

การศึกษาความต้องการพลังงานและโปรตีนในโคนมสาวถูกผสม

นางสาวพวน ทศพงษ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-7359-86-3

**A STUDY OF ENERGY AND PROTEIN REQUIREMENT OF
CROSSBRED DAIRY HEIFERS**

Miss Puan Tatsapong

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

Suranaree University of Technology

Academic Year 2000

ISBN 974-7359-86-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาความต้องการพลังงานและโปรตีนในโคนมสาวลูกผสม
สภามหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....

(รศ. ดร. พงษ์ชาญ ฌ ลำปาง)

ประธานกรรมการ

.....

(ผศ. ดร. วิศิษฐ์พร สุขสมบัติ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

.....

(รศ. ดร. วรพงษ์ สุริยจันทร์ทอง)

กรรมการ

.....

(ดร. บัญชร ลิขิตเดชารัตน์)

กรรมการ

.....

(รศ. ดร. เกษม ปราบริบูรณ์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

.....

(รศ. ดร. กนก ผลารักษ์)

คณบดีสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิศิษฐ์พร สุขสมบัติ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมการวิจัย ที่ได้กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษา แนะนำ แนวคิดในการดำเนินงานวิจัย การแก้ปัญหาต่างๆ อันเป็นประโยชน์ทั้งในด้านวิชาการ และการดำเนินงานวิจัย พร้อมทั้งตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. วรพงษ์ สุริยจันทร์หาทอง กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษาแนะนำในการดำเนินการวิจัยและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. พงษ์ชาญ ญ ลำปาง และนายสัตวแพทย์ ดร. บัญชร ลิขิตเดชาโรจน์ กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธีระพล บันสิทธิ์ คณบดี คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์สถานที่ อุปกรณ์ต่างๆ ในฟาร์ม และโคทดลองในการดำเนินการวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์กังวาน ธรรมแสง หัวหน้าภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษาแนะนำในการแก้ปัญหาต่างๆ ในการดำเนินการวิจัย และอำนวยความสะดวกในด้านอุปกรณ์ต่างๆ ในฟาร์ม รวมทั้งให้การสนับสนุนค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการดำเนินการวิจัย และขอกราบขอบพระคุณ ดร.ไมเคิล แฮร์ ที่กรุณาให้การสนับสนุนในด้านการเงินในการซื้อสารเคมีและอุปกรณ์ใช้ในการวิเคราะห์ผลการวิจัย และให้ความอนุเคราะห์ด้านแรงงานและเครื่องมือช่วยในการดำเนินงานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ สุรัช สุวรรณลี ที่กรุณาสละเวลามาให้คำแนะนำ ปรึกษาปัญหาต่างๆ อันเป็นประโยชน์ในการทำการวิจัย ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการวิเคราะห์ข้อมูล การทดลองในห้องปฏิบัติการ สอนโปรแกรม SAS และช่วยแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในฟาร์มให้เป็นอย่างดี และขอขอบคุณ พี่วันชัย อินทิแสง นักวิชาการประจำฟาร์ม ที่กรุณาให้คำแนะนำเกี่ยวกับสุขภาพโคและการจัดการของโคทดลอง

ขอขอบคุณพี่ๆ บุคลากรประจำห้องปฏิบัติการกลาง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ทุกๆ ท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ในการทำวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณพี่ ๆ และน้องๆ เจ้าหน้าที่โครงการวิจัย คณะเกษตร มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ทุกท่าน ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ และให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา ขอขอบคุณพี่กิตติพัฒน์ สายประเสริฐ ที่สละเวลาให้การช่วยเหลืออย่างดียิ่ง

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การเลี้ยงดู อบรม และส่งเสริมการศึกษาเป็นอย่างดีมาตลอด เป็นกำลังใจ จนทำให้ข้าพเจ้าประสบความสำเร็จในชีวิต และขอขอบคุณพี่ๆ น้อง และเพื่อนๆ ทุกท่าน รวมทั้งหลานๆ ทุกคน ที่เป็นกำลังใจอย่างยิ่งแก่ข้าพเจ้า จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

พวน ทัศนพงษ์

ประวัติผู้เขียน

นางสาวพวน ทศพงษ์ เกิดเมื่อวันที่ 7 พฤษภาคม พ.ศ. 2517 ที่จังหวัดอุดรธานี เป็นบุตรของ นายจุม ทศพงษ์ และนางทองสุข ทศพงษ์ เป็นบุตรคนที่ 12 และมีพี่น้องร่วมบิดามารดาทั้งหมด 13 คน มีพี่ชาย 6 คน มีพี่สาว 5 คน และน้องสาวอีก 1 คน จบการศึกษาชั้นประถมศึกษาที่โรงเรียนบ้านป่าก้างดอนแดง จังหวัดอุดรธานี จบการศึกษาชั้นมัธยมต้นที่โรงเรียนน้ำสวยวิทยา จังหวัดหนองคาย และจบการศึกษาชั้นมัธยมปลายที่โรงเรียนเพ็ญพิทยาคม จังหวัดอุดรธานี จากนั้นเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาตรีที่มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี ในปี พ.ศ. 2536 และจบปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตเกียรตินิยม สาขาสัตวศาสตร์ ในปีการศึกษา 2539 หลังจบการศึกษาแล้วได้เข้าทำงานเป็นเจ้าหน้าที่โครงการวิจัย คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี กับอาจารย์ ดร. ไมเคิล แฮร์ เป็นเวลา 2 ปี จากนั้นได้รับทุนการศึกษาจากทางโครงการวิจัย โดยการสนับสนุนของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโทด้านโภชนศาสตร์เชิงชีวโมเลกุล สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปี พ.ศ. 2542

พวน ทศพงษ์ : การศึกษาความต้องการพลังงานและโปรตีนในโคนมสาวลูกผสม

: A STUDY OF ENERGY AND PROTEIN REQUIREMENT OF CROSSBRED DAIRY HEIFERS.

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. วิศิษฐ์พร สุขสมบัติ, 156 หน้า

ISBN 974-7359-86-3

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความต้องการพลังงานและโปรตีนของโคนมสาวลูกผสมโดยเปรียบเทียบกับคำแนะนำของ National Research Council (NRC, 1988) โดยใช้โคนมสาวลูกผสม (Holstein Friesian) จำนวน 24 ตัว ซึ่งมีระดับเลือดผสมของ Holstein Friesian เฉลี่ยประมาณ 85 ± 7 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยประมาณ 236 ± 64 กิโลกรัม และมีอายุเฉลี่ยประมาณ 12 ± 5 เดือน โดยวางแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียลสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ จัดทริทเมนต์เป็น 2×2 Factorial ประกอบด้วย 2 ปัจจัยๆ ละ 2 ระดับ โดยปัจจัยแรกคือ ระดับของพลังงานในหน่วยของโภชนะย่อยได้ทั้งหมด (TDN) เท่ากับ 1.0 และ 1.2 เท่าของ NRC ส่วนปัจจัยที่ 2 คือ ระดับของโปรตีนหยาบ (CP) เท่ากับ 1.0 และ 1.2 เท่าของ NRC จัดกลุ่ม (Block) สัตว์ทดลองตามน้ำหนักของโค และสุ่มโคให้ได้รับทริทเมนต์ 1 ใน 4 ทริทเมนต์ ที่มีสัดส่วนของพลังงานต่อโปรตีนดังนี้ คือ 1.0 : 1.0, 1.0 : 1.2, 1.2 : 1.0 หรือ 1.2 : 1.2 ซึ่งในการทดลองนี้คำนวณสูตรอาหารของโคให้ได้รับอาหารที่กำหนดให้มีอัตราการเจริญเติบโตวันละ 600 กรัม โคทุกตัวได้รับแร่ธาตุและวิตามินตามคำแนะนำของ NRC โดยเลี้ยงโคแบบผูกขังเดี่ยวมีน้ำให้กินตลอดเวลา ทั้งนี้ใช้หญ้าแห้งอบลพาสพาลัมเป็นอาหารหยาบ ใช้ข้าวโพดในการปรับค่าพลังงาน และใช้กากถั่วเหลืองในการปรับค่าโปรตีน ในการดำเนินการได้แบ่งทำการทดลองออกเป็น 2 ครั้งๆ ละ 3 บล็อก และในการทดลองแต่ละครั้งใช้เวลา 45 วัน และชั่งน้ำหนักโคคอดอาหาร 16 ชั่วโมง ทุก 21 วัน เพื่อปรับน้ำหนักและใช้สำหรับทำการคำนวณสูตรอาหารของโคให้ได้รับพลังงานและโปรตีนตามทริทเมนต์ ที่วางไว้

ผลการทดลองพบว่า ระดับของพลังงาน 1.0 และ 1.2 เท่าของ NRC มีผลทำให้ปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบแตกต่างกัน (6.31 vs 6.98 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน, $P < 0.01$) เปอร์เซ็นต์การกินได้ของวัตถุดิบต่อน้ำหนักตัวแตกต่างกัน (2.5 vs 2.7 , $P < 0.001$) และอัตราการเจริญเติบโตแตกต่างกัน (0.81 vs 0.93 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน, $P < 0.05$) ส่วนระดับของโปรตีนพบว่าไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบ เปอร์เซ็นต์การกินได้ของวัตถุดิบต่อน้ำหนักตัว และ อัตราการเจริญเติบโตของโค ($P > 0.05$) ทั้งนี้ระดับของพลังงานและโปรตีนไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้อาหารของโค ($P > 0.05$) นอกจากนี้พบว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ระหว่างระดับพลังงานและโปรตีนต่อปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบ ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และอัตราการเจริญเติบโตของโค ($P > 0.05$) และ

จากผลการทดลองการกินได้ของพลังงานและโปรตีนของโคเมื่อเปรียบเทียบกับ NRC พบว่า โคกินพลังงานเป็น 1.04 และ 1.18 NRC ส่วนโปรตีนพบว่า โคกินโปรตีนได้เป็น 1.00 และ 1.18 NRC จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าโคจะให้ผลผลิตดีเมื่อได้รับพลังงาน 1.18 และได้รับโปรตีน 1.00 หรือ 1.18 เท่าของ NRC

จากการประเมินความต้องการพลังงานสุทธิและโปรตีนหยาบของโคพบว่ามีความต้องการสูงกว่าที่ NRC (1988) แนะนำประมาณ 5 และ 38 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และสามารถปรับค่า Factors สำหรับการคำนวณหาพลังงานเพื่อการดำรงชีพ และเพื่อการเจริญเติบโตมีค่าเท่ากับ 0.0904 และ 0.0482 ตามลำดับ

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์
ปีการศึกษา 2543

ลายมือชื่อนักศึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

PUAN TATSAPONG : A STUDY OF ENERGY AND PROTEIN REQUIREMENT OF
CROSSBRED DAIRY HEIFERS.

THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF WISITIPORN SUKSOMBAT. Ph.D. 156 pp.

ISBN 974-7359-86-3

The objective of this study was to investigate the energy and protein requirement of crossbred dairy heifers by comparing to the recommendations of National Research Council (NRC, 1988). Twenty-four Holstein Friesian (HF) crossbred heifer, averaging 85 ± 7 %HF, 236 ± 64 kg empty body weight and 12 ± 5 months of age were used in this experiment. The experimental design was a randomized complete block in a 2 x 2 factorial arrangement. The factors were two levels of total digestible nutrient (TDN) i.e. 1.0 and 1.2 NRC and two levels of crude protein (CP) i.e. 1.0 and 1.2 NRC. Heifers were assigned to one of four treatments (TDN : CP of 1.0 : 1.0, 1.0 : 1.2, 1.2 : 1.0 or 1.2 : 1.2). All animals were fed to achieve 600 g daily gain and received mineral and vitamin based on NRC recommendations. They were individually fed and free access to water. Ubon paspalum (*Paspalum atratum* cv. Ubon) hay were used as a roughage source. Soybean meal and ground corn were supplemented as protein and energy sources respectively. The experiment was divided into 2 period, each period had 3 block and last for 45 days. Empty body weight was recorded every 21 days and used to adjusted for CP and TDN levels of each treatment.

Heifers receiving 1.2 NRC of TDN had significantly higher dry matter intake (DMI) (6.98 vs 6.31 kg/head/d, $P < 0.01$); % dry matter intake of body weight (%BW) (2.7 vs 2.5, $P < 0.001$) and average daily gain (ADG) (0.93 vs 0.83 kg/head/d, $P < 0.05$) than those receiving 1.0 NRC of TDN. However, the CP level of 1.0 and 1.2 NRC had no effect on DMI, %DMI of BW and ADG ($P > 0.05$). Feed efficiency and body weight did not differ between levels of TDN and CP. No significant interactions occurred between levels of TDN and CP on DMI, feed efficiency and ADG. Actual TDN intakes when compared to NRC recommendation were 1.04 and 1.18 NRC and actual CP intakes when compared to NRC recommendation were 1.00 and 1.18 NRC. These results indicated that crossbred Holstein Friesian heifers consumed 1.18 TDN of NRC together with 1.00 or 1.18 CP of NRC showed reasonably high average daily gain.

The responses of crossbred Holstein Friesian heifers to different levels of energy and protein indicated that the requirement of net energy and CP were higher than that recommended by NRC (1988) which were 5 % and 38 %, respectively. The adjustment factors for calculated NE_M and NE_G were 0.0904 and 0.0482 in this experiment.

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์
ปีการศึกษา 2543

ลายมือชื่อนักศึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ญ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์	2
1.2 สมมุติฐาน	3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.4 ขอบเขตการวิจัย	3
1.5 คำสำคัญที่ใช้ในงานวิจัย	3
2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ความต้องการสารอาหารของโคนม	4
2.1.1 พลังงาน	4
2.1.2 โปรตีน	6
2.1.3 วิตามิน	8
2.1.4 แร่ธาตุ	10
2.1.5 น้ำ	13
2.2 การควบคุมการกินอาหารของโคนม	14
2.2.1 ปัจจัยด้านการย่อยและการดูดซึมโภชนะ	15
2.2.2 ปัจจัยด้านกายภาพ	17

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.2.3 ปัจจัยที่เกิดจากตัวสัตว์	18
2.2.4 ปัจจัยด้านพฤติกรรมของสัตว์	20
2.2.5 ปัจจัยที่เกี่ยวกับอาหาร และการจัดการ	20
2.2.6 ปัจจัยทางอุณหภูมิและสภาพแวดล้อม	21
2.3 การย่อยสลายและการประเมินการย่อยสลายของอาหารในกระเพาะหมัก	22
2.3.1 ขบวนการย่อยอาหารในโคนม	22
2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการย่อยสลายของอาหารในกระเพาะหมัก	23
2.3.3 การปรับสภาวะขบวนการหมักในกระเพาะหมัก	24
2.3.4 การวัดการย่อยสลายของอาหารในกระเพาะหมัก	26
2.4 จุลินทรีย์วิทยาในกระเพาะหมัก	32
2.4.1 ระบบนิเวศน์วิทยาของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก	32
2.4.2 สภาพที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์	32
2.4.3 ชนิดของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก	33
2.4.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประชากรของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก	36
2.4.5 ส่วนประกอบทางโภชนาของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก	37
2.4.6 การหมักคาร์โบไฮเดรตและอาหารในกระเพาะหมัก	38
2.4.7 บทบาทของแอมโมเนียในการหมักย่อย	40
2.5 อาหารพลังงานและเมทาบอลิซึมของพลังงาน	40
2.5.1 การผลิตและการดูดซึมกรดไขมันระเหยได้ง่ายในกระเพาะหมัก	40
2.5.2 แหล่งของกลูโคส	42
2.5.3 การควบคุมขบวนการเมทาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต	42
2.5.4 เมทาบอลิซึมและความต้องการของไขมัน	44
2.5.5 การใช้ประโยชน์ของไขมันในกระเพาะหมัก	44
2.5.6 ขบวนการเปลี่ยนแปลงพลังงานในกระเพาะหมัก	45
2.5.7 การใช้ประโยชน์ของกรดไขมันระเหยได้	45

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.6 โปรีตินและเมทาบอลิซึมของอาหารโปรีติน	46
2.6.1 สารประกอบไนโตรเจน	46
2.6.2 การย่อยสลายของโปรีตินในกระเพาะหมัก	46
2.6.3 การนำกลับของไนโตรเจนเข้าสู่กระเพาะหมัก	47
2.6.4 ขบวนการใช้สาร NPN ในกระเพาะหมัก	47
2.6.5 การผลิตแอมโมเนียในกระเพาะหมัก	49
2.6.6 เมทาบอลิซึมของไนโตรเจนที่ถูกดูดซึม	50
2.6.7 การปรับตัวของสัตว์ต่อการเพิ่มระดับของแอมโมเนีย	50
2.6.8 การเป็นพิษเนื่องจากแอมโมเนีย	52
2.6.9 โปรีตินที่ย่อยและไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก	53
2.6.10 การใช้สารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรีติน	54
2.6.11 การควบคุมเมทาบอลิซึมของโปรีติน	55
2.7 การประเมินคุณค่าทางพลังงานและความต้องการของโคนม	55
2.7.1 ความหมายของพลังงาน	55
2.7.2 หน่วยของพลังงาน	56
2.7.3 การจำแนกประเภทของพลังงาน	56
2.7.4 ระบบการประเมินคุณค่าทางพลังงานในอาหาร	59
2.7.5 การประเมินคุณค่าทางพลังงานในอาหารสัตว์	62
2.7.6 การประเมินคุณค่าทางพลังงานจากโภชนาที่ย่อยได้ในอาหาร	64
2.7.7 การประเมินความต้องการพลังงานของโคนม	66
2.8 การประเมินคุณค่าโปรีตินในอาหารและความต้องการโปรีตินของโคนม	69
2.8.1 การประเมินคุณค่าของโปรีตินในอาหาร	69
2.8.2 การประเมินความต้องการโปรีตินในโคนม	73
2.8.3 ความต้องการโปรีตินที่ย่อยและไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก ของโคสาว	74

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.9 ความสำคัญของอาหารพลังงานและโปรตีนต่อผลผลิตโคนม	76
2.9.1 ความสำคัญของอาหารต่อผลผลิตโคนม	76
2.9.2 ความสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนและพลังงานในอาหาร	78
2.9.3 อัตราการเจริญเติบโตต่อการสะสมพลังงานและโปรตีนในร่างกาย	79
2.9.4 ความสำคัญของพลังงานและโปรตีนต่อระบบสืบพันธุ์	79
2.9.5 โรคและกลุ่มอาการที่เกิดจากการขาดความสมดุลของอาหาร	82
3 การดำเนินการและวิธีการวิจัย	84
3.1 การศึกษาความต้องการพลังงานและโปรตีนของโคนมสาวลูกผสม	84
3.1.1 วัตถุประสงค์	84
3.1.2 อุปกรณ์และวิธีการ	84
3.2 การศึกษาการย่อยสลายโดยวิธีใช้ถุงในลอน	87
3.2.1 วัตถุประสงค์	87
3.2.2 อุปกรณ์และวิธีการ	87
3.3 การศึกษาการย่อยสลายโดยวิธีวัดปริมาณก๊าซ	89
3.3.1 วัตถุประสงค์	89
3.3.2 อุปกรณ์และวิธีการ	89
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล	92
3.5 สถานที่ทำการทดลอง	92
3.6 ระยะเวลาการทดลอง	92
4 ผลการทดลอง	93
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง	93
4.2 ปริมาณการกินได้	94
4.3 การเจริญเติบโต	97
4.4 การวัดการย่อยสลายโดยใช้เทคนิคถุงในลอน	98
4.5 การวัดการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุและพลังงานโดยวิธีวัดปริมาณก๊าซ	100
4.6 ความต้องการพลังงานของโคนมสาว	101

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.7 ความต้องการโปรตีนของโคนมสาว	103
5 วิจัยรณัผลการทดลอง	105
5.1 ส่วนประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง	105
5.2 การกินได้ของโคทดลอง	108
5.3 การเจริญเติบโต	110
5.4 การย่อยสลายของอาหารทดลองโดยวิธีใช้ถุงไนล่อน	111
5.5 การย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุและพลังงานโดยวิธีวัดก๊าซ	112
5.6 ความต้องการพลังงานของโคสาว	113
5.7 ความต้องการโปรตีนของโคสาว	117
6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	118
เอกสารอ้างอิง	121
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	134
ภาคผนวก ข	148
ประวัติผู้เขียน	156

