนมได้รับพลังงานที่เกินความต้องการของโคนการที่น้ำหนักตัวของโคนมเพิ่มขึ้นนั้นเกิดจากพลังงานส่วนเกินจากอาหารถูกเปลี่ยนเป็นไขมันมาสะสมบริเวณกล้ามเนื้อของโคนม ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้โคนมทั้ง 3 กลุ่มการทดลองมีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น

3.8.5 ปริมาณน้ำนมและปริมาณองค์ประกอบของน้ำนม

ไม่พบความแตกต่างของปริมาณน้ำนม ปริมาณไขมันนม ปริมาณโปรตีนนม ปริมาณแล็คโตส ปริมาณของแข็งพร่องไขมัน (solid not fat) และปริมาณของแข็งรวมในน้ำนม(total solid) และปริมาณน้ำนมปรับไขมัน 3.5% ของโคนมทั้งสามกลุ่มการทดลอง (ตารางที่ 3.10) ผลผลิตน้ำนม ผลผลิตน้ำนมปรับไขมัน 3.5% ไม่แตกต่างกันทุกกลุ่มการทดลอง สอดคล้องกับการศึกษาที่ได้มีการตีพิมพ์และแสดงว่าการฉีด UFA มีผลเพียงเล็กน้อยต่อปริมาณผลผลิตน้ำนม (Chilliard et al., 1991; Christensen et al., 1994; Drackley et al., 1992) Dhiman et al. (2000) รายงานผลผลิตน้ำนมที่ไม่แตกต่างกันระหว่างโคนมที่ได้รับ 3.6% soybean oil 2.2% linseed oil 4.4% linseed oil 18% raw cracked soybeans หรือ 18% roasted cracked soybeans และ Cant et al. (1997) แสดงให้เห็นว่า การเสริม 2% fish oil ไม่มีผลต่อผลผลิตน้ำนม นอกจากนี้ Donovan et al. (2000) รายงานว่าโคที่ได้รับ 1% fish oil ให้ผลผลิตน้ำนมมากกว่าโคที่ไม่ได้รับ fish oil ในขณะที่ Keady et al. (2000) รายงานว่าเมื่อโคได้รับ fish oil เพิ่มขึ้น จาก 0 เป็น 150 เป็น 300 และเป็น 450 กรัม/วัน ผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้น มีหลายรายงานที่รายงานว่าผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้น (Chouinard et al., 1998; Dhiman et al., 2000; Petit et al., 2004; Loor et al., 2005; Zhang et al., 2006) ในขณะที่รายงานอื่น ๆ พบว่าผลผลิตน้ำนมไม่เปลี่ยนแปลง (Kennelly, 1996; Mir et al., 1999; Bayourthe et al., 2000; Ward et al., 2002; Loor et al., 2002; Komprda et al., 2005; Suksombat and Chullanandana, 2008) แต่มีบางรายงานที่พบว่าผลผลิตน้ำนมลดลง (Chilliard and Ferlay, 2004) นอกจากชนิดของน้ำมันแล้ว มีปัจจัยหลายอย่างที่ต้องนำมาพิจารณา ในการเปรียบเทียบกับข้อมูลในการศึกษาครั้งนี้

รายงานข้อมูลตีพิมพ์ถึงผลของการเสริม LSO ต่อผลผลิตน้ำนมมีความผันแปรมาก Loor et al. (2005) ไม่พบผลของการเสริม 3% LSO ต่อผลผลิตน้ำนม เมื่อเสริมให้กับโคนมทั้งที่ได้รับพืชอาหารสัตว์สดเป็นอาหารหยาบหลัก (65 : 35 R : C) หรือโคนมที่ได้รับอาหารข้นมาก (35 : 65 R : C) มีรายงานที่เสริม LSO ในระดับที่สูง (5%) ในโคที่ได้รับหญ้าแห้งเป็นอาหารหยาบหลัก (64 : 36 R : C) ก็ไม่มีผลต่อผลผลิตน้ำนมเช่นกัน (Roy et al., 2006) ในทางตรงกันข้าม Bu et al. (2007) พบว่าการเสริม 4% LSO ให้กับโคนมที่ได้รับพืชอาหารสัตว์สดเป็นอาหารหยาบหลัก (59 : 41 R : C) สามารถเพิ่มผลผลิตน้ำนมได้ ถึงแม้ว่าการเสริม LSO จะไม่มีผลต่อ ECM ในขณะที่ Martin et al. (2008) รายงานว่า การเสริม 5.7% LSO มีผลทำให้ผลผลิตน้ำนมลดลง เมื่อเสริมให้กับโคนมที่ได้รับต้นข้าวโพดหมักเป็นอาหารหยาบหลัก (65 : 35 R : C) จากงานวิจัยในครั้งนี้ และจากที่รวบรวมเอกสารที่มีการรายงานไว้ก่อนหน้านี้ ปรากฏว่า การเปลี่ยนแปลงของผลผลิตน้ำนมมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับผลของการเสริม LSO ต่อ DMI และการย่อยได้อาหาร การลดลงของผลผลิตน้ำนมที่มีรายงานในบางการทดลอง เช่น Martin et al. (2008) จะมีส่วนเกี่ยวข้องกับการลดลงของ DMI และการย่อยได้อาหาร เนื่องจากการเสริม LSO นั้นไปรบกวนกระบวนการหมัก จากสาเหตุการกิน LSO ในระดับสูง > 5% ในทางตรงกันข้าม ในบางการทดลอง เช่น Bu et al. (2007) เมื่อเสริม LSO ในระดับที่ต่ำกว่า 5% DMI ผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้นเนื่องจาก DMI เพิ่มขึ้น

ในการศึกษาครั้งนี้ การเสริม LSO ในอาหารโคนมไม่มีผลต่อองค์ประกอบของ fat, protein, lactose, solid not fat และ total solid ในน้ำนม ผลผลิตของ fat, protein, lactose, solid not fat และ total solid ในน้ำนมก็ไม่มีผลกระทบจากการเสริม LSO เช่นกัน ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับรายงานของ Focant et al. (1998), DePeters et al. (2001), Chilliard et al. (2001), Chilliard and Ferlay (2004), Bell et al. (2006) and Suksombat and Chullanandana (2008) มีการทดลองอื่น ๆ ที่รายงานว่าผลผลิตไขมันนั้นไม่เปลี่ยนแปลงหลังจากเสริม canola หรือ flax seeds oil ในอาหารโคนม (Bayourthe et al., 2000; Komprda et al., 2005; Zhang et al., 2006) เปอร์เซ็นต์ไขมันนมอาจลดลงในขณะที่ผลผลิตไขมันนมไม่เปลี่ยนแปลง หรือ อาจเพิ่มขึ้น ถ้าผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์โปรตีนและผลผลิตโปรตีนมักจะคงที่ หรืออาจลดลงเล็กน้อย จากที่มีการรายงาน (Loor et al., 2002; Loor and Herbein, 2003; Zhang et al., 2006) มีเพียงงานวิจัยของ Flowers et al. (2008) ที่รายงานว่าเพิ่มขึ้น ในการทดลองครั้งนี้ ไม่พบความแตกต่างของทั้งเปอร์เซ็นต์โปรตีนและผลผลิตโปรตีน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มการทดลอง รายงานข้อมูลผลการทดลองเกี่ยวกับผลของการเสริม LSO ต่อองค์ประกอบของน้ำนมนั้นค่อนข้างผันแปร องค์ประกอบของไขมันนมลดลง (Flachowsky et al., 2006), เพิ่มขึ้น (Flowers et al., 2008) หรือไม่เปลี่ยนแปลง (Bu et al., 2007) ในโคนมที่ได้รับการเสริม LSO ในอาหาร ผลของการเสริม vegetable oil ต่อ milk protein content มีความผันแปรเช่นกัน Bu et al. (2007) รายงานว่าไม่มีผลแตกต่างของ milk protein เมื่อทำการเสริม LSO ในทาง

ตรงกันข้าม Flowers et al. (2008) พบว่า milk protein content เพิ่มขึ้นในโคนมแทะเล็มแปลงหญ้าและเสริมด้วย LSO ความผันแปรระหว่างการศึกษาในการตอบสนองขององค์ประกอบน้ำนมต่อการเสริม LSO สามารถอธิบายโดยปริมาณของ LSO ที่เสริมในอาหาร และองค์ประกอบของอาหาร Loor et al. (2005) รายงานว่า milk protein content ลดลงในโคนมที่ได้รับพืชอาหารสัตว์สดเป็นอาหารหยาบหลักและเสริมด้วย LSO ในขณะที่ milk protein content เพิ่มขึ้นในโคนมที่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนอาหารข้นสูง และเสริมด้วย LSO นอกจากนี้ Chilliard et al. (2009) รายงานว่า การเสริม LSO ลด milk fat content เมื่อเสริมในอาหารที่มี NDF ต่ำ แต่ไม่มีผลเมื่อเสริมในอาหารที่มี NDF สูง