สารบัญตาราง	หน้า
ตารางที่	
2.1 ชนิดของแบคทีเรียที่สำคัญที่ย่อยสลายอาหารในกระเพาะหมักแบ่งตามอาหารที่หมักย่อย	34
2.2 ส่วนประกอบทางเคมีของแบคทีเรียและโปรโตซัวในกระเพาะหมัก	38
2.3 ความต้องการอาหารและสารประกอบอื่นที่จำเป็นต่อการหมักย่อยในกระเพาะหมักของแบคทีเรียบางชนิด	39
2.4 ปัจจัยที่ใช้ในการใช้ประโยชน์ของโปรตีนในสัตว์กระเพาะรวม	72
3.1 น้ำหนักสัตว์ทดลอง อายุ เมื่อเริ่มทดลอง และเปอร์เซ็นต์เลือด (%Holstein Friesian blood) จากการทดลองทั้ง 2 ครั้ง จำนวน 24 ตัว เมื่อ E คือ พลังงาน โภชนะที่น้อยได้ทั้งหมด P คือ โปรตีนหยาบ	85
3.2 การจัดกลุ่ม (Block) สัตว์ทดลองตามน้ำหนักสัตว์ทดลอง (Empty body weight) และการสุ่มทริทเมนต์ให้สัตว์ทดลอง ของการทดลองทั้ง 2 ครั้ง	86
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของหญ้าแห้งอุบลพาสพาล์ม ข้าวโพด และกากถั่วเหลือง	94
4.2 องค์ประกอบทางเคมีในสูตรอาหารที่โคทดลองได้รับในแต่ละสูตรอาหาร	95
4.3 การกินได้ของวัตถุดิบ พลังงาน โปรตีน ประสิทธิภาพการใช้อาหารและเปรียบเทียบกับกรกินได้กับ NRC (1988)	96
4.4 น้ำหนักและอัตราการเจริญเติบโตของโคทดลองที่ได้รับพลังงานและโปรตีนในระดับต่างๆ	98
4.5 การย่อยสลายของวัตถุดิบและโปรตีนของหญ้าแห้งอุบลพาสพาล์ม กากถั่วเหลือง และข้าวโพดในกระเพาะหมักที่แช่ในเวลาต่างๆ	99
4.6 ปริมาณก๊าซ การย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุและพลังงานที่คำนวณได้จากปริมาณก๊าซที่ผลิตได้เป็นเวลา 24 ชั่วโมงของตัวอย่างที่มีน้ำหนักแห้ง 200 มก.	100
4.7 การประเมินความต้องการพลังงานในอาหาร และในโคทดลอง การปรับ Factor สำหรับการคำนวณหาพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพและเพื่อการเจริญเติบโตของโคทดลองที่ได้รับพลังงานและโปรตีนในระดับต่างๆ	102
4.8 การประเมินความต้องการ โปรตีนในอาหาร และในโคทดลองที่ได้รับพลังงานและโปรตีนในระดับต่างๆ	104

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.1 การคำนวณพลังงานในอาหารทดลองที่โคได้รับ โดยการใช้ปริมาณพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบอาหารสัตว์แต่ละชนิดในสูตรอาหารที่ได้รับจากการประเมินพลังงานโดยวิธีวัดปริมาณก๊าซ	114
5.2 การประเมินพลังงานในอาหารของโคทั้ง 4 กลุ่ม และความต้องการปริมาณวัตถุแห้งสำหรับการดำรงชีพและสำหรับการเจริญเติบโตของ โคที่ได้รับพลังงานและโปรตีนในระดับต่างๆ	116

สารบัญตาราง (ต่อ) ตารางภาคผนวก

ตารางผนวกที่	หน้า
1 ปริมาณหญ้าแห้งอุบลพาสพาลัม ข้าวโพด และกากถั่วเหลืองที่ให้โคทดลองเฉลี่ยในแต่ละวัน (กก.)	148
2 น้ำหนักเฉลี่ยตลอดการทดลอง อัตราการเจริญเติบโต และน้ำหนัก Metabolic ของโคทดลองที่ได้รับพลังงานและโปรตีนในระดับต่างๆ	149
3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการกินได้ของพลังงาน (TDN)	149
4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการกินได้ของโปรตีน (CP)	150
5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการกินได้วัตถุแห้งต่อน้ำหนักตัว(%BW)	150
6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการกินได้ของวัตถุแห้ง (DMI)	151
7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการใช้อาหาร(ADG/DMI, g/kg)	151
8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการใช้อาหาร (DMI/ADG, kg/kg)	152
9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการกินได้ของวัตถุแห้งต่อน้ำหนักตัว Metabolic	152
10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำหนักอดอาหาร (EBW) เมื่อเริ่มทดลอง	153
11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำหนักอดอาหาร (EBW) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง	153
12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการเจริญต่อวัน (น้ำหนักอดอาหาร, EWG)	154
13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำหนักไม่อดอาหาร (LW) เฉลี่ยตลอดการทดลอง	154
14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเจริญเติบโตต่อวัน (น้ำหนักไม่อดอาหาร,LWG)	155
15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำหนักอดอาหาร (EBW) เฉลี่ยตลอดการทดลอง	155

ภาพที่	สารบัญภาพ	หน้า
2.1	ทิศทางการหมักย่อยของคาร์โบไฮเดรตชนิดต่าง และผลผลิตที่เกิดขึ้นในขบวนการหมักในกระเพาะหมัก	43
2.2	ขบวนการเมทาบอลิซึมของไนโตรเจนในสัตว์เคี้ยวเอื้อง	51
2.3	ขั้นตอนการสูญเสียพลังงานและพลังงานประเภทต่างๆ	57
2.4	ทิศทางของไนโตรเจนจากอาหารในร่างกายและการใช้ในโตรเจนของร่างกาย	71
2.5	ทิศทางประสิทธิภาพการย่อยสลายและการนำไปใช้ของโปรตีนในโคสาว	75

บทที่ 1

บทนำ

การเลี้ยงโคนมในประเทศไทยได้เกิดขึ้นมานานกว่า 50 ปีแล้ว และได้มีการพัฒนาการเลี้ยงเรื่อย ๆ มา เป็นลำดับ จำนวนโคนมและผลผลิตน้ำนมดิบเพิ่มขึ้นทุก ๆ ปี (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2542) จนปัจจุบันมีโคนมจำนวน 2.8 แสนตัว และให้ผลผลิตนมรวมทั้งประเทศประมาณ 1.09 ล้านลิตร (กรมปศุสัตว์, 2542) โดยภาพรวมแล้วผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้นทุกปี แต่เมื่อพิจารณาคุณภาพผลผลิตน้ำนมต่อตัวของแม่โคนมถือว่าเพิ่มขึ้นน้อยมาก แสดงว่าประสิทธิภาพการผลิตของประเทศไทยค่อนข้างต่ำ เมื่อเทียบกับประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่น ญี่ปุ่น อเมริกา และประเทศในแถบยุโรป (ดำรง ลีลานุกัฏ, 2541) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะฐานการผลิตของไทยอยู่ที่เกษตรกรรายย่อย และผลผลิตของน้ำนมที่เพิ่มขึ้นนั้นเป็นเพราะการเพิ่มขึ้นของจำนวนแม่โค แต่อัตราการเพิ่มผลผลิตเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้นและไม่แตกต่างจากในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา ทั้งที่รัฐบาลใช้งบประมาณมากมายที่เกี่ยวข้องกับโครงการด้านการพัฒนาหรือ เพื่อเพิ่มผลผลิต แต่ประสิทธิภาพก็ยังต่ำอยู่ หรือพัฒนาได้ไม่เท่าที่ควร ทั้งๆ ที่ระดับพันธุกรรมที่มีอยู่ในตัวโคนมได้ผ่านการปรับปรุงผสมพันธุ์ด้วยน้ำเชื้อโคนมที่ดี ซึ่งมั่นใจได้ว่าการพัฒนาไม่ได้ด้อยไปกว่าประเทศอื่นเลย ดังนั้นปัญหาที่ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตต่ำจะเป็นการจัดการฟาร์มหรือการจัดการด้านอาหาร ปัจจุบันมีปัญหาด้านการจัดการให้อาหาร ตัวอาหาร และคุณภาพในแง่โภชนาการ เป็นผลให้โคนมให้ผลผลิตน้ำนมในระดับที่ต่ำกว่าศักยภาพของพันธุกรรม ซึ่งพิจารณาได้จากการชูปนมลงของโคนมหลังคลอด ทำให้ได้ผลผลิตน้อย และอาจส่งผลให้เกิดการเป็นสัดซ้ำออกไป หรือความสมบูรณ์พันธุ์ต่ำไปอีกด้วย ปัญหาเหล่านี้มักพบกับเกษตรกรรายย่อย ทำให้ดำเนินการขาดทุนได้

เนื่องจากการจัดการด้านอาหารทั้งในแง่ของปริมาณและคุณภาพเป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้โคนมให้ผลผลิตดี มีปัญหาด้านการสืบพันธุ์ และสุขภาพลดลง การจัดการด้านอาหารในโคนมสาวเพื่อให้ได้รับโภชนาการที่เพียงพอตามความต้องการ เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้การผลิตแม่โคนมที่มีคุณภาพดีในอนาคต อาหารที่เลี้ยงจะต้องมีโภชนาการต่างๆ เช่น พลังงาน โปรตีน แร่ธาตุ และวิตามิน ที่เพียงพอ ซึ่งโภชนาการหลักที่สำคัญและต้องการในปริมาณมากในโคนมสาวคือ พลังงานและโปรตีน ส่วนแร่ธาตุและวิตามินต้องการในปริมาณน้อยและสามารถเสริมในอาหารผสมสำเร็จรูปได้

ในอาหารสัตว์แต่ละชนิดมีคุณค่าทางพลังงานและโปรตีนแตกต่างกันและมีความผันแปรในอาหารชนิดเดียวกันค่อนข้างสูง ดังนั้นถ้าสามารถทราบคุณค่าทางโภชนาที่แท้จริงของอาหารสัตว์นี้ได้ การคำนวณการให้อาหารแก่โคนมสาวให้เพียงพอกับความต้องการก็สามารถทำได้และยังเป็นการช่วยลดต้นทุนในด้านอาหารอีกด้วย

ปัจจุบันนักวิชาการด้านอาหารสัตว์ในประเทศไทยจำเป็นต้องใช้ข้อมูลมาตรฐานการให้อาหารจากต่างประเทศ เช่น อเมริกา (National Research Council, NRC; 1988) และ สหราชอาณาจักร (Agricultural Research Council, ARC; 1980, 1984) โดยปกติแล้วสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกันมีผลต่อการเจริญเติบโตและการกินได้ของสัตว์ โดยเฉพาะในประเทศไทยซึ่งมีสภาพอากาศที่ร้อนจึงมักจะทำให้สัตว์เกิดความเครียดจากความร้อน และเป็นผลทำให้การกินได้ของสัตว์ลดลง ทำให้สัตว์ได้รับโภชนาต่ำกว่าปกติ และความต้องการพลังงานในการดำรงชีพในการปรับตัวกับสภาพอากาศร้อนก็จะต้องมากกว่าสภาพอากาศเย็น นอกจากนี้คุณค่าทางโภชนาของอาหารสัตว์จะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของพืชอาหารสัตว์นั้น ๆ สภาพภูมิอากาศ สภาพภูมิประเทศ สภาพการเจริญเติบโต และอื่นๆ ฉะนั้นอาหารสัตว์ที่ปลูกในประเทศไทยย่อมมีคุณค่าทางโภชนาแตกต่างจากอาหารสัตว์ที่ปลูกในเขตอื่นๆ ของโลก อาหารสัตว์ในเขตร้อนมักจะมีโปรตีนและการย่อยได้ของโปรตีนและพลังงานต่ำกว่าอาหารสัตว์ในเขตอบอุ่น (Minson, 1980) ดังนั้นการอ้างอิงข้อมูลทางโภชนาซึ่งส่วนใหญ่ได้จากการวิเคราะห์และรวบรวมในเขตอบอุ่น (ARC, 1980, 1984 และ NRC, 1988) มาใช้ในการคำนวณการให้อาหารแก่สัตว์ในประเทศไทย อาจเป็นเหตุให้สูตรอาหารนั้นไม่ตรงกับความต้องการที่แท้จริงของสัตว์ ซึ่งอาจเป็นผลให้สัตว์ให้ผลผลิตต่ำ หรือเกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจในส่วนที่เกินและสัตว์ไม่ได้ใช้ประโยชน์ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการทำวิจัยครั้งนี้ เพื่อศึกษาหาความต้องการพลังงานและโปรตีนในโคนมรุ่นสาวในประเทศไทย โดยจะนำค่าที่ได้นี้ไปใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับความต้องการ โภชนาของโคนมรุ่นสาวในประเทศไทยและใช้ประโยชน์ต่อไป

1.1 วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1 เพื่อหาความต้องการพลังงานในโคนมสาวลูกผสม
- 2 เพื่อหาความต้องการโปรตีนในโคนมสาวลูกผสม
- 3 เพื่อหาปฏิสัมพันธ์ (interaction) ระหว่างความต้องการพลังงานและโปรตีนในโคนมสาว

ลูกผสม

1.2 สมมติฐานของการวิจัย

1. โคนมสาวลูกผสมในประเทศไทยมีความต้องการพลังงานไม่เท่ากับค่าที่แนะนำโดย NRC (1988)
2. โคนมสาวลูกผสมในประเทศไทยมีความต้องการโปรตีนไม่เท่ากับค่าที่แนะนำโดย NRC (1988)

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบความต้องการพลังงานของโคนมสาวลูกผสม
2. ทราบความต้องการโปรตีนของโคนมสาวลูกผสม
3. ทราบปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบ พลังงานและโปรตีน
4. ทราบการกินได้วัตถุดิบต่อน้ำหนักตัว และ ประสิทธิภาพการใช้อาหารของโคนมสาว
5. ทราบปฏิสัมพันธ์ระหว่างระดับของพลังงานและโปรตีนต่อผลผลิตของโคนมสาว
6. ทราบโปรตีนที่ย่อยและไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมักของวัตถุดิบอาหารสัตว์ทดลอง
7. ทราบพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบอาหารสัตว์ทดลอง
8. ทราบผลตอบแทนต่อพลังงานและโปรตีนของโคนมสาวลูกผสม

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

ประเมินความต้องการพลังงานและโปรตีนในโคนมสาวลูกผสม โดยอาศัยการเปรียบเทียบกับคำแนะนำตาม NRC (1988) เพื่อให้ได้ค่าความต้องการพลังงานและโปรตีนที่เหมาะสมสำหรับโคนมสาวในประเทศไทยซึ่งส่วนใหญ่เป็นโคลูกผสม

1.5 คำสำคัญที่ใช้ในงานวิจัย

dairy heifers, energy requirement, total digestible nutrient, metabolisable energy, net energy, protein requirement, rumen degradable protein, rumen undegradable protein, absorbed protein, gas test, gas production, *in Situ* techniques, nylon bag techniques

บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การเลี้ยงโคนมเพื่อให้ได้ผลผลิตหรือผลตอบแทนสูงนั้นมีปัจจัยหลายอย่างที่เข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น ความต้องการสารอาหารของโคนม การกินได้ การย่อยได้ของอาหารในโคนม การทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก อาหารพลังงานและโปรตีน เป็นต้น

2.1 ความต้องการสารอาหารของโคนม

สารอาหารที่โคนมต้องการประกอบด้วย 5 ชนิด คือ พลังงาน โปรตีน วิตามิน แร่ธาตุ และน้ำ

2.1.1 พลังงาน

2.1.1.1 ความสำคัญของอาหารพลังงาน โคนมเป็นสัตว์ที่มีกระบวนการเผาผลาญอาหารในร่างกายที่สูงมาก เพราะจำเป็นต้องใช้สารอาหารในกระบวนการต่างๆ ที่สำคัญเช่น การผลิตน้ำนมและการตั้งท้อง ในกระบวนการย่อยและดูดซึมจำเป็นต้องใช้พลังงานที่สูงมากโดยเฉพาะในกระบวนการหมักของจุลินทรีย์ในกระเพาะที่มีบทบาทในการย่อยอาหารซึ่งจะไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ถ้าโคนมได้รับสารอาหารพลังงานไม่เพียงพอ

ลูกโคที่ได้รับพลังงานไม่เพียงพอจะมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต กล่าวคือลูกโคจะโตช้า น้ำหนักตัวน้อย ส่งผลให้ระยะเวลาที่จะโตเป็นโคสาวที่จะผสมได้ช้าออกไป (Mourits et al., 2000) เพราะน้ำหนักตัวจะมีผลโดยตรงต่อความเป็นหนุ่มเป็นสาว โดยถ้าหากมีอัตราการเจริญเติบโตสูงจะมีผลทำให้อายุที่สามารถให้ลูกตัวแรกของโคสาวต่ำลง (Van Amburgh et al., 1998b) ในโคที่กำลังให้นมการขาดพลังงานจะทำให้โคนมไม่สามารถแสดงศักยภาพในการผลิตน้ำนมได้อย่างเต็มที่ ปริมาณน้ำนมจะน้อยกว่าที่ควรจะได้ โคนมจะมีการสูญเสียน้ำหนักอย่างมากและถ้าปล่อยทิ้งไว้เป็นเวลานานจะส่งผลกระทบต่อวงจรการผลิตของโคนม โดยเฉพาะในเรื่องของระบบสืบพันธุ์

2.1.1.2 แหล่งของพลังงาน มีอยู่ 3 แหล่งแต่ที่สำคัญมีอยู่ 2 แหล่งคือ คาร์โบไฮเดรต และไขมัน คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของโคนม พบอยู่ในอาหารที่ใช้เลี้ยงโคนมตั้งแต่ 50 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ แหล่งของพลังงานสำหรับโคนมมีทั้งที่ได้มาจากอาหารหยาบและอาหารข้น โดยพลังงานส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของคาร์โบไฮเดรตทั้งที่เป็นโครงสร้าง (Structural carbohydrate) เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และส่วนที่ไม่เป็นโครงสร้าง (Non-structural carbohydrate) เช่น แป้ง และน้ำตาล อีกส่วนหนึ่งที่เป็นส่วนน้อยจะอยู่ในรูปของไขมันทั้งไขมันพืชและไขมันสัตว์

2.1.1.3 ผลของการขาดพลังงาน ในช่วงหลังคลอดใหม่ๆ เป็นจุดวิกฤตหนึ่งสำหรับเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนม เพราะช่วงนั้นโคนมจะกินอาหารได้น้อยกว่าความต้องการของมันอันเป็นผลมาจากความเครียดหลังคลอด ในขณะที่ความต้องการสารอาหารโดยเฉพาะพลังงานในช่วงนี้สูงมากกว่าปกติ 4 ถึง 5 เท่า เพราะต้องนำไปสร้างน้ำนม ดังนั้นในช่วงนี้โคนมส่วนใหญ่จะอยู่ในสภาพขาดพลังงาน ผลเสียที่เกิดจากการขาดพลังงานอย่างรุนแรงในช่วงนี้มีหลายประการคือ 1) โคนมจะสูญเสียความสามารถในการผลิตนม 2) ส่งผลเสียไปยังระบบสืบพันธุ์ เป็นสัดช้ากว่าปกติ เป็นสัดเจ็บ การตกไข่ช้ากว่าปกติ และพบถุงน้ำที่รังไข่ อัตราการผสมติดต่ำ 3) ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนในอาหารลดลง เพราะพลังงานมีความสำคัญต่อการนำโปรตีนมาใช้ โดยเฉพาะอาหารที่มีโปรตีนละลายได้ในกระเพาะหมักปริมาณสูง การขาดอาหารพลังงานจะทำให้โคนมไม่สามารถใช้ก๊าซแอมโมเนียที่เกิดขึ้นในกระบวนการย่อยสลายได้อย่างมีประสิทธิภาพ ก๊าซจะถูกดูดซึมเข้าไปในร่างกายและอาจก่อพิษขึ้นมาได้

2.1.1.4 การใช้ไขมันเป็นแหล่งพลังงาน เนื่องจากโคนมในปัจจุบันให้ผลผลิตสูง จึงมีความต้องการพลังงานสูงมาก โคนมมีขีดจำกัดในการกินอาหาร โดยเฉพาะเขตร้อน อุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้โคกินอาหารได้น้อยลง และไขมันจะสามารถให้พลังงานในระดับที่สูงกว่าคาร์โบไฮเดรต 2.25 เท่า แต่อย่างไรก็ตามการใช้ไขมันก็มีข้อจำกัดอยู่หลายอย่าง เช่น อาหารที่ใส่ไขมันมักจะมีโอกาสหืน (Rancidity) ง่าย ทำให้สารบางอย่างเช่นวิตามินเสื่อมได้ง่าย ทำให้อาหารเก็บได้ไม่นาน ไขมันสามารถรวมตัวกับแร่ธาตุแคลเซียมและแมกนีเซียมทำให้แร่ธาตุทั้งสองตัวไม่ถูกดูดซึม ประสิทธิภาพการย่อยอาหารหยาบลดลง เพราะไขมันจะไปจับตัวกับจุลินทรีย์หรือไปห่อหุ้มอาหารหยาบไว้ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเข้าไปย่อยได้ตามปกติ ดังนั้นจึงได้มีการปรับปรุงรูปแบบการใช้ไขมันให้อยู่ในรูปที่โคนมสามารถนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและไม่เกิดผลเสียต่อระบบการย่อยอาหาร ซึ่งเรียกกันว่าไขมันไหลผ่านหรือ ไขมันห่อหุ้ม (Protected fat, By-pass fat, Rumen inertness fat) โดยการนำเอาไขมันพืชหรือสัตว์ไปทำให้มีความคงตัวขึ้นโดยรวมตัวกับเกลือแคลเซียมหรือ เกลือโซเดียม ทำให้ไขมันอยู่ในรูปสารประกอบที่ไม่ถูกย่อยสลายหรือ ย่อยสลาย