3.8.6 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำนม

มีงานวิจัยหลายงานที่ตีพิมพ์ในช่วง 2-3 ทศวรรษที่ผ่านมา ซึ่งได้อธิบายองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำนมที่ได้จากโคนมที่ได้รับอาหารต่างชนิดกัน และได้รับแหล่งของไขมันและกรดไขมันต่างชนิดกัน (Glasser et al., 2008; Moallem, 2009; Petit and Côrtes, 2010) อย่างไรก็ตาม ทั้ง ๆ ที่มีข้อมูลอย่างมากมายที่ตีพิมพ์ในรูปแบบของการทบทวนเอกสาร แต่ยังไม่มีข้อสรุปที่ชัดเจนเกี่ยวกับปัจจัยจากอาหาร หรือจากตัวสัตว์มีอิทธิพลต่อไขมันนมและกรดไขมันในน้ำนม ไขมันนมประกอบด้วยกรดไขมันมากกว่า 400 ชนิด รวมทั้งไอโซเมอร์ของกรดไขมันเหล่านี้ น้ำนมจากโคนมประกอบด้วย saturated fatty acids (SFA) ในปริมาณมาก โดยเฉพาะ C14:0 และ C16:0 ซึ่งเป็นตัวกำหนดการทำงานที่ผิดปกติทางสรีรวิทยา รวมถึงการมีโคเลสเตอรอลในพลาสมาสูง แต่มีองค์ประกอบของ MUFA PUFA และกรดไขมัน omega-3 อยู่ในปริมาณน้อย ซึ่งกรดไขมันชนิดหลังนี้จะมีประโยชน์ต่อสุขภาพของมนุษย์ ปัญหาก็คือ จะทำอย่างไรที่จะปรับเปลี่ยนองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำนมให้เหมาะสมกับสุขภาพของมนุษย์ การแก้ปัญหาทางหนึ่งคือการให้โคได้รับเมล็ดพืชน้ำมัน หรือน้ำมันจากพืช Canola oil และ LSO อาจมีผลต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำนม ดังนี้ 1) ลด SFA 2) เพิ่ม UFA 3) เพิ่มสัดส่วนของ conjugated linoleic acid (CLA) และ α-linolenic acid และ 4) ลดสัดส่วนกรดไขมัน omega 6 ต่อกรดไขมัน omega 3 การปรับเปลี่ยนนี้มีความเป็นไปได้โดยการเสริม canola oil ที่มี C18:1 (50-55%), โดยเฉพาะ C18:1 n-9 ในปริมาณมาก และโดยการเสริม flax seeds oil ที่มี C18:3 (40-45%), โดยเฉพาะ C18:3 n-3 ในปริมาณมาก

จากการทดลองในครั้งนี้พบว่าปริมาณสัดส่วนของกรดไขมันในน้ำนมของโคนมกลุ่มควบคุม และ กลุ่มที่ได้รับการเสริม linseed oil ในระดับ 150 และ 300 กรัม/ตัว/วัน แสดงดังตารางที่ 3.12 พบว่า ไม่มีผลต่อระดับ C18:1 C18:2 C18:3 SFA UFA n6 n3 และสัดส่วนของ n6:n3 ($P>0.05$) แต่อย่างไรก็ตาม การเสริม linseed oil ที่ระดับ 300 กรัม/ตัว/วัน จะมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมัน C20:4n6 เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ได้รับการเสริม linseed oil ในระดับ 150 กรัม/ตัว/วัน

3.9 สรุปผลการทดลอง

การทดลองเสริม linseed oil ในระดับ 150 และ 300 กรัม/ตัว/วัน พบว่าไม่มีผลต่อการกินได้ของวัตถุแห้ง โปรตีนที่ได้รับจากอาหาร ความต้องการพลังงานเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ ของโคนม การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว นอกจากนี้การเสริม linseed oil ในระดับ 150 และ 300 กรัม/ตัว/วัน ในการทดลองนี้ยังไม่ส่งผลต่อผลผลิตน้ำนม และองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมการเสริม linseed oil ในระดับ 150 และ300 กรัม/ตัว/วัน ไม่มีผลต่อระดับ C18:1 C1:2 C1:3 SFA UFA n6 n3 และสัดส่วนของ n6:n3 ($P>0.05$)

3.10 รายการอ้างอิง

พิทักษ์พงษ์ แพงสาย. (2552). ผลของการเสริมไบโอตินในอาหารโคนมต่อผลผลิตน้ำนมองค์ประกอบและกรดไขมันของน้ำนม. **วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.**

Association of Official Analytical Chemists, (1998). **Official Method of Analysis**. Washington D.C.

Bayourthe, C., Enjabert, F. and Moncoulon, R. (2000). Effects of different forms of canola oil fatty acids plus canola meals on milk composition and physical properties of butter. **J. Dairy Sci**. 83: 690-697.

Bell, J. A., Griinari, J. M. and Kennelly, J .J. (2006). Effect of safflower oil, flaxseed oil, monensin, and vitamin E on concentration of conjugated linoleic acid in bovine milk fat. **J. Dairy Sci**. 89: 733-748.

Ben Salem, H., Krzeminski, R., Ferlay, A. and Doreau, M. (1993). Effect of lipid supply on in vivo digestion in cows: Comparison of hay and corn silage diets. **Can. J. Anim. Sci**. 73: 547-557.

Benchaar, C. G., Romero-Pérez, A., Chouinard, P. Y., Hassanat, F., Eugene, M., Petit, H. V. and Côrte, C. (2012). Supplementation of increasing amounts of linseed oil to dairy cows fed total mixed rations: Effects on digestion, ruminal fermentation characteristics, protozoal populations, and milk fatty acid composition. **J. Dairy Sci**. 95: 4578-4590.

Berner, L. A. (1993). Roundtable discussion on milk fat, dairy foods, and coronary heart disease

risk. **J**. **Nutr**. 123: 1175-1184.

Brown, W., AbuGhazaleh, A. A. and Ibrahim, S. (2006). Conjugated linoleic acid and omega-3 fatty acids in milk of grazing dairy cows fed fish oil and linseed oil. **J**. **Dairy Sci**. (Suppl. 1) 89. (Abstr.)

Byers, F. M. and Schelling, G. T. (1988). **Lipids in ruminant nutrition**. pp: 298 *in* The Ruminant Animal Digestive Physiology and Nutrition. D. C. Church, ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.

Bu, D. P., Wang, J. Q., Dhiman, T. R. and Liu, S. J. (2007). Effectiveness of oils rich in linoleic and linolenic acids to enhance conjugated linoleic acid in milk from dairy cows. **J**. **Dairy Sci**. 90: 998-1007.

Cant, J. P., Fredeen, A. H., Macintyre, T., Gunn, J. and Crowe, N. (1997). Effect of fish oil and monensin on milk composition in dairy cows. **Canadian J**. **Dairy Sci**. 77: 125-131.

Chilliard, Y. (1993). Dietary fat and adipose tissue metabolism in ruminants, pigs and rodents: a review. **J**. **Dairy Sci**. 76: 3897-3931.

Chilliard, Y. and Ferlay, A. (2004). Dietary lipids and forages interaction on cow and goat milk fatty acid composition and sensory properties. **Reprod**. **Nutr**. **Dev**. 44: 467-492.

Chilliard, Y., Gagliostro, G., Flechet, J., Lefaivre, J. and Sebastian, I. (1991). Duodenal rapeseed oil infusion in early and midlactation cows. 5. Milk fatty acids and adipose tissue lipogenic activities. **J**. **Dairy Sci**. 74: 1844-1854.

Chilliard, Y., Ferlay, A. and Doreau, M. (2001). Effect of different types of forages, animal or marine oils in cow's diet on milk fat secretion and composition, especially conjugated linoleic acid and polyunsaturated fatty acids. **Livest**. **Prod**. **Sci**. 70: 31.

Chilliard, Y., Glasser, F., Ferlay, A., Bernard, L., Rouel, J. and Doreau, M. (2007). Diet, biohydrogenation, cow and goat milk fat nutritional quality: A review. **Eur**. **J**. **Lipid Sci**. **Technol**. 109: 828-855.

Chilliard, Y., Martin, C., Rouel, J. and Doreau, M. (2009). Milk fatty acids in dairy cows fed whole crude linseed, extruded linseed, or linseed oil, and their relationship with methane

output. **J**. **Dairy Sci**. 92: 5199-5211.

Chouinard, P. Y., Girard, V. and Brisson, G. J. (1998). Fatty acid profile and physical properties of milk fat from cows fed calcium salts of fatty acids with varying unsaturation. **J**. **Dairy Sci**. 81: 471-481.

Christensen, R. A., Cameron, M. R., Clark, J. H., Drackley, J. K., Lynch, J. M. and Barbano, D. M. (1994). Effects of amount of protein and ruminally protected amino acids in the diet of dairy cows fed supplemental fat. **J**. **Dairy Sci**. 77: 1618-1629.

Connor, W. E. (2000). Importance of n-3 fatty acids in health and disease. **Am**. **J**. **Clin**. **Nutr**. 71(Suppl.): 171S-175S.

da Silva, D. C., Santos, G. T., Branco, A. F., Damasceno, J. C., Kazama, R., Matsushita, M., Horst, J. A., dos Santos, W. B. R. and Petit, H. V. (2007). Production performance and milk composition of dairy cows fed whole or ground flaxseed with or without monensin. **J**. **Dairy Sci**. 90: 2928-2936.

DePeters, E. J., German, J. B., Taylor, S. J., Essex, S. T. and Perez-Monti, H. (2001). Fatty acid and triglyceride composition of milk fat from lactating Holstein cow in response to supplemented canola oil. **J**. **Dairy Sci**. 84: 929-936.

Dhiman, T. R., Satter, L. D., Pariza, M. W., Galli, M. P., Albright, K. and Tolosa, M. X. (2000). Conjugated linoleic acid (CLA) content of milk from cows offered diets in linoleic acid. **J**. **Dairy Sci**. 83: 1016-1027.

Donovan, D. C., Schingoethe, D. J., Baer, R. J., Ryali, J., Hippen, A. R. and Franklin, S. T. (2000). Influence of dietary fish oil on conjugated linoleic acid and other fatty acids in milk fat from lactating dairy cows. **J**. **Dairy Sci**. 83: 2620-2628.

Doreau, A, Belot, A., Bastid, J., Riche, B., Trescol-Biemont, M.C., Ranchin, B., Fabien, N., Cochat, P., Pouteil-Noble, C., Trolliet, P., Durieu, I., Tebib, J., Kassai, B., Ansieau, S., Puisieux, A., Eliaou, J. F. and Bonnefoy-Berard, N. (2009). Interleukin 17 acts in synergy with B cell-activating factor to influence B cell biology and the pathophysiology of systemic lupus erythematosus. **Nat Immunol**. 10: 778-785.

Drackley, J. K., Klumeyer, T. H., Trusk, A. M. and Clarke, J. H. (1992). Infusion of long chain fatty acids varying in saturation and chain length into the abomasums of lactating dairy cows. **J**. **Dairy Sci**. 75: 1517-1526.

Enjalbert, F., Nicot, M. C., Bayourthe, C. and Moncoulon, R. (1998). Duodenal infusions of palmitic, stearic or oleic acids differently affect mammary gland metabolism of fatty acids in lactating dairy cows. **J**. **Nutr**. 128: 1525-1532.

Flachowsky, G., Erdmann, K., Huther, L., Jahreis, G., Mockel, P. and Lebzien, P. (2006). Influence of roughage/concentrate ratio and linseed oil on the concentration of *trans*-fatty acids and conjugated linoleic acid in duodenal chyme and milk fat of late lactating cows. **Arch**. **Anim**. **Nutr**. 60: 501-511.

Flowers, G., Ibrahim, S. A. and AbuGhazaleh, A. A. (2008). Milk fatty acid composition of grazing dairy cows when supplemented with linseed oil. **J**. **Dairy Sci**. 91: 722-730.

Focant, M., Mignolet, E., Marique, M., Clabots, F., Breyne, T., Delemans, D. and Larondelle, Y. (1998). The effect of vitamin E supplementation of cow diets containing rapeseed and linseed on the prevention of milk fat oxidation. **J**. **Dairy Sci**. 81: 1095-1101.

Glasser, F., Ferlay, A. and Chilliard, Y. (2008). Oilseed lipid supplements and fatty acid composition of cow milk: a meta-analysis. **J. Dairy Sci.** 91: 4687-4703.

Griinari, J. M. and Bauman, D. E. (1999). **Biosynthesis of conjugated linoleic acid and its incorporation into meat and milk in ruminants**. In M.P. Yurawecz, M.M. Mossoba, J.K.G. Kramer, M.W. Pariza, and G.J. Nelson (ed) Advances in Conjugated Linoleic Acid Research, Vol. I, pp. 180-200. AOCS Press, Champaign, IL.

Hara, A. and Radin, N. S. (1978). Lipid extraction of tissues with a low-toxicity solvent. **Anal**. **Biochem**. 90: 420-424.

Holmes, L. D. and AbuGhazaleh, A. A. (2007). Milk cis-9, trans-11 CLA and omega-3 fatty acids response to linseed oil and fish oil supplementation when dairy cows managed under confinement or grazing system. **J**. **Dairy Sci**. (Suppl.1)90.

Hulshof, K. F. A. M., van Erp-Baart, M. A., Anttolainen, M., Becker, W., Church, S. M. , Couet,

C., Hermann-Kunz, E., Kesteloot, H., Leth, T., Martins, I., Moreiras, O., Moschandreas, J., Pizzoferrato, L., Rimestad, A. H., Thorgeirsdottir, H., van Amelsvoort, J. M .N., Aro, A., Kafatos, A. G., Lanzmann-Petithory, D. and van Poppel, G. (1999). Intake of fatty acids in Western Europe with emphasis on *trans* fatty acids: The TRANSFAIR study. Eur. **J**. **Clin**. **Nutr**. 53: 143-157.

Jenkins, T. C. (1993). Lipid metabolism in the rumen. **J**. **Dairy Sci**. 76: 3851-3863.

Joyce, T., Wallace, A. J., McCarthy, S. N. and Gibney. M. J. (2009). Intakes of total fat, saturated, monounsaturated and polyunsaturated fatty acids in Irish children, teenagers and adults. **Public Health Nutr**. 12: 156-165.

Keady, T. W. J., Mayne, C. S. and Fitzpatrick, D. A. (2000). Effects of supplementation of dairy cattle with fish oil on silage intake, milk yield and milk composition. **J**. **Dairy Res**. 67: 137-153.

Kennelly, J. J. (1996). The fatty acid composition of milk fat as influeneced by feeding oilseeds. **Anim**. **Feed Sci**. **Technol**. 60: 137-152.

Komprda, T., Dvorak, R., Fialova, M., Sustova, K. and Pechova, A. (2005). Fatty acid content in milk of dairy cows on a diet with high fat content derived from rapeseed. **Czech J**. **Anim**. **Nutr**. 50: 311-319.

Leeson, S. and Caston, L. (1996). **Getting the omega into the egg. Feeding flaxseed to hens boosts human health**. Agri-Food Res. December, Vol. 19, No. 3. Ontario Ministry of Agriculture, Toront, pp. 6-8.

Loor, J. J. and Herbein, J. H. (2003). Dietary canola or soybean oil with two levels of conjugated linoleic acid (CLA) alter profilers of C 18:1 and C 18:2 isomers in blood plasma and milk fat from dairy cows. **Anim**. **Feed Sci**. **Technol**. 103: 63-83.

Loor, J. J., Herbein, J. H. and Jenkins, T. C. (2002). Nutrient digestion, biohydrogenation, and fatty acid profiles in blood plasma and milk fat from lactating Holstein cows fed canola oil or canolamide. **Anim**. **Feed Sci**. **Technol**. 97: 65-82.

Loor, J. J., Ferlay, A., Ollier, A., Doreau, M. and Chilliard, Y. (2005). High-concentrate diets and

polyunsaturated oils alter trans and conjugated isomers in bovine rumen, blood, and milk. **J**. **Dairy Sci**. 88: 3986-3999.

Roy, A., Ferlay, A., Shingfield, K. J. and Chilliard, Y. (2006). Examination of the persistency of milk fatty acid composition responses to plant oils in cows given different basal diets, with particular emphasis on *trans*-C18:1 fatty acids and isomers of conjugated linoleic acid. **Anim**. **Sci**. 82: 479-492.

Martin, C., Rouel, J., Jouany, J. P., Doreau, M. and Chilliard, Y. (2008). Methane output and diet digestibility in response to feeding dairy cows crude linseed, extruded linseed or lionseed oil. **J**. **Dairy Sci**. 86: 2642-2650.

Massaro, M., Carluccio, M. A. and De Caterina, R. (1999). Direct vascular antiatherogenic effects of oleic acid: a clue to the cardioprotective effects of the Mediterranean diet. **Cardiologia**. 44: 507-513.

Mir, Z., Goonewaevardene, L. A., Okine, E., Jaegar, S. and Scheer, H. D. (1999). Effects of feeding canola oil on constituents, conjugated linoleic acid (CLA) and long fatty acids in goats milk. **Small Rumin**. **Res**. 33: 137-143.

Moallem, U. (2009). The effects of extruded flaxseed supplementation to high-yielding dairy cows on milk production and milk fatty acid composition. **Anim**. **Feed Sci**. **Technol**. 152: 232-242.

Moate, P. J., Chalupa, W., Boston, R. C. and Lean, I. J. (2007). Milk fatty acids. I. Variation in the concentration of individual fatty acids in bovine milk. **J**. **Dairy Sci**. 90: 4730-4739.

Mosley, E. E., Shafii, B., Moate, P. J. and McGuire, M. A. (2006). *Cis*-9, *trans*-11 conjugated linoleic acid is synthesized directly from vaccenic acid in lactating dairy cattle. **J**. **Nutr**. 136: 570-575.

Mustafa, A. F., Chouinard, P. Y. and Christensen, D. A. (2002). Effect of micronization of flaxseed on nutrient disappearance in the gastrointestinal tract of steer. **Anim**. **Feed Sci**. **Technol**. 95: 123-132.

Nash, D. M., Hamilton, R. M. G. and . Hulan, H. W (1995). The effect of dietary herring meal on

the omega-3 fatty acid content of plasma and egg yolk lipids of laying hens. **Can**. **J**. **Anim**. **Sci**. 75: 247-253.

National Research Council. (2001). **Nutrient Requirements of Dairy Cattle**. 7th rev. ed. Natl. Acad. Sci., Washington, DC.

Oldick, B. S., Pantoja, J. and Firkins, J. L. (1997). Efficacy of fat sources in liquid supplements for dairy cows. **J**. **Dairy Sci**. 80(Suppl. 1): 243(abstr.).

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.

Palmquist, D. L., Beaulieu, A. D. and Barbano, D. M. (1993). Feed and animal factors influencing milk fat composition. **J**. **Dairy Sci**. 76**:** 1753-1771.

Parodi, P. W., (1997). Milk fat conjugated fatty acid: Can it help prevent breast cancer? Proc. **Nutr**. **Soc**. **NZ**. 22: 137-149.

Petit, H. V. (2002). Digestion, milk production, and blood composition of dairy cows fed whole flaxseed. **J**. **Dairy Sci**. 85: 1482-1490.