โดยจุลินทรีย์ในปริมาณที่น้อยมากในกระเพาะหมัก และไปถูกย่อยสลายที่กระเพาะแท้ ทำให้โคนมสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ จากการใช้ไขมันไหลผ่านในระดับสูงกว่า 4 เปอร์เซ็นต์ พบว่า จะมีผลกระทบต่อการเพิ่มระดับของโปรตีนของจุลินทรีย์และป้องกันการลดประสิทธิภาพการย่อยของเยื่อใยในกระเพาะหมัก และเพิ่มระดับไขมันดูดซึม ทำให้เพิ่มผลผลิตน้ำนม (เมธา วรรณพัฒน์, 2538) ขณะที่ Grummer et al. (1995) พบว่าการเสริมไขมันในอาหารโคหลังคลอดจะมี น้ำหนักตัว และ Body condition score ดีขึ้นในช่วง 1-5 สัปดาห์หลังคลอดและเพิ่มผลผลิตน้ำนม 1.5 กก. ต่อวัน ในช่วง 7 สัปดาห์หลังคลอดในโคสาว แต่การใช้ก็ไม่ควรเกิน 8 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารทั้งหมด และการใช้ไขมันควรคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ คือ ใช้ในโคที่มีปัญหาในเรื่องการกินอาหาร เช่น ป่วย หลังคลอด หรือ โคนมที่ให้นมสูง คุณค่าของอาหารที่ใช้เลี้ยงต่ำ และต้องมีไขมันในสูตรอาหารไม่เกิน 8 เปอร์เซ็นต์ เพราะอาจเกิดปัญหาเกี่ยวกับเรื่องการกิน การเก็บรักษา และประสิทธิภาพการใช้อาหาร

2.1.2 โปรตีน

2.1.2.1 ความสำคัญของโปรตีน มีความสำคัญเป็นอันดับ 2 รองจากพลังงาน โปรตีนมีความสำคัญมากในโคนมที่กำลังเจริญเติบโตและกำลังให้นม โปรตีนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเอนไซม์ ฮอร์โมน น้ำเมือก ขน เล็บและเนื้อเยื่อต่างๆ โปรตีนมีส่วนสำคัญในระบบการซ่อมแซมส่วนต่างๆ ที่สึกหรอของร่างกาย ในลูกโคโปรตีนเป็นสารอาหารที่ทำให้ร่างกายเจริญเติบโตเป็นปกติ ถ้าได้รับไม่เพียงพอลูกโคจะแคระแกร็น อ่อนแอ ในแม่โคที่กำลังให้นมพบว่าระดับโปรตีนที่โคนมได้รับมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำนมที่โคผลิตได้ พบว่าการให้อาหารที่มีแหล่งของโปรตีนที่ไม่ละลายง่ายในกระเพาะหมักอยู่สูงจะทำให้ผลผลิตน้ำนมสูงขึ้น และลดอัตราการลดลงของผลผลิตน้ำนมในช่วงแรกของการให้นมในโคสาวที่ให้ลูกตัวแรก (Khorasani et al., 1996) ในโคที่อยู่ในช่วงผสมพันธุ์ถ้าโคได้รับโปรตีนในปริมาณที่สูงหรือต่ำเกินไปทำให้เกิดปัญหาต่อการผสมติดได้ ระบบภูมิคุ้มกันในร่างกายจะลดลงถ้าโคนมได้รับสารอาหารที่มีโปรตีนต่ำติดต่อกันเป็นเวลานาน (สมชาย จันทร์พ่องแสง, 2541)

2.1.2.2 แหล่งของอาหารโปรตีน โคนมจะได้รับโปรตีนจากอาหารที่กินเข้าไป และได้จากการสร้างของจุลินทรีย์ แหล่งอาหารที่ให้โปรตีนแบ่งออกเป็น 2 อย่าง คือ โปรตีนแท้ และ ในโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน

โปรตีนแท้ (True protein)

เป็นโปรตีนที่มีอยู่ในอาหารและถูกโคนมนำไปใช้ได้ทั้งในรูปของกรดอะมิโนหรือในรูปของก๊าซแอมโมเนียขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการย่อยสลาย ซึ่งแบ่งออกเป็นโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก โปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (Rumen degradable protein, RDP) หมายถึงโปรตีนในอาหารที่จะย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก ผลผลิตที่ได้คือ ก๊าซแอมโมเนีย และถูกจุลินทรีย์จับเอาไปสร้างเป็นโปรตีนของตัวมันเองขึ้นมา ทั้งนี้อาหารจะต้องมีพลังงานเพียงพอ จุลินทรีย์ที่เพิ่มประชากรขึ้นส่วนหนึ่งจะผ่านไปยังกระเพาะแท้และโคны่อยโดยน้ำย่อยจากตัวสัตว์ ได้เป็นโปรตีนที่มีคุณภาพและตัวสัตว์นำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในโคนมที่ให้นมไม่มากนักโปรตีนจากจุลินทรีย์จะเพียงพอสำหรับการสร้างน้ำนมได้ ส่วนโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (Rumen undegradable protein, RUP) หมายถึง โปรตีนที่สามารถคงตัวอยู่ได้ในกระเพาะหมักโดยไม่ถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ โปรตีนชนิดนี้พบได้ทั้งในโปรตีนจากสัตว์และโปรตีนจากพืช หรือเป็นโปรตีนที่ผ่านกระบวนการที่ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีเปลี่ยนไป เช่น กากถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการเอ็กทูด (Extruded soybean) กากถั่วเหลืองที่ผ่านความร้อนสูงถึง 140 องศาเซลเซียส เป็นต้น โปรตีนที่ผ่านกระบวนการเหล่านี้เรียกว่า โปรตีนห่อหุ้มหรือโปรตีนไหลผ่าน (Protected protein, Bypass protein) โปรตีนชนิดนี้มีความจำเป็นอย่างมาก สำหรับโคนมที่ให้ผลผลิตน้ำนมสูง โดยเฉพาะในช่วงอุณหภูมิสูงหรือช่วงฤดูร้อนซึ่งปริมาณการกินได้ลดลง และประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของอาหารลดลง ซึ่งจะมีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตและคุณภาพน้ำนม (เมธา วรรณพัฒน์, 2538)

สารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (Non-protein nitrogen, NPN)

เป็นสารประกอบที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบแต่ไม่ได้รวมตัวอยู่ในรูปของโปรตีน แต่จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักสามารถดึงเอาไนโตรเจนจากสารประกอบเหล่านี้ไปใช้สร้างโปรตีนได้ สารประกอบเหล่านี้ได้แก่ ยูเรีย เกลือแอมโมเนีย ก๊าซแอมโมเนีย เป็นต้น โดยเมื่อโคนมกินสารประกอบเหล่านี้เข้าไปแล้วเอนไซม์ที่สร้างจากจุลินทรีย์จะเข้าไปย่อยทำให้เกิดการแตกตัวออกเป็นก๊าซแอมโมเนียจากนั้นจุลินทรีย์จะเข้ามาจับเอาก๊าซแอมโมเนียไปสร้างเป็นกรดอะมิโนและรวมตัวเป็นโปรตีนของมันเองต่อไป

2.1.3 วิตามิน

วิตามินสามารถแบ่งออกได้ 2 ชนิดตามลักษณะการละลายในตัวทำละลายคือ วิตามินที่ละลายในไขมัน ได้แก่ วิตามิน เอ ดี อี เค และวิตามินที่ละลายได้ในน้ำ ได้แก่ วิตามินบี คอมเพล็กซ์ วิตามินซี (สมชาย จันทรพองแสง, 2541 ; NRC, 1988)

2.1.3.1 วิตามินที่ละลายในไขมัน (Fat soluble vitamin) สามารถละลายได้ในไขมัน และถ้าโคเลสเตอรอลได้รับมากเกินไป ก็สามารถเก็บสำรองไว้ในรูปของไขมัน

วิตามินเอ

ส่วนใหญ่จะพบในพืชสีเขียวในรูปของคาโรทีนอยด์ (Carotenoids) ซึ่งเป็นสารเริ่มต้นในการสร้างวิตามินเอ คาโรทีนอยด์ประกอบด้วยสารหลายชนิด เช่น เบต้าคาโรทีน แอลฟาคาโรทีน แกมมาคาโรทีน แต่ตัวที่สำคัญก็คือ เบต้าคาโรทีน ในกระบวนการสร้างวิตามินเอ 1 มิลลิกรัมของเบต้าคาโรทีน จะเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ 400 ไอู หน่วยที่สำคัญของวิตามินเอ คือ เป็นส่วนประกอบในการสร้างเยื่อในส่วนต่างๆ ของร่างกาย ทั้งในทางเดินหายใจ ทางเดินอาหาร ต่อม้ำลาย ต่อมปัสสาวะ ตับ และระบบสืบพันธุ์ ในสัตว์ที่ขาดวิตามินเอสัตว์จะมีความไวต่อการติดเชื้อทั้งในทางเดินหายใจและทางเดินอาหาร ในแม่โคนมที่ได้รับวิตามินเอไม่เพียงพอจะพบว่ามีปัญหาเกี่ยวกับระบบสืบพันธุ์ เช่น รกค้าง ลูกตายช่วงคลอด ในลูกโควิตามินเอจะมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตมาก ถ้าขาดการเจริญเติบโตจะชะงักและถ้าขาดมากจะทำให้มีปัญหาเกี่ยวกับตา เช่น น้ำตาไหล แก้วตาขุ่น และอาจถึงตาบอดได้

วิตามินดี

ในธรรมชาติจะพบอยู่ 2 รูปแบบคือ ดี 2 (Ergocalciferol) พบในอาหารหยาดที่ตากแห้ง และดี 3 (Cholecalciferol) จะพบในผลผลิตจากสัตว์ เช่น ปลาป่น นม วิตามินดีสามารถสร้างขึ้นได้จากผิวหนังของโคนมเมื่อผิวหนังของโคนมสัมผัสกับแสงแดด หน่วยสำคัญของวิตามินดีจะเกี่ยวข้องกับการดูดซึมแคลเซียมเข้าสู่ร่างกายเพื่อใช้ในการสร้างกระดูก ในลูกโคที่ขาดวิตามินดีจึงมักพบปัญหาของโรคกระดูกอ่อน (Rickets) ในแม่โควิตามินดีมีส่วนเกี่ยวข้องกับการดูดซึมของแร่ธาตุโดยเฉพาะแคลเซียมกับฟอสฟอรัส ในโคนมที่ได้รับวิตามินดีไม่เพียงพอการดูดซึมแคลเซียมและฟอสฟอรัสจะเกิดขึ้นน้อย ทำให้โคนมขาดแร่ธาตุทั้งสองแม้ว่าในอาหารจะมีแร่ธาตุทั้งสองอยู่อย่างเพียงพอ

วิตามินเค

พบได้ทั่วไปในใบพืชสีเขียว โคนมใช้วิตามินเคในการสร้างโปรตีนหลายชนิด โดยเฉพาะในน้ำเลือด (Plasma protein) ที่เกี่ยวกับการแข็งตัวของเลือด ถ้าขาดอาจทำให้เกิดปัญหา

ของการแข็งตัวของเลือด โดยปกติโคนมสามารถสร้างวิตามินชนิดนี้ได้จากจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักจึงไม่ค่อยพบปัญหาเรื่องการขาดวิตามินนี้

วิตามินอี

หน้าที่จะเกี่ยวข้องกับ Biological antioxidant จึงช่วยป้องกันไม่ให้เซลล์ต่างๆ ของร่างกายถูกทำลายได้ง่าย นอกจากนี้การเสริมวิตามินอีในระดับที่เหมาะสมจะกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกันของร่างกาย ในโคที่ขาดวิตามินอีอาจพบว่ากล้ามเนื้อบางส่วนลีบลงและทำให้เกิดโรค white muscle อาการที่สำคัญคือ โคจะเดินบิดไปมา อาจพบว่าส่วนของข้อเท้าและกีบเหยียดออก ในลูกโคที่ขาดวิตามินอีมากอาจทำให้กล้ามเนื้ออ่อนแอจนกระทั่งไม่สามารถเดินได้ นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับระบบสืบพันธุ์ โดยเฉพาะเมื่อใช้ร่วมกับธาตุซีลีเนียมสามารถช่วยให้การผสมติดดีขึ้น และลดปัญหาด้านสุขภาพของระบบสืบพันธุ์ เช่น รกค้าง มดลูกอักเสบหลังคลอด และโรคเต้านมอักเสบ เป็นต้น

2.1.3.2 วิตามินที่ละลายในน้ำ (Water soluble vitamin) ปกติโคนมสามารถผลิตวิตามินที่ละลายน้ำได้ โดยเฉพาะวิตามินกลุ่มบีคอมเพลกซ์ (B complex) เช่น ไทอามิน ไรโบฟลาวิน ไนอาซิน โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักของโคที่เจริญเติบโตเต็มที่จะมีความสามารถสังเคราะห์วิตามินเหล่านี้ได้เพียงพอ

ไทอามิน (Thiamin, B₁)

หน้าที่วิตามินไทอามินเกี่ยวข้องกับระบบประสาทส่วนกลาง ในลูกโคที่ขาดจะป่วยเป็นโรค Polioencephalomalacia ซึ่งพบว่าสมองบางส่วนจะถูกทำลาย ทำให้สัตว์เคลื่อนไหวผิดปกติ ตาบอด ชักและตาย ในโคนมที่กินอาหารขึ้นในปริมาณสูงจะพบว่ามีโอกาสขาดไทอามิน เนื่องจากจุลินทรีย์จะสร้างเอนไซม์ไทอามิเนส (Thiaminase) มากขึ้น ทำให้ย่อยสลายไทอามินที่ผลิตได้ในกระเพาะหมัก และถ้าอาหารขาดไนโตรเจน (โปรตีนต่ำ) โคนมจะสร้างไทอามินได้น้อย

ไรโบฟลาวิน (Riboflavin B₂)

ในสภาพปกติจะขาดน้อยมาก แต่ถ้าขาดจะพบว่าลูกโคมีอาการน้ำตาลไหล น้ำลายไหล พบแผลที่ปากและลิ้น

ไนอาซิน หรือกรดนิโคตินิก (Niacin, Nicotinic acid)

ในลูกโคจะมีความต้องการสูงมาก สำหรับในโคนมที่โตเต็มที่แล้วจะสามารถสร้างได้โดยจุลินทรีย์ แต่พบว่าในโคนมที่ให้นมสูงอาจขาดได้ หน้าที่ของไนอาซินคือ ลดการดึงไขมันออกจากร่างกายมาใช้ของโคนม ผลคือ ลดการสร้างสารคีโตน (Ketone bodies) ทำให้ลดปัญหาการเกิดคีโตซิสได้

วิตามินบี 12 (Cyanocobalamin)

ในโคที่โตเต็มที่แล้ววิตามินบี 12 จะเกี่ยวกับกระบวนการเมแทบอลิซึมของ กรด โพรพิโอนิก ส่วนในลูกโคที่ขาดจะมีอาการกล้ามเนื้ออ่อนแอ กินอาหารลดลง การเจริญเติบโตช้า จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักจะสร้างวิตามินบี 12 ได้ต้องอาศัยธาตุโคบอลต์ ถ้าขาดโคบอลต์การสร้างวิตามินชนิดนี้จะหยุดชะงัก

วิตามินละลายน้ำตัวอื่นๆ

ได้แก่ ไบโอติน (Biotin) กรดแพนโททีนิก (Pantothenic acid) กรดโฟลิก (Folic acid) ไพริดอกซิน (Pyridoxine) วิตามินเหล่านี้อาจขาดได้ในลูกโคที่กระเพาะหมักยังไม่พัฒนาเต็มที่

2.1.4 แร่ธาตุ (Mineral)

แร่ธาตุแบ่งออกเป็น 2 ชนิดตามปริมาณที่โคต้องการ คือ แร่ธาตุหลัก และแร่ธาตุรอง (สมชาย จันทรผ่องแสง, 2541 ; NRC, 1988)

2.1.4.1 แร่ธาตุหลัก (Macromineral) คือ แร่ธาตุที่ร่างกายต้องการมากและพบในปริมาณมากในเนื้อเยื่อต่างๆ ของร่างกาย แร่ธาตุกลุ่มนี้ได้แก่ แคลเซียม ฟอสฟอรัส โซเดียม โพแทสเซียม คลอไรด์ แมกนีเซียม และซัลเฟอร์

แคลเซียม (Calcium)

เป็นแร่ธาตุที่พบมากโดยประมาณ 98 เปอร์เซ็นต์พบในกระดูกและฟัน และมีความสำคัญมากในโคทุกอายุ โดยเฉพาะในช่วงที่เจริญเติบโตและให้นม ในนมแคลเซียมเป็นแร่ธาตุที่พบมากที่สุด คือประมาณ 1.2 กรัมในน้ำนม 1 กิโลกรัม ดังนั้นในโคที่กำลังให้นมขาดแคลเซียมไม่ได้เลย แคลเซียมเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของกระดูกและฟัน มีส่วนสำคัญในระบบการทำงานของประสาทและกล้ามเนื้อ โดยเป็นตัวถ่ายทอดคำสั่งไปยังอวัยวะต่างๆ และควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อลาย และกล้ามเนื้อเรียบ ช่วยทำให้เลือดแข็งตัว และเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเอนไซม์

ฟอสฟอรัส (Phosphorus)

เป็นแร่ธาตุที่สำคัญรองมาจากแคลเซียม โดยประมาณ 86 เปอร์เซ็นต์พบที่กระดูกและฟัน มีหน้าที่สำคัญเกี่ยวกับกระบวนการเผาผลาญอาหารของร่างกาย ปรับสภาวะเป็นกรด-ด่างในร่างกาย เป็นองค์ประกอบของนิวคลีโอโปรตีน (Nucleoprotein) จึงมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อ ถ้าขาดฟอสฟอรัสลูกโคจะโตช้า

โซเดียม (Sodium)

หน้าที่ จะเกี่ยวข้องกับกระบวนการควบคุมการเคลื่อนที่เข้าและออกจากเซลล์ของเหลวต่างๆ รักษาสมดุลของเหลวในร่างกาย สมดุลกรด-ด่าง ขนถ่ายและควบคุมกลูโคสและกรดอะมิโนเข้าออกเซลล์ และช่วยในการทำงานของประสาท โดยทั่วไปในวัตถุดิบอาหารและพืชอาหารสัตว์จะมีโซเดียมน้อยมาก โคนมถ้าขาดเป็นเวลานานจะแสดงอาการป่วย เช่น กินอาหารลดลง ขนหยาบ เดินเซ และในโคนมที่ได้รับโซเดียมมากเกินไป ก็จะมีปัญหาของการบวมน้ำของเต้านมและโคนมกินอาหารลดลง

คลอรีน (Chlorine)

โคนมจะได้รับร่วมกับโซเดียม ในรูปของโซเดียมคลอไรด์ มีหน้าที่บางอย่างคล้ายกับโซเดียม เช่น การควบคุมความเป็นกรด-ด่าง ของร่างกาย นอกจากนี้ยังเป็นส่วนประกอบสำคัญของกรดเกลือในน้ำย่อย ถ้าร่างกายได้รับมากโดยไม่มีโซเดียมด้วย จะทำให้สภาพภายในร่างกายของโคนมเป็นกรดได้

โพแทสเซียม (Potassium)

หน้าที่ สำคัญมีหลายอย่างเช่น ควบคุมการเป็นกรด-ด่างในร่างกาย ควบคุมความสมดุลของน้ำในร่างกาย การหดตัวของกล้ามเนื้อ ขนถ่ายออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์เข้าและออกเซลล์ โคนมจะสูญเสียโพแทสเซียมทางเหงื่อ ถ้าอากาศร้อนโคจะต้องการมากขึ้น ถ้าได้รับมากเกินไปจะทำให้การดูดซึมของแมกนีเซียมมีปัญหา ถ้าได้รับน้อยไปจะทำให้โคนมกินอาหารลดลง น้ำหนักลดลง นมลดลง ขนหยาบ

แมกนีเซียม (Magnesium)

หน้าที่ สำคัญเกี่ยวกับการทำงานของระบบประสาท กล้ามเนื้อและเอ็นไซม์หลายชนิด อาหารที่มีแมกนีเซียมต่ำจะทำให้การย่อยได้ต่ำ การขาดแมกนีเซียมในโคนมมีความสัมพันธ์กับปริมาณโพแทสเซียมในอาหารที่สูงเกินไป การขาดในลูกโคพบในกรณีที่ได้รับแต่อาหารประเภทนมเป็นเวลานานติดต่อกัน ลูกโคจะมีอาการเบื่ออาหาร มีเลือดคลั่งตามตัว มีการตื่นกลัว อาจชักและตายได้ ในโคโตจะพบอาการที่เรียกว่า Grass tetany โคจะชักและตายซึ่งเกิดจากการกินหญ้าที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมสูง ซึ่งธาตุทั้งสอง ชนิดนี้จะลดการดูดซึมแมกนีเซียม

กำมะถัน (Sulfur)

เป็นองค์ประกอบของโปรตีน คือ กรดอะมิโนเมไทโอนีน และซิสตีน และวิตามินบีคอมเพล็กซ์ เช่น บี1 ไบโอติน การขาดกำมะถันจะทำให้จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักไม่สามารถจับไนโตรเจนไปสร้างกรดอะมิโนที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบดังกล่าวมาแล้วได้

2.1.4.2 แร่ธาตุรอง (Micromineral หรือ Trace mineral) คือแร่ธาตุที่โคจําเป็นใช้ในปริมาณน้อยและพบในปริมาณต่ำในเนื้อเยื่อของร่างกาย แร่ธาตุในกลุ่มนี้ได้แก่ โคบอลต์ ทองแดง ไอโอดีน เหล็ก แมงกานีส โมลิบดีนัม ซีลีเนียม และสังกะสี