Petit, H. V. (2003). Digestion, milk production, milk composition, and blood composition of dairy cows fed formaldehyde treated flaxseed or sunflower seed. **J**. **Dairy Sci**. 86: 2637-2646.

Petit, H. V. and Côrtes, C. (2010). Milk production and composition, milk fatty acid profile, and blood composition of dairy cows fed whole or ground flaxseed in the first half of lactation. **Anim**. **Feed Sci**. **Technol**. 158: 36-43.

Petit, H. V., Dewhurst, R. J., Proulx, J. G., Khalid, M., Haresign, W. and Twagiramungu, H. (2001). Milk production, milk composition and reproductive function of dairy cows fed different fats. **Can**. **J**. **Anim**. **Sci**. 81: 263-271.

Petit, H. V., Germiquet, C. and Lebel, D. (2004). Effect of feeding whole, unprocessed sunflower seeds and flaxseed on milk production, milk composition and prostaglandin secretion in dairy cows. **J**. **Dairy Sci**. 87: 3889-3898.

Shingfield, K. J., Lee, M. R. F., Humphries, D. J., Scollan, N. D., Toivonen, V., Beever, D. E. and Reynolds, C. K. (2011). Effect of linseed oil and fish oil alone or as an equal mixture on ruminal fatty acid metabolism in growing steers fed maize silage-based diets. **J**. **Dairy Sci**.

89: 3728-3741.

Simopoulos, A. P. (1996). The role of fatty acids in gene expression: health implications. **Anim**. **Nutr Metab**. 40: 303-311.

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

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

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

Ueda, K., Ferlay, A., Chabrot, J., Loor, J. J., Chilliard, Y. and Doreau, M. (2003). Effect of linseed oil supplementation on ruminal digestion in dairy cows fed diets with different forage:concentrate ratios. **J**. **Dairy Sci**. 86: 3999-4007.

Van Soest, P. J., Robertson, J. B. and Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal production. **J**. **Dairy Sci**. 74: 3583-3597.

Ward, A. T., Wittenberg, K. M. and Przybylski, R. (2002). Bovine milk fatty acid profiles produced by feeding diets containing solin, flax and canola. **J**. **Dairy Sci**. 85: 1191-1196.

Wright, T., McBride, B. and Holub, B. (1998). Docosahexaenoic acid enriched milk. **World Rev**. **Nutr**. **Diet**. 83: 160-165.

Zhang, R. H., Mustafa, A. F. and Zhao, X. (2006). Effects of feeding oilseed rich in linoleic and linolenic fatty acids to lactating ewes on cheese yield and on fatty acid composition of milk and cheese. **Anim**. **Feed Sci**. **Technol**. 127: 220-233.

บทที่ 4
การศึกษาผลของการใช้ linseed oil ในอาหารโคต่อนิเวศวิทยาในกระเพาะหมัก

4.1 คำนำ

การหมักย่อยในกระเพาะหมักเป็นสิ่งที่สำคัญเพราะผลผลิตที่ได้จากการหมักย่อยนั้นจะถูกโคนำไปใช้ประโยชน์ในการสร้างผลผลิตและการดำรงชีวิตประจำวัน ซึ่งการหมักย่อยในกระเพาะหมักนั้นจะต้องอาศัยจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ โดยผลผลิตที่ได้มีหลายชนิด เช่น กรดไขมันระเหยได้ แอมโมเนียไนโตรเจน ก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และโปรตีนจุลินทรีย์ ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการหมักย่อยในกระเพาะหมักคือ อาหารและการหมักย่อยของจุลินทรีย์ ซึ่งพบว่าการส่งเสริมให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดีขึ้นก็จะทำให้การหมักย่อยของอาหารประเภทเยื่อใยได้สูงขึ้น การได้รับอาหารไขมันสูง ไขมันจะไปเคลือบเยื่อใยทำให้จุลินทรีย์ย่อยได้ยากและไขมันจะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์บางชนิด นอกจากนี้กรดไขมันจะมีผลต่อผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ทำให้การทำงานของจุลินทรีย์ลดลง และการที่จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักเจริญเติบโตไม่ดีก็จะส่งผลให้มีปริมาณของโปรตีนจุลินทรีย์ต่ำลงด้วย ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงศึกษาผลของการเสริม linseed oil ในอาหารโคนมต่อระดับ pH, แอมโมเนียไนโตรเจน และปริมาณของกรดไขมันที่ระเหยได้ (Volatile fatty acids, VFAs) ในกระเพาะหมักของโคนม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของการเสริม linseed oil ในอาหารโคนมต่อระดับ pH แอมโมเนียไนโตรเจน และปริมาณของกรดไขมันที่ระเหยได้ (Volatile fatty acids, VFAs) ในกระเพาะหมักของโคนม

4.3 อุปกรณ์และวิธีการ

4.3.1 การจัดการโคเจาะกระเพาะสำหรับทดลองและการให้อาหาร

1. โคเจาะกระเพาะ (fistulated non-lactating dairy cows) จำนวน 3 ตัว

2. ใช้แผนการทดลองแบบ 3×3 Latin square design มีการจัดสิ่งทดลอง (treatment) ตามสูตรอาหารในการทดลอง ดังนี้

อาหารทดลองแบบที่ 1 โคเจาะกระเพาะ ได้รับอาหารข้นตามปกติ (ไม่เสริม linseed oil) เสริมน้ำมันปาล์ม 300 กรัม/ตัว/วัน

อาหารทดลองแบบที่ 2 โคเจาะกระเพาะ ได้รับอาหารข้นเสริม linseed oil 150 กรัม/ตัว/วัน และน้ำมันปาล์ม 150 กรัม/ตัว/วัน

อาหารทดลองแบบที่ 3 โคเจาะกระเพาะ ได้รับอาหารข้นเสริม linseed oil 300 กรัม/วัน

ตารางที่ 4.1 การจัดกลุ่มทดลองโคเจาะกระเพาะ

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

อาหารข้น (Concentrate) ที่ใช้ในการทดลองเป็นอาหารข้นชนิดเม็ด (Pellet) มีคุณค่าทางโภชนะตามความต้องการของโคนมในระยะให้นม (NRC, 2001) โปรตีน 21% ซึ่งโคจะได้รับ 3 กิโลกรัม ต่อวัน ๆ ละ 2 ครั้ง ในเวลา 08.00 น. และ 16.00 น. อาหารหยาบ (Roughage) ที่ใช้ในการทดลองคือ หญ้าหมักวันละ 9 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน และมีน้ำดื่มสะอาดใส่อ่างสำหรับให้โคกินตลอดเวลา

4.3.2 วิธีการทดลองและเก็บข้อมูล

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

4.3.2.1 ระดับความเป็นกรดด่าง (pH) ในกระเพาะหมัก ทำการเปิดฝาส่วนที่ปิดกระเพาะหมักของโค (Cannula) ออก จากนั้นสุ่มเก็บของเหลวในกระเพาะหมักที่เวลา 0 3 และ 6 โดยสุ่มเก็บจากหลายส่วนในกระเพาะหมักใส่บีกเกอร์ จากนั้นทำการวัดระดับความเป็นกรด-ด่างของของเหลวในกระเพาะหมักทันทีหลังจากเก็บตัวอย่าง โดยใช้เครื่องวัดความเป็นกรดด่าง (pH meter) อย่างไรก็ตามการวัดระดับความเป็นกรด-ด่าง เครื่องวัดจะต้องได้รับการปรับ (Calibrate) ด้วยการใช้ Buffers ที่ pH 7.0 และ pH 4.0 เสียก่อน

4.3.2.2 ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียในของเหลวจากกระเพาะหมัก (Rumen ammonia) การเก็บตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์หาความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนในของเหลวจากกระเพาะหมัก (Rumen ammonia; mgNH_3-N/littre) ที่เวลา 0 3 และ 6 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

4.3.2.3 การเก็บตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์หากรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acids) การเก็บตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์หากรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acids) ที่เวลา 0 3 และ 6 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 × 0.25 mm I.D., 0.25 μ m

Injector : split 1:50, 250°C

Oven : 100°C for 5 min

100-250°C at 10°C/min

250°C for 12 min

Detector : Temperature : FID, 300°C

4.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลที่บันทึกจากการทดลองได้แก่ สภาพความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมัก ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน และปริมาณกรดไขมันระเหยได้ นำเข้าประมวลผลและวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ตามแผนการทดลอง แบบ 3×3 Latin squares โดยใช้ Proc. GLM (SAS, 1996) และวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ โดยวิธี F-test เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ตามวิธีการของ Steel and Torrie (1980)

4.5 สถานที่ทำการทดลองและระยะเวลาในการทำการทดลอง

ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อาคารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 1 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อาคารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 3 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.6 ระยะเวลาทำการทดลอง

เริ่มการทดลองตั้งแต่วันที่ 27 ธันวาคม 2554 ถึงวันที่ 20 พฤษภาคม 2555

4.7 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

4.7.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของของเหลวในกระเพาะหมัก

การเสริม linseed oil ร่วมกับอาหารข้นในโคนมที่ระดับ 0 150 และ 300 กรัมต่อตัวต่อวัน มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของของเหลวในกระเพาะหมัก ที่เวลาต่าง ๆ หลังให้อาหาร 0 3 และ 6 ชั่วโมง ดังนี้ กลุ่มควบคุมมีค่าเท่ากับ 7.39 6.78 และ 6.97 กลุ่มการทดลองที่ 1 มีค่าเท่ากับ 7.48 6.82 และ 7.01 และในกลุ่มการทดลองที่ 2 มีค่าเท่ากับ 7.33 7.33 และ 6.89 ซึ่งพบว่าการเปลี่ยนแปลงของระดับ pH ในกระเพาะหมักของโคนมที่ได้รับการเสริม linseed oil ที่ชั่วโมงที่ 0 3 และ 6 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ดังตารางที่ 4.2