โคบอลต์ (Cobalt)

เกี่ยวข้องกับการสร้างวิตามินบี 12 ถ้าขาดธาตุนี้โคนมจะมีอาการโลหิตจาง ความอยากอาหารลดลง การเจริญเติบโตน้อยลงและนมลด ร่างกายจะเก็บโคบอลต์ไว้ในรูปของวิตามินบี 12 เก็บสะสมไว้ที่ตับ ดังนั้นการขาดโคบอลต์ในช่วงสั้นๆ จะไม่มีปัญหา

ซีลีเนียม (Selenium)

เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเอนไซม์ Glutathione peroxidase มีคุณสมบัติคล้ายวิตามินอี คือช่วยป้องกันการทำลายเซลล์ต่างๆ และมีผลคล้ายกันกับวิตามินอี การขาดซีลีเนียมจะทำให้เกิดโรค White muscle โคนมทั่วไปมักจะประสบปัญหานี้เนื่องจากดินส่วนใหญ่จะไม่ค่อยมีธาตุนี้ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องเสริมให้แก่โคทุกอายุ อาจในรูปกรอกปาก ฉีด เติมนลงไปในอาหารหรือเสริมลงไปในแปลงหญ้าร่วมกับการใช้ปุ๋ย

ทองแดง (Copper)

เกี่ยวข้องกับการเผาผลาญอาหารในร่างกาย ถ้าขาดจะพบปัญหาเกี่ยวกับหลายระบบของร่างกาย เช่น มีอาการท้องเสีย การเจริญเติบโตลด ขนหยาบ สีขนจาง กระดูกบาง หักง่าย ไม่กลับสัด คลอดยาก โลหิตจาง เป็นต้น ปกติตับจะทำหน้าที่สะสมทองแดงไว้ให้ร่างกายใช้ การขาดทองแดง อาจพบได้กรณีโคนมได้รับแร่โมลิบดีนัมในปริมาณมากเกินไป หรือการให้ซัลเฟอร์ในระดับสูง เนื่องจากจะมีการจับกันของทองแดงและซัลเฟอร์เกิดเป็นทองแดงซัลไฟด์ซึ่งไม่ละลายน้ำ จึงไม่สามารถดูดซึมได้

โมลิบดีนัม (Molybdenum)

พบอยู่ในเอนไซม์แซนทีนออกซิเดส (Xanthine oxidase) ความต้องการน้อยมาก ไม่ค่อยพบว่าขาดแต่ักพบได้รับมากเกินไป ซึ่งมีผลให้การดูดซึมทองแดงลดลง อาการเป็นพิษของโมลิบดีนัมคล้ายกับการขาดทองแดง และถ้าได้รับในระดับสูงติดต่อกันนานเกินไป จะทำให้กระบวนการนำฟอสฟอรัสไปใช้เกิดปัญหา อาจทำให้สัตว์มีอาการเกี่ยวกับขาเจ็บ ความผิดปกติของข้อต่างๆ และกระดูกพรุน

แมงกานีส (Manganese)

เกี่ยวข้องกับการทำงานของเอนไซม์ เช่น ไฮโดรเลส ไคเนส และทรานสเฟอเรส จะเก็บสะสมที่ ตับ ไต ตับอ่อน และต่อมใต้สมอง ความต้องการน้อยมากจึงไม่ค่อยพบว่าขาด

ไอโอดีน (Iodine)

มีหน้าที่ควบคุมการทำงานของต่อมธัยรอยด์ ในน้ำนมจะมีประมาณ 20 ไมโครกรัมต่อลิตร ถ้าต่ำกว่านี้แสดงว่าขาดไอโอดีน ถ้าขาดสัตว์จะแสดงอาการของต่อมธัยรอยด์บวมโต ถ้าได้รับมากเกินไป จะแสดงอาการน้ำตาไหลตลอดเวลา น้ำลายและ น้ำมูกไหล การขาดอาจเกิดจากการที่โคได้รับซัลเฟอร์สูงไป ทำให้เกิดการรวมตัวเป็นไฮโอซัยนาเนต ในกระเพาะหมัก สารตัวนี้จะจับกับไอโอดีนทำให้ลดการดูดซึมของไอโอดีน

สังกะสี (Zinc)

มีหน้าที่เกี่ยวกับเอนไซม์หลายชนิด จึงมีบทบาทมากในร่างกาย เช่น การสร้างโปรตีน กระบวนการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต การได้รับแคลเซียมสูง จะลดการดูดซึมของสังกะสี ในโคที่ขาดจะมีปัญหาเกี่ยวกับเรื่องของผิวหนัง ลูกโคจะกินอาหารลดลง โตช้า

เหล็ก (Iron)

เป็นส่วนประกอบของเม็ดเลือดแดง หน้าที่สำคัญคือ เป็นตัวนำก๊าซออกซิเจนเข้าไปในเซลล์ ในลูกโคที่กินนมเพียงอย่างเดียวอาจขาดธาตุเหล็กได้ ถ้าขาดพบว่า อัตราการเจริญเติบโตจะน้อย แต่สัตว์โตจะไม่ขาดเพราะมีในอาหารสูง

2.1.5 น้ำ (Water)

2.1.5.1 ความสำคัญของน้ำ

น้ำเป็นโภชนะที่มีราคาถูก แต่มีความสำคัญมาก โคนมจะต้องการน้ำในปริมาณที่สูงกว่าโภชนะอื่นๆ และจำเป็นต้องได้รับน้ำในปริมาณที่เพียงพอ ไม่เช่นนั้นแล้วจะมีผลเสียต่อสุขภาพ การเจริญเติบโต และการให้ผลผลิต สัตว์ที่ขาดน้ำจะตายเร็วกว่าการขาดโภชนะอื่นๆ กล่าวคือ ถ้าร่างกายสูญเสียไขมันไปทั้งหมดหรือสูญเสียโปรตีนไปกว่าครึ่งหนึ่งของที่มีในร่างกาย สัตว์จะยังมีชีวิตอยู่ได้ แต่ถ้าต้องสูญเสียน้ำไปเพียง 10 เปอร์เซ็นต์ ของที่ร่างกายมีอยู่โคนมจะเริ่มป่วย และถ้าสูญเสียถึง 20 เปอร์เซ็นต์โคนมจะตาย น้ำในร่างกายสัตว์มีประมาณ 70 - 90 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว และปริมาณผันแปรไปตาม อายุ สภาพของสัตว์ และปริมาณในเนื้อเยื่อ ความต้องการน้ำของโคนมขึ้นอยู่กับอาหาร เช่น องค์ประกอบของอาหาร ลักษณะอาหาร สิ่งแวดล้อม เช่น ความชื้น อุณหภูมิ และตัวสัตว์ เช่น อายุ พื้นที่ผิว สภาพร่างกาย ระยะการเจริญเติบโต อุ่มท้อง และให้นม โดยเฉพาะอุณหภูมิ ถ้าสิ่งแวดล้อมมีอุณหภูมิสูงขึ้นจาก 17 เป็น 33 องศาเซลเซียส จะทำให้โคนมต้องการน้ำมากขึ้น จาก 27.55 ลิตร เป็น 45.54 ลิตรต่อวัน (Bernabucci et al., 1999)

2.1.5.2 แหล่งของน้ำ

สัตว์ได้รับน้ำ 3 ทาง (บุญล้อม ชีวะอิสระกุล, 2541 ; NRC, 1988) คือ การดื่มน้ำโดยตรง น้ำที่มีในอาหาร และน้ำที่เกิดจากกระบวนการทางชีวเคมีในร่างกาย (Metabolic water) ซึ่งได้แก่ จากการเผาผลาญโภชนาอินทรีย์ น้ำที่ถูกปล่อยออกมาเมื่อโมเลกุลของสารรวมตัวกันเข้าเป็นโมเลกุลใหญ่ เช่น กรดอะมิโนเป็นเปปไทด์ หรือน้ำตาลเป็นแป้ง เป็นต้น และน้ำที่เกิดจากการเผาผลาญเนื้อเยื่อของร่างกาย เช่น ไขมันและโปรตีน ยามที่สัตว์ขาดพลังงาน

2.1.5.3 น้ำที่ของน้ำต่อร่างกาย

น้ำทำหน้าที่รักษาอุณหภูมิของร่างกายให้คงที่ ทำให้อาหารอ่อนนุ่มกลืนได้สะดวก และช่วยให้อาหารย่อยง่ายขึ้น น้ำเป็นตัวทำละลายและตัวพาโภชนาไปยังส่วนต่างๆ ของร่างกาย เป็นตัวกลางให้เกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ในร่างกาย ช่วยในการขับของเสียในร่างกาย เป็นของเหลวแวดล้อมสำหรับการพัฒนาของตัวอ่อนในรก เป็นส่วนประกอบของเซลล์ น้ำเหลือง น้ำย่อย เลือด และของเหลวอื่นๆ ทุกชนิดในร่างกาย เป็นองค์ประกอบของน้ำในไขข้อ ช่วยในการหล่อลื่น เป็นองค์ประกอบของน้ำในสมอง และไขสันหลัง ช่วยกันกระเทือนของระบบประสาทเป็นองค์ประกอบของน้ำในช่องหู ช่วยในการได้ยิน เป็นองค์ประกอบของน้ำในลูกตาและกระบอกตา ช่วยในการมองเห็นและหล่อลื่นลูกตา ช่วยให้เซลล์ของปอดชุ่มชื้น ช่วยแลกเปลี่ยนก๊าซเพื่อการหายใจ และช่วยให้ปฏิกิริยาของกล้ามเนื้อทำงานได้

2.2 การควบคุมการกินอาหาร (Regulation of feed intake) ของโคนม

ในโคนมมีระบบประสาทที่ควบคุมการกินอาหาร (Nervous system regulating feed intake) โดยสมองส่วน Hypothalamus ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางเพื่อควบคุมการกินอาหาร โดยมีส่วนที่รับผิดชอบแตกต่างกันแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

1. Ventro-medial area (VMA) ส่วนนี้จะทำหน้าที่ควบคุมเกี่ยวกับความอิ่ม (Satiety) ถ้า VMA ได้รับความกระทบกระเทือนหรือเป็นแผล จะทำให้เกิดอาการที่เรียกว่าสัตว์จะกินอาหารไม่หยุด (Hyperphagia) แต่ถ้ามีการกระตุ้นด้วยไฟฟ้า (Electrical stimulation) ในส่วน VMA จะทำให้สัตว์หยุดกินอาหาร (Cessation of eating)

2. Lateral area (LA) ส่วนนี้มีหน้าที่ควบคุมความอยากกินอาหารหรือความหิว (Hunger, Feeding, Appetite area) ถ้าส่วนนี้เกิดผิดปกติหรือเป็นแผล จะเกิดอาการ Aphagia (สัตว์ไม่กินอาหาร, Lack of appetite) และเกิด Adipsia (ไม่กระหายน้ำ, Lack of thirst) ถ้ามีการกระตุ้นด้วยไฟฟ้าอาการที่ผิดปกติก็จะหายไป

การกินได้อย่างอิสระ (Voluntary food intake, VFI) ของโคนมจะถูกควบคุมด้วยหลายปัจจัย ซึ่งสามารถแบ่งเป็นข้อได้ 6 ปัจจัย คือ

1. ปัจจัยด้านการย่อยและการดูดซึมโภชนา (Metabolic Factors)
2. ปัจจัยด้านกายภาพ (Physical Factor)
3. ปัจจัยด้านตัวสัตว์เอง (Animal Factor)
4. ปัจจัยด้านพฤติกรรมของสัตว์ (Behavioral Factor)
5. ปัจจัยที่เกี่ยวกับอาหารและการจัดการ
6. ปัจจัยด้านอุณหภูมิและสภาพแวดล้อม

2.2.1 ปัจจัยด้านการย่อยและการดูดซึมโภชนา (Metabolic Factors)

การควบคุมการกินอาหารสามารถพิจารณาได้จากการที่สัตว์พยายามที่จะปรับความสมดุลของพลังงานภายในร่างกายให้สอดคล้องกับสภาพแวดล้อม หรือสัตว์พยายามที่จะรักษาความสมดุลของพลังงานภายในร่างกายโดยการปรับเปลี่ยนปริมาณการกินอาหารในรูปพลังงาน เป็นสัดส่วนกับความต้องการพลังงานของตัวเอง รวมทั้งพยายามปรับให้เข้ากับสภาพทางสรีรวิทยาของสัตว์ ในระยะนั้นๆ เช่น อายุ ขนาด น้ำหนัก การตั้งท้อง การให้ผลผลิตของสัตว์ และพยายามปรับเข้ากับสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิของอากาศในขณะนั้น

สรีรวิทยาการควบคุมการกินอาหารเริ่มจาก End products ของการย่อยและ Metabolism จะเป็นตัวกระตุ้นระบบประสาทรับรู้ที่อยู่ที่ตาม Gastrointestinal Tract, Hepatic Portal System, Adipose Tissue และ/หรือ Peripheral และ Cerebrospinal Fluid (วิศิษฐ์พร สุขสมบัติ, 2538) เมื่อส่วนต่าง ๆ เหล่านี้รับรู้สภาพทางโภชนา ก็จะส่งสัญญาณกลับไปยังระบบประสาทรับรู้ที่สมอง สมองจะสั่งการการควบคุมการกินอาหาร คือ ให้สัตว์กินอาหารหรือหยุดกินอาหาร

สารพวก End products ที่ได้จากการย่อยพลังงานในอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้องส่วนใหญ่จะเป็น Volatile fatty acid (VFAs) ซึ่ง VFAs เหล่านี้จะเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการควบคุมการกินอาหาร VFAs ที่มีบทบาทสำคัญได้แก่ กรดโพรพิโอนิก และ กรดอะซิติก ถ้ามีกรดสองตัวนี้มากในกระเพาะจะทำให้สัตว์หยุดกินอาหาร เพราะกรดทั้งสองจะเป็นตัวทำให้เกิดการส่งสัญญาณความอิ่มในสัตว์เคี้ยวเอื้อง ซึ่งความเข้มข้นของ VFAs จะขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารที่กิน กรดอะซิติกจะมีผลในสัตว์ที่กินอาหารหยาบมากกว่าในสัตว์ที่กินอาหารข้น ทั้งนี้เพราะการใช้อาหารหยาบจะมีการผลิตกรด อะซิติกมาก และส่วนที่เพิ่มขึ้น จะมีผลยับยั้งต่อปริมาณการกินอาหารของสัตว์ ส่วนความรุนแรงในการยับยั้งการกินได้ของ VFA แต่ละตัวเรียงตามความมากไปหาน้อยได้ดังนี้ $C_2 > C_3 > C_4$

ส่วนกรดอินทรีย์ตัวอื่นๆ เช่น กรดแลกติก กรดซิตริก กรดวาลาริก และกรดฟอร์มิก ไม่มีผลกระทบต่อปริมาณการกินอาหารอาจเป็นเพราะมีปริมาณน้อยมาก ในขบวนการหมักในกระเพาะหมัก

สภาพความเป็นกรดเป็นด่างในกระเพาะส่วน Reticulo-rumen ก็มีผลต่อการส่งสัญญาณการควบคุมการกินอาหารเช่นเดียวกัน ถ้า pH ใน Reticulo-rumen ลดลง จะมีผลทำให้สัตว์หยุดกินอาหาร เพราะถ้า pH ต่ำมากๆ จะทำให้กระเพาะหมักหยุดบีบตัว และหยุดการเคลื่อนที่ แต่ระดับ pH ในกระเพาะหมักจะเป็นตัวกำหนดการกินอาหารเฉพาะในระยะสั้น ๆ เพราะระดับ pH มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ขึ้นอยู่กับอาหารที่กิน

สาร Metabolites ต่าง ๆ ในกระแสเลือดที่พบว่ามีผลต่อการควบคุมการกินได้ เช่น Glucose, Glycerol, Lipoproteins, Free fatty acids รวมทั้งฮอร์โมนชนิดต่าง ๆ (Forbes, 1986) สารเหล่านี้จะส่งสัญญาณไปที่ระบบประสาท เกิดการเปลี่ยนแปลงการหลั่งของฮอร์โมน ซึ่งจะมีผลควบคุม Metabolism ต่างๆ จากการใช้กลูโคสชนิดเข้าไปที่ส่วน Duodenal ของโคนม พบว่าทำให้การกินได้ลดลง เมื่อระดับของ กลูโคสในกระแสเลือดสูงขึ้น (Hurtaud et al., 2000)

ฮอร์โมน Insulin ทำให้การกินได้อยู่ในระดับปกติเพราะควบคุมระดับของกลูโคสในกระแสเลือด และ Growth hormone พบว่ามีบทบาทบางส่วน แต่ฮอร์โมนที่มีลักษณะสูตรโครงสร้างเป็น Steroid อาจมีบทบาทมากที่สุดในการควบคุม ฮอร์โมนที่สำคัญมีดังนี้

- ฮอร์โมน Diethyl stilbestrol (DES) สามารถทำให้สัตว์กินอาหารได้เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะผลจากการเก็บกักไนโตรเจน (Nitrogen retention) และขบวนการสร้าง (Anabolic activity) ภายในร่างกายของสัตว์เพิ่มขึ้น
- ฮอร์โมน Progesterone ฮอร์โมนนี้มีความเข้มข้นสูงมากในช่วงที่สัตว์กำลังตั้งท้องพบว่าอาจมีผลต่อการเพิ่มปริมาณการกินอาหาร เพราะสัตว์ที่ตั้งท้องมีแนวโน้มในการสะสมไขมัน
- ฮอร์โมน Estrogen ทำให้การกินได้ลดลงและมีส่วนที่ทำให้การสะสมไขมันลดลง ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องจากสัตว์มีกิจกรรมเพิ่มขึ้น และผลจากความเครียดที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเกิด Estrus
- ฮอร์โมน Prostaglandins ทำให้สัตว์กินอาหารได้น้อยลง
- ฮอร์โมน Glucocorticoids ซึ่งมีผลทำให้การใช้ประโยชน์จากคาร์โบไฮเดรตได้สูงขึ้น ซึ่งจะทำให้สัตว์กินอาหารได้เพิ่มขึ้น

แต่อย่างไรก็ตามในสัตว์เคี้ยวเอื้อง Metabolites และสารต่างในกระแสเลือด เหล่านี้มีผลน้อยกว่าปัจจัยด้านสรีรวิทยาของตัวสัตว์เอง (Forbes, 1986) เพราะสารต่างๆ จากการ Metabolism ไม่ได้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในทางเดินอาหาร มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา และเกิดในระยะเวลาดังนั้น

2.2.2 ปัจจัยด้านกายภาพ (Physical Factor)

สัตว์เคี้ยวเอื้องที่ได้รับอาหารหยาบ เป็นอาหารหลัก VFI จะถูกจำกัดโดยความจุของกระเพาะ ทั้งนี้สังเกตได้จากสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ได้รับอาหารที่มีเยื่อใยอยู่สูง จะหยุดกินอาหารก่อนที่จะรับพลังงานเพียงพอตามความต้องการ ปัจจัยทางกายภาพนี้จะเกี่ยวข้องกับความสามารถในการขยายตัว (Distention) ของ Reticulo-rumen และการไหลผ่านของ Digesta ออกจาก Reticulo-rumen (วิศิษฐ์พร สุขสมบัติ, 2538)

2.2.2.1. การขยายตัวของ Reticulo- rumen

ความจุของกระเพาะเป็นปัจจัยตัวแรกที่มีบทบาทต่อการกินอาหารของสัตว์ โดยเฉพาะอาหารหยาบที่มีคุณค่าต่ำ ถ้ามีการขนถ่ายเอา Ingesta ออกจากกระเพาะหมักจะทำให้ช่วงการกินอาหารของสัตว์ตัวนั้นนานออกไป แต่ถ้ามีการใส่ Ingesta ลงไปในกระเพาะหมักจะทำให้ช่วงการกินอาหารสั้นลง ความจุของกระเพาะจะถูกควบคุมโดยความฟุ้งของอาหาร (Bulkiness), ขบวนการหมัก และอัตราการไหลผ่าน เป็นต้น

สัตว์เคี้ยวเอื้องที่ได้รับอาหารหยาบเป็นหลักจะกินอาหารได้จำนวนหนึ่งซึ่งค่อนข้างคงที่ตามความจุของกระเพาะ เมื่อสัตว์กินอาหารหยาบเข้าไประดับหนึ่งจนกระเพาะไม่สามารถที่จะขยายตัวรับอาหารเข้าไปได้อีก สัตว์จะหยุดกินอาหาร ซึ่งการขยายตัวของกระเพาะจะถูกกำหนดโดยความจุของช่องท้อง (Abdominal cavity) เช่น กรณีของแม่โคท้อง การเจริญเติบโตของตัวอ่อนจะกินเนื้อที่ภายในช่องท้อง ทำให้ความจุของช่องท้องลดลง เป็นเหตุให้จำกัดการกินอาหาร และในกรณีสัตว์อ้วน การสะสมไขมันในช่องท้อง ก็ทำให้ความจุของช่องท้องลดลง

สรีรวิทยาการควบคุมให้สัตว์หยุดกินอาหารเมื่อกระเพาะขยายตัวเต็มที่ เกิดจากที่