4.7.2 ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) ของของเหลวในกระเพาะหมัก

จากการศึกษาทดลองการเปลี่ยนแปลงของระดับแอมโมเนียไนโตรเจนภายในกระเพาะหมักในโคเจาะกระเพาะที่ได้รับการเสริม linseed oil ร่วมกับอาหารข้นในโคนมที่ระดับ 0 150 และ 300 กรัมต่อตัวต่อวัน มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับแอมโมเนียไนโตรเจนในของเหลวจากกระเพาะหมักที่เวลา 0 3 และ 6 ชั่วโมงหลังจากการให้อาหาร ดังนี้ กลุ่มควบคุม มีระดับของแอมโมเนียไนโตรเจนในของเหลวจากกระเพาะหมักเท่ากับ 36.91 50.11 และ 34.15 mg/dl กลุ่มการทดลองที่ 1 มีค่าเท่ากับ 35.62 52.38 และ 35.71 mg/l กลุ่มการทดลองที่ 2 มีค่าเท่ากับ 42.21 53.35 และ 41.62 mg/l หลังจากให้อาหารที่ระยะเวลา 0 3 และ 6 ชั่วโมงตามลำดับ ซึ่งพบว่าระดับของแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะหมักของโคนมไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (ตารางที่ 4.2)

ตารางที่ 4.2 ผลการเสริม linseed oil ต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับความเป็นกรด-ด่าง (pH) และแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) ภายในกระเพาะหมักที่เวลาต่าง ๆ หลังการให้อาหาร

ที่เวลาหลังการให้อาหาร (ชั่วโมง)	Control 300 g/d PO	150 g/d LO + 150 g/d PO	300 g LO/d	SEM	P-value
pH					
Hour 0	7.39	7.48	7.33	0.040	0.1240
Hour 3	6.78	6.82	7.33	0.026	0.2721
Hour 6	6.97	7.01	6.89	0.034	0.5833
NH_3-N^2	----------(mg/l)----------				
Hour 0	36.91	35.62	42.21	0.371	0.1947
Hour 3	50.11	52.38	53.35	1.421	0.7619
Hour 6	34.15	35.71	41.62	0.706	0.3592

หมายเหตุ : SEM = Standard error of mean, NH_3-N^2 = Ammonia nitrogen

4.7.3 ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acid; VFAs) ของของเหลวในกระเพาะหมัก

ระดับความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ของของเหลวในกระเพาะหมัก ซึ่งจะแสดงถึงปริมาณของกรดอะซิติก กรดโพรพิออนิก กรดบิวทีริกและอัตราส่วนของอะซิติกต่อโพรพิออนิก ที่เวลาต่าง ๆ เมื่อเสริม linseed oil ร่วมกับอาหารข้นในโคนมที่ระดับ 0 150 และ 300 กรัมต่อตัวต่อวัน หลังจากให้อาหารเป็นระยะเวลา 0 3 และ 6 ชั่วโมง แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 พบว่าระดับความเข้มข้นของกรดอะซิติกในกลุ่มควบคุม มีค่าเท่ากับ 63.21 64.58 และ 67.38 mol/100 mol กลุ่มการทดลองที่ 1 มีค่าเท่ากับ 64.10 63.05 และ 62.63 mol/100 mol และในกลุ่มการทดลองที่ 2 มีค่าเท่ากับ 61.69 64.42 และ 62.50 mol/100 mol ซึ่งพบว่าระดับความเข้มข้นของกรดอะซิติกของของเหลวจากกระเพาะหมักของโคนมที่เวลาที่ 6 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนที่เวลาที่ 0 และ 3 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ระดับความเข้มข้นของกรดโพรพิโอนิกของของเหลวจากกระเพาะหมัก ในกลุ่มควบคุมมีค่าเท่ากับ 19.95 18.54 และ 18.10 mol/100 mol กลุ่มการทดลองที่ 1 มีค่าเท่ากับ 22.18 22.18 และ 22.39 mol/100 mol กลุ่มการทดลองที่ 2 มีค่าเท่ากับ 22.03 18.94 และ 21.20 mol/100 mol ในชั่วโมงที่ 0 3 และ 6 หลังจากการให้อาหารตามลำดับ ซึ่งพบว่าระดับความเข้มข้นของกรด โพรพิ-โอนิกของของเหลวจากกระเพาะหมักของโคนมที่เวลาที่ 6 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนที่เวลาที่ 0 และ 3 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ระดับความ

เข้มข้นของบิวทีริกของของเหลวในกระเพาะหมัก กลุ่มควบคุมมีค่าเท่ากับ 16.84 16.88 และ 14.53 mol/100 mol กลุ่มการทดลองที่ 1 มีค่าเท่ากับ 13.72 14.77 และ 14.97 mol/100 mol กลุ่มการทดลองที่ 2 มีค่าเท่ากับ 16.28 16.64 และ 16.31 mol/100 mol ระดับของอัตราส่วนระหว่างอะซิติก และโพรพิโอนิก ในกลุ่มควบคุมมีค่าเท่ากับ 3.82 2.78 และ 3.59 mol/100 mol กลุ่มการทดลองที่ 1 มีค่าเท่ากับ 3.07 2.55 และ 2.56 mol/100 mol กลุ่มการทดลองที่ 2 มีค่าเท่ากับ 3.72 4.30 และ 3.60 mol/100 mol ในชั่วโมงที่ 0 3 5 และ 7 หลังจากการให้อาหาร ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของบิวทีริกและอัตราส่วนของอะซิติกและโพรพิโอนิกของของเหลวจากกระเพาะหมักไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ 4.3 ผลการเสริม linseed oil ต่อความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acid; VFAs) ของของเหลวในกระเพาะหมักที่เวลาต่าง ๆ หลังการให้อาหาร

ที่เวลาหลังการให้อาหาร (ชั่วโมง)	Control 300 g/d PO	150 g/d LO + 150 g/d PO	300 g LO/d	SEM	P-value
Acetate; C2		**--------(mol/100 mol)---------**			
Hour 0	63.21	64.58	67.38	0.384	0.4424
Hour 3	64.10	63.05	62.63	0.214	0.1251
Hour 6	61.69[b]	64.42[a]	62.50[b]	0.086	0.0218
Propionate; C3		**--------(mol/100 mol)---------**			
Hour 0	19.95	18.54	18.10	0.100	0.0790
Hour 3	22.18	22.18	22.39	0.226	0.2381
Hour 6	22.03[a]	18.94[c]	21.20[b]	0.034	0.0052
Butyrate; C4		**--------(mol/100 mol)---------**			
Hour 0	16.84	16.88	14.53	0.316	0.4765
Hour 3	13.72	14.77	14.97	0.386	0.2552
Hour 6	16.28	16.64	16.31	0.119	0.3233
C2 : C3					
Hour 0	3.82	3.07	3.72	0.152	0.5153
Hour 3	2.78	2.55	4.30	0.209	0.4345
Hour 6	3.59	2.56	3.60	0.309	0.7648

หมายเหตุ : SEM = Standard error of mean

4.7.4. จุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก

จำนวนจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก ซึ่งการทดลองในครั้งนี้จะแสดงถึงจำนวนของแบคทีเรียในกลุ่มของ Cellulolytic Bacteria รวมไปถึงจำนวนของ Protozoa ในโคเจาะกระเพาะที่ได้รับการเสริม linseed oil ร่วมกับอาหารข้นในโคนมที่ระดับ 0 150 และ 300 กรัมต่อตัวต่อวัน ที่เวลาต่าง ๆ คือ 0 3 และ 6 ชั่วโมง หลังจากให้อาหารแสดงไว้ในตารางที่ 4.4 พบว่าจำนวนของ Cellulolytic Bacteria ในกลุ่มควบคุม มีค่าเท่ากับ 3.60×10^{9} 4.56×10^{9} และ 5.47×10^{9} cell/ml กลุ่มการทดลองที่ 1 มีค่าเท่ากับ 3.73×10^{9} 4.57×10^{9} และ 6.03×10^{9} cell/ml และในกลุ่มการทดลองที่ 2 มีค่าเท่ากับ 4.00×10^{9} 4.63×10^{9} และ 5.83×10^{9} cell/ml

Cellulolytic Bacteria เป็นจุลินทรีย์กลุ่มที่ใช้ cellulose โดยมีการผลิตน้ำย่อยชนิด extra-cellular enzymes ซึ่งสามารถเข้าย่อย cellulose และ hemicellulose น้ำย่อยจะเป็นชนิด non - specific-1 4-glucose ซึ่งจะย่อยสลายได้ anhydroglucose oligosaccharides cellulobiose และ glucose ตามลำดับ เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มนี้มีความสามารถในการย่อย cellulose และ hemicelluloses จึงมากที่สุดในกระเพาะหมักของสัตว์ที่ได้รับอาหารหยาบเป็นหลัก ซึ่งการทดทองในครั้งนี้พบว่าจำนวนของ Cellulolytic Bacteria ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เนื่องจากโคทดลองได้รับอาหารหยาบในปริมาณที่เท่ากันทุกกลุ่มจำนวนของ Protozoa ในกลุ่มควบคุม มีค่าเท่ากับ 3.63×10^{5} 4.77×10^{5} และ 4.57×10^{5} cell/ml กลุ่มการทดลองที่ 1 มีค่าเท่ากับ 2.90×10^{5} 4.47×10^{5} และ 4.07×10^{5} cell/ml และในกลุ่มการทดลองที่ 2 มีค่าเท่ากับ 3.40×10^{5} 4.33×10^{5} และ 4.23×10^{5}cell/m ซึ่งพบว่าจำนวนของ Protozoa ในกระเพาะหมักของโคทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ในชั่วโมงที่ 0 หลังจากการให้อาหาร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.4 ผลการเสริม linseed oil ต่อจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักในกระเพาะหมักที่เวลาต่าง ๆ หลังการให้อาหาร

Direct count rumen microbes (cells/ml)	**Control 300 g/d PO**	**150 g/d LO + 150 g/d PO**	**300 g LO/d**	**SEM**	**P-value**
Bacteria					
Cellulolytic, × 10^{9}					
Hour 0	3.60	3.73	4.00	0.297	0.1585
Hour 3	4.56	4.57	4.63	1.002	0.8655
Hour 6	5.47	6.03	5.83	1.163	0.8583

ตารางที่ 4.4 ผลการเสริม linseed oil ต่อจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักในกระเพาะหมักที่เวลาต่าง ๆ หลังการให้อาหาร (ต่อ)

Direct count rumen microbes (cells/ml)	Control 300 g/d PO	150 g/d LO + 150 g/d PO	300 g LO/d	SEM	P-value
Protozoa, $\times 10^3$					
Hour 0	3.63	2.90	3.40	0.71	0.3871
Hour 3	4.77[a]	4.47[b]	4.33[b]	0.136	0.0427
Hour 6	4.57	4.07	4.23	0.869	0.6868

หมายเหตุ: SEM = standard error of the mean, SEM = Standard error of mean,[a,b] ที่กำกับอยู่ในแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

4.8 วิจารณ์ผลการทดลอง

4.8.1 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 ที่ชั่วโมงที่ 0 3 และ 6 หลังจากการให้อาหารไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เพราะพบว่าระดับของกรดไขมันระเหยได้ คือ Acetate ที่ชั่วโมงที่ 3 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) Propionate Butyrate ในกระเพาะหมักไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงอาจส่งผลให้ระดับของ pH ในกระเพาะหมักมีการเปลี่ยนแปลง Ørskov and Ryle (1998) ได้รายงานว่าสภาพภายในกระเพาะหมักที่มีความเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์มาก คือ มี pH อยู่ระหว่าง 6.0-7.0 จากการทดลองในครั้งนี้ค่าเฉลี่ยของค่า pH ของของเหลวในกระพาะหมักอยู่ในระดับที่ปกติและเหมาะสมต่อการทำกิจกรรมของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก

4.8.2 ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนของของเหลวในกระเพาะหมัก

ความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนในกระเพาะหมักนั้นมีความผันแปร ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ระดับการให้อาหาร ความสามารถในการละลายได้ของโปรตีนในอาหาร แหล่งของคาร์โบไฮเดรทที่มีและแหล่งของแร่ธาตุ ความถี่ของการให้อาหาร (เมธา วรรณพัฒน์, 2533) โดยแอมโมเนียไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในกระเพาะหมักจะได้จากการย่อยสลายของโปรตีนในอาหาร จุลินทรีย์โปรตีน และสารประกอบ NPN (Non protein nitrogen) โดยระดับของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในการทดลองครั้งนี้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ซึ่งพบว่าโคนมได้รับโปรตีนรวมจากอาหารไม่แตกต่างกัน ดังนั้นปัจจัยที่จะทำให้ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะหมักมีความแตกต่างกันนั้นจะมาจากแอมโมเนียไนโตรเจนของ จุลินทรีย์โปรตีน แต่พบว่าปริมาณของโปรตีนที่ได้รับจากจุลินทรีย์ (MCP) ก็ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงทำให้ระดับของแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะหมักทั้งสามกลุ่มทดลองไม่มีความแตกต่างกัน โดย Mehrez, Ørskov, and McDonald (1977) รายงานว่าระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนที่เหมาะสมในกระเพาะหมักนั้น ควรจะอยู่ในระดับที่ทำให้จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักเจริญเติบโตดีที่สุดและมีการย่อยได้ของวัตถุแห้งสูงที่สุด Satter and Slyter, (1974) and Satter and Roffer, (1981) รายงานระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนว่าอยู่ที่ระหว่าง 30-80 mg/l ในการทดลองครั้งนี้พบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนมีค่าที่อยู่ในช่วงเดียวกับ Satter and Slyter, (1974) and Satter and Roffer, (1981) ในชั่วโมงที่ 0 3 และ 6 หลังการให้อาหาร แอมโมเนียไนโตรเจนอยู่ในระดับที่เหมาะสมคือ เนื่องจากเป็นช่วงที่เกิดจากการย่อยสลายโปรตีนในอาหารโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก ทำให้ได้ผลผลิต คือ แอมโมเนียไนโตรเจน

4.8.3 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 ระดับกรดอะซิติกและกรดโพรพิออนิก ที่ชั่วโมงที่ 6 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กรดบิวทีริก และอัตราส่วนกรดอะซิติกต่อโพรพิออนิก ที่ชั่วโมง 0 3 และ 6 หลังการให้อาหาร ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีจะความเข้มข้นลดลงชั่วโมงที่ 3 หลังการให้อาหาร ทั้งนี้เนื่องจากกรดไขมันระเหยได้จะถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะหมักทำให้ระดับความเข้มข้นลดลง

(Peters et al., 1990) ซึ่งในการทดลองครั้งนี้มีระดับความเข้มข้นของกรดอะซิติกมีค่าอยู่ที่ระหว่าง 61.69-67.38 mol/100 mol กรดโพรพิออนิกมีค่าอยู่ที่ระหว่าง 18.10-22.39 mol/10 mol กรดบิวทีริกมีค่าอยู่ที่ระหว่าง 13.72-16.88 mol/100 mol และอัตราส่วนกรดอะซิติกต่อโพรพิออนิกมีค่าอยู่ระหว่าง 2.55-4.30 และมีอัตราส่วนกรดอะซิติกต่อโพรพิออนิก 2.55-4.30 อะซิติก โพรพิโอนิก และบิวทีริกจะเป็นพลังงาน 2 ใน 3 ของพลังงานที่ย่อยได้จากอาหารทั้งหมด ถ้าสัตว์เคี้ยวเอื้องได้รับอาหารหยาบคุณภาพดีปริมาณของอะซิติกจะมากกว่าโพรพิโอนิก หรือ บิวทีริกปริมาณของกรดไขมันที่ระเหยได้ดังกล่าวอาจเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับการให้อาหาร สัดส่วนของอาหาร แต่ปริมาณเยื่อใยกับขนาดความยาวของเยื่อใยและปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่ายจะมีอิทธิผลของอัตราส่วนกรดไขมันที่ระเหยได้มากที่สุด ถ้าให้อาหารที่มีแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่ายมาก และปริมาณเยื่อใยน้อยลงจะทำให้อะซิเตทผลิตน้อยลง และโพรพิโอเนทจะเพิ่มขึ้น (วิโรจน์, 2546) สอดคล้องกับ Sutton (1985) ที่รายงานว่า โคนมที่ได้รับอาหารข้าวบาร์เลย์ หรือข้าวโพดที่หมักในกระเพาะรูเมนแล้วได้กรดโพรพิโอนิคในปริมาณที่สูง และได้กรดอะซิติค และกรดบิวทีริคที่ต่ำ

4.8.4 จุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก

Cellulolytic Bacteria เป็นจุลินทรีย์กลุ่มที่ใช้ cellulose โดยมีการผลิตน้ำย่อยชนิด extra-cellular enzymes ซึ่งสามารถเข้าย่อย cellulose และ hemicellulose น้ำย่อยจะเป็นชนิด non-specific-1 4-glucose ซึ่งจะย่อยสลายได้ anhydroglucose oligosaccharides cellulobiose และ glucose ตามลำดับ เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มนี้มีความสามารถในการย่อย cellulose และ hemicellu-loses จึงมากที่สุดในกระเพาะหมักของสัตว์ที่ได้รับอาหารหยาบเป็นหลัก ซึ่งการทดทองในครั้งนี้พบว่าจำนวนของ Cellulolytic Bacteria ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เนื่องจากโคทดลองได้รับอาหารหยาบในปริมาณที่เท่ากันทุกกลุ่ม

จำนวนของ Protozoa ในกลุ่มควบคุม มีค่าเท่ากับ 3.63×10^5 4.77×10^5 และ 4.57×10^5 cell/ml กลุ่มการทดลองที่ 1 มีค่าเท่ากับ 2.90×10^5 4.47×10^5 และ 4.07×10^5 cell/ml และในกลุ่มการทดลองที่ 2 มีค่าเท่ากับ 3.40×10^5 4.33×10^5 และ 4.23×10^5 cell/ml ซึ่งพบว่าจำนวนของ Protozoa ในกระเพาะหมักของโคทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)ในชั่วโมงที่ 3 หลังจากการให้อาหารโดยโคที่ได้รับการเสริม linseed oil ที่ระดับ 150 และ 300 กรัมต่อตัวต่อวันมีจำนวน Protozoa ต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ซึ่ง Hino and Nagatake (1993) ได้ศึกษาผลทาง in vitro พบว่าอาหารไขมัน (high unsaturated fat) มีผลต่อกลุ่มโปรโตซัวมากสุด ตามด้วยแบคทีเรียกลุ่มย่อยเยื่อใย ความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์โดยรวมจะมีผลมากต่อจุลินทรีย์แกรมบวก (gram positive) ไวมากกว่าแกรมลบ (gram negative) ส่วนกลไกการทำให้เกิดเป็นพิษยังไม่ทราบชัด มีสองทฤษฎีที่อธิบายคืออาหารไขมันจะเข้าไปเคลือบตัวจุลินทรีย์เป็นแผ่นฟิล์ม ซึ่งทำให้รบกวนการเข้าเกาะชิ้นอาหาร ป้องกันการเกิด cellulose hydrolysis ประการสอง unsaturated fat

ทำให้ผิวจุลินทรีย์ชั้น cytoplasmic membrane เสียคุณสมบัติไป จึงขัดขวางการนำเข้าสารอาหารสู่เซลล์

4.9 สรุปผลการทดลอง

ผลของการเสริม linseed oil ร่วมกับอาหารข้นในโคนมที่ระดับ 0 150 และ 300 กรัมต่อตัวต่อวัน และทำการวัดค่า ความเป็นกรดด่าง (pH) ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) และระดับของกรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acids) ที่ชั่วโมงที่ 0 3 และ 6 พบว่าระดับ pH ที่ชั่วโมงที่ 0 3 และ 6 หลังจากการให้อาหารไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าระดับของ pH ในกระเพาะหมักจะลดลงที่ชั่วโมงที่ 3 และเพิ่มสูงขึ้นที่ชั่วโมงที่ 6 หลังการให้อาหาร ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนก็ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ระหว่างโคทั้ง 3 กลุ่ม ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนจะเพิ่มขึ้นที่ชั่วโมงที่ 3 ซึ่งเป็นปริมาณของแอมโมเนียไนโตรเจนที่ได้จากการหมักย่อยของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักและจะลดต่ำลงที่ชั่วโมงที่ 6 เพราะจุลินทรีย์ได้นำแอมโมเนียไนโตรเจนไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตและแอมโมเนียไนโตรเจนถูกดูดซึมออกจากกระเพาะหมักผ่านทางผนังชั้น Epithelium ของกระเพาะหมัก และปริมาณของกรดไขมันระเหยได้ พบว่าระดับระดับกรดอะซิติกและกรดโพรพิออนิก ที่ชั่วโมงที่ 6 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กรดบิวทีริก และอัตราส่วนกรดอะซิติกต่อโพรพิ-ออนิก ที่ชั่วโมง 0 3 และ 6 หลังการให้อาหาร ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีจะความเข้มข้นลดลงชั่วโมงที่ 3 หลังการให้อาหาร ทั้งนี้เนื่องจากกรดไขมันระเหยได้จะถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะหมักทำให้ระดับความเข้มข้นลดลงจำนวนของ Cellulolytic Bacteria ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เนื่องจากโคทดลองได้รับอาหารหยาบในปริมาณที่เท่ากันทุกกลุ่มและจำนวนของ Protozoa ในกระเพาะหมักของโคทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)ในชั่วโมงที่ 3หลังจากการให้อาหาร

4.10 รายการอ้างอิง

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

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

วิโรจน์ ภัทรจินดา. (2546). **โคนม**. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น. 450 น.

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, N. 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.

Hino, T. and Ngatake, Y. (1993). The effects of grass lipids om fiber digestion by mix rumen microorganism *in vitro*. **Anim**. **Sci**. **Technol**. 64: 121-8.

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.

Ørskov, E. R., and Ryle, M. (1998). **Energy Nutrition in Ruminants**. Lincoln. Chalcombe Publications;

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**. **Anim**. **Sci**. 89: 3096-3106.

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.

Satter, L. D. and Roffer, R. E. (1981). **Influence of nitrogen and carbohydrate inputs on rumen fermentation In: Recent Development in Ruminant Nutrition**. Eds: W. Haresign and D.J.A. Cole, Butterworth. London. 368 p.

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

Sutton, J. D. (1985). Digestion and absorption of energy substrates in the lactating cow **J**. **Anim**. **Sci**.

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

จากศึกษาถึงการเสริม linseed oil ที่ระดับ 0 150 และ 300 กรัม/ตัว/วัน ต่อผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมตลอดจนปริมาณของกรดไขมันในน้ำนม รวมถึงการศึกษาเกี่ยวกับการหมักย่อยในกระเพาะหมัก โดยทำการทดลองในโคนมลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเซียน

1. การทดลองเสริม linseed oil ในระดับ 150 และ 300 กรัม/ตัว/วัน พบว่าไม่มีผลต่อการกินได้ของวัตถุแห้ง โปรตีนที่ได้รับจากอาหาร ความต้องการพลังงานเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ ของโคนม การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว นอกจากนี้การเสริม linseed oil ในระดับ 150 และ 300 กรัม/ตัว/วัน ในการทดลองนี้ยังไม่ส่งผลต่อผลผลิตน้ำนม และองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมการเสริม linseed oil ในระดับ 150 และ 300 กรัม/ตัว/วัน ไม่มีผลต่อระดับ C18:1 C18:2 C18:3 SFA UFA n6 n3 และสัดส่วนของ n6:n3 ($P>0.05$)

2. ผลของการเสริม linseed oil ร่วมกับอาหารข้นในโคนมที่ระดับ 0 150 และ 300 กรัมต่อตัวต่อวันและทำการวัดค่า ความเป็นกรดด่าง (pH) ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) และระดับของกรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acids) ที่ชั่วโมงที่ 0 3 และ 6 พบว่าระดับ pH ที่ชั่วโมงที่ 0 3 และ 6 หลังจากการให้อาหารไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยพบว่าระดับของ pH ในกระเพาะหมักจะลดลงที่ชั่วโมงที่ 3 และเพิ่มสูงขึ้นที่ชั่วโมงที่ 6 หลังการให้อาหาร ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน ก็ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ระหว่างโคทั้ง 3 กลุ่ม ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนจะเพิ่มขึ้นที่ชั่วโมงที่ 3 ซึ่งเป็นปริมาณของแอมโมเนียไนโตรเจนที่ได้จากการหมักย่อยของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักและจะลดต่ำลงที่ชั่วโมงที่ 6 เพราะจุลินทรีย์ได้นำแอมโมเนียไนโตรเจนไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตและแอมโมเนียไนโตรเจนถูกดูดซึมออกจากกระเพาะหมักผ่านทางผนังชั้น Epithelium ของกระเพาะหมัก และปริมาณของกรดไขมันระเหยได้ พบว่าระดับระดับกรดอะซิติกและกรดโพรพิออนิก ที่ชั่วโมงที่ 6 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กรดบิวทีริก และอัตราส่วนกรดอะ-ซิติกต่อโพรพิออนิก ที่ชั่วโมง 0 3 และ 6 หลังการให้อาหาร ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีจะความเข้มข้นลดลงชั่วโมงที่ 3 หลังการให้อาหาร ทั้งนี้เนื่องจากกรดไขมันระเหยได้จะถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะหมักทำให้ระดับความเข้มข้นลดลงจำนวนของ Cellulolytic Bacteria ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เนื่องจากโคทดลองได้รับอาหาร

หยาบในปริมาณที่เท่ากันทุกกลุ่มและจำนวนของ Protozoa ในกระเพาะหมักของโคทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในชั่วโมงที่ 3 หลังจากการให้อาหาร

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การทดลองเสริม linseed oil ในระดับ 150 และ 300 กรัม/ตัว/วัน พบว่าไม่มีผลต่อการกินได้ของวัตถุแห้ง โปรตีนที่ได้รับจากอาหาร ความต้องการพลังงานเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ ของโคนม การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว นอกจากนี้การเสริม linseed oil ในระดับ 150 และ 300 กรัม/ตัว/วัน ในการทดลองนี้ยังไม่ส่งผลต่อผลผลิตน้ำนม และองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมนั้นน่าจะเกิดจากการที่โคนมที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีผลผลิตน้ำนมที่ต่ำเกินไปรวมไปถึงโคนมได้รับอาหารข้น 6 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน ซึ่งถือว่ามีปริมาณสูงเมื่อเทียบกับปริมาณของผลผลิตน้ำนมในแต่ละวัน เพราะพลังงานและโภชนะที่โคนมได้รับจากอาหารก็เพียงพออยู่แล้ว แต่อย่างไรก็ตาม ในการทดลองครั้งนี้พบว่าปริมาณโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP_{req}) ต่ำกว่าความต้องการของโคนม ซึ่งอาจแก้ปัญหานี้ได้โดยการใช้วัตถุดิบประเภทที่มีค่าการย่อยสลาย (degradability) ในกระเพาะหมักที่ต่ำ เช่น กากเมล็ดฝ้าย กากถั่วเขียว หรือเมล็ดถั่วเหลืองที่ผ่านความร้อน (heat treat soybean) เป็นต้น รวมไปถึงการใช้โปรตีนไหลผ่านชนิดต่าง ๆ (By-pass protein) โปรตีนชนิดนี้จะถูกย่อยสลายที่กระเพาะจริงและดูดซึมที่ลำไส้เล็ก ดังนั้นในการทำสูตรอาหารโคนมแต่ละครั้งควรคำนึงถึงปริมาณของโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{req}) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP_{req}) ด้วย ซึ่งโปรตีนที่ถูกย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักนั้น ควรจะมีอยู่ในสูตรอาหารประมาณ 60-65% ส่วนโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก ควรมีในสูตรอาหารประมาณ

2. การเสริม linseed oil ในระดับ 150 และ 300 กรัม/ตัว/วัน ไม่มีผลต่อระดับ C18:1 C18:2 C18:3 SFA USFA MUFA PUFA n6 n3 และสัดส่วนของ n6:n3 ($P>0.05$) อาจเกิดจากกระบวนการ Hydrogenation โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก ในการศึกษาการเสริม linseed oil ในครั้งต่อไปควรมีการศึกษาอัตราการเกิด Hydrogenation โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักด้วย

ภาคผนวก

การประเมินพลังงานและโปรตีน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

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

พลังงานจาก NFC

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

= $0.98(100-[27.66+21.82+4.93+12.44]) \times 1$

= 32.47%

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

= $0.98(100-[68.73+7.08+1.99+12.66]) \times 1$

= 9.34%

หมายเหตุ: ค่า PAF มีค่าเท่ากับ 1

พลังงานจากโปรตีน

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

= $[1- (0.4 \times (4.74/21.82))] \times 21.82$

= 19.93%

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

= $[1- (0.4 \times (3.07/7.08))] \times 7.08$

= 5.85%

พลังงานจากไขมัน

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

= 100 – 1.0

= 99 %

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

= 4.93– 1.0

= 3.93 %

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

= 1.99 – 1.0

= 0.99 %

หมายเหตุ: ถ้า EE<1, FA=0

พลังงานจาก NDF

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

$= 0.75\times (27.66-6.21)\ [1-(6.21/27.66)^{0.667})$

$= 11.16\ \%$

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

$= 0.75\times (68.73-10.41)\ [1-(10.41/68.73)^{0.667})]$

$= 31.73\%$

พลังงานโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด

TDN_{1X} (%) (อาหารข้น) $= tdNFC + tdCP + (3.93\ x\times 2.25) + tdNDF - 7$

$= 32.47+19.93+ (3.06 \times 2.25) + 11.16 - 7$

$= 53.68\%$

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

$= 9.34+5.85+ (0.99 \times 2.25) + 31.73 - 7$

$= 40.17\%$

การประมาณค่า DE ของอาหารที่ระดับดำรงชีพ

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

$= [(32.47/100) \times 4.2] + [(11.16\ /100) \times 4.2] + [(19.93/100) \times 5.6] + [(3.93\ /100) \times 9.4] - 0.3$

$= 2.36$

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

$= [(9.34/100) \times 4.2] + [(31.73/100) \times 4.2] + [(5.85/100) \times 5.6] + [(0.99\ /100) \times 9.4] - 0.3$

$= 1.73$

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

Discount (อาหารข้น) $= [53.68-([(0.18 \times 53.68) - 10.3] \times 2)] /53.68$

$= 1.02$

Discount (หญ้าหมัก) $= [40.17-([(0.18 \times 40.17) - 10.3] \times 2)] /40.17$

$= 1.15$

DE_P (Mcal/kg) = DE_{IX} × Discount

DE_P (อาหารข้น) = 2.36× 1.02

= 2.41 Mcal/kg

DE_P (หญ้าหมัก) = 1.73× 1.15

= 2.00 Mcal/kg

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

ME_P (อาหารข้น) = [(1.01× 2.41)-0.45] + [0.0046 × (4.93-3)]

= 1.99 Mcal/kg

ME_P (หญ้าหมัก) = (1.01×2.00)-0.45

= 1.57 Mcal/kg

ดังนั้น

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

NE_{Lp} (อาหารข้น) = [(0.703 × 1.99) – 0.19] + [((0.0097 × 1.99) + 0.19)/97] × (4.93- 3)]

= 1.21 Mcal/kg

NE_{Lp} (หญ้าหมัก) = (0.703 × 2.00) – 0.19

= 0.91 Mcal/kg

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

โครีดนมมีน้ำหนักเฉลี่ย 406 kgLW ให้นมเฉลี่ยวันละ10.88 kg น้ำนมมีไขมัน 3.73% โปรตีน 2.88% และแล็คโตส 4.30% โครีดนมมีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นวันละ 0.4 กิโลกรัม

NELR = NELM+NELG+NELL

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

= 0.08 × (406)$^{0.75}$

= 7.24 Mcal/day

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

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

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

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

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

BCS (9) = ((Dairy BCS – 1) × 2) + 1

= ((3.5 – 1) × 2) + 1

= 6

Proportion of empty body fat = 0.037683 × 6

= 0.23

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

= 0.16

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

= 3.04

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

= 2.57 × 0.80

= 2.05

NELL(Mcal/kg) = (0.0929 × Fat%) + (0.0547 × Protein%) +

(0.0395 × Lactose%) × kg of milk

= [(0.0929 × 3.73) + (0.0547 × 2.88) + (0.0395 × 4.30)

× 10.88 (kg milk/d)

= 7.33 Mcal/day

NELR **= 7.24 + 2.05+ 7.33**

= **16.62 Mcal/day**

ดังนั้น โครีดนมซึ่งได้รับอาหารข้น จะมีความต้องการพลังงานในรูปของ NE ทั้งหมดเท่ากับ 16.62 Mcal/day

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

โครีดนมมีน้ำหนักเฉลี่ย 406 kgLW ให้นมเฉลี่ยวันละ 10.88 kg น้ำนมมีไขมัน 3.73% โปรตีน 2.88% และแล็คโตส 4.30% โครีดนมมีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นวันละ 0.4 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) $= 2.75 \times (\text{Live weight})^{0.5}$

$= 2.75 \times 21.1$

$= 58.025$

MP_u $=58.025 /0.67$

$= 86.60$

MP_{sh} $= SPN/0.67$

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

MP_{sh} $= [0.2 \times (406^{0.6})]/0.67$

$= 10.96$

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

MFP (g/d) $= 30 \times$ Dry matter intake (kg.)

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

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

$= 0.4 \times 1.9 \times 15.14 \times 6.25$

$= 71.91$

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

MCP $= 0.85$ g RDP_{req}

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

$TDN_{Act\ Total}$ (อาหาร ข้น) $= \text{DMI (kg.)} \times (\%\text{TDN}/100) \times 1000$

RDP_{req} (อาหารข้น) $= 0.15294 \times (15.14 \times (64.41/100) \times 1000)$

$= 1491.42$ g/d

MCP $= 0.85 \times 1491.42$

$= 1267.70$

MP_{Bact} (g/d) $= 916.99 \times 0.64$

$= 811.33$

MP_{End} (g/d) $= 0.4 \times (1.9 \times 15.14 \times 6.25)$

$= 71.91$

MP_{MFP} (g/d) $= [(\text{DMI(kg)} \times 30) – 0.50((\text{Bact MP}/0.8) – \text{Bact MP})] + \text{Endo MP}/0.67$

= [(15.14 × 30) – 0.50((811.33/0.8) –811.33)] + 65.79/0.67

= 460.11

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

= 86.60+ 10.96+ 460.11

= 557.67 g/d

PG (g/d) = NPg/EffMP_NPg

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

SWG = ADG (average daily gain)

= 0.4

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

EQEBW = 0.891 × EQSBW

EQSBW = SBW × (478/MSBW)

SBW = Shrunk body weight

= 0.96 × BW

= 0.96 × 406 kgLW

= 389.76 kgLW

MSBW = Mature shrunk body weight

= 500 kgLW (โคนมลูกผสม Holstein friesianในประเทศไทย)

EQSBW = 389.76 × (478/500)

= 372.61 kgLW

EQEBW = 0.891 × 372.61

= 311.99 kgLW

EQEBG = 0.956 × SWG

= 0.956 × 0.4

= 0.38 kgLW

RE (Mcal/d) = $0.0635 \times 311.99^{0.75} \times 0.38^{1.097}$

= 1.63 Mcal/d

NPg = 0.4 × (268 – (29.4 × (1.63 /0.4)))

= 59.278 g/d

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

= (83.4 – (0.114 × 372.61))/100

= 0.41

MP_G (g/d) = 59.278 /0.41

= 144.58 g/d

MPL (g/d) = (Yprotn/0.67) × 1000

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

= 10.88 (kg/d) × (2.88/100)

= 0.31 kg/d

MP_L (g/d) = (0.31/0.67) × 1000

= 467.46 g/d

MP_R (g/d) = 557.67 + 144.58 + 467.46

= 1169.71 g/d

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

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

= 1169.71 – (811.33+ 71.91)

= 286.47 g/d

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน

นายรัฐกร มิรัตนไพร เกิดวันที่ 10 ธันวาคม พ.ศ. 2530 ที่จังหวัดร้อยเอ็ด เริ่มศึกษาระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนวารีสวัสดิ์วิทยา สำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2543 จากนั้นเข้าศึกษาต่อระดับมัธยมศึกษาตอนต้น 1-3 ที่โรงเรียนพนมไพรวิทยาคาร และสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2546 ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย 4-6 ที่โรงเรียนร้อยเอ็ดวิทยาลัย และสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2549 ศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา และสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2553 และได้ศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ในปี พ.ศ. 2553

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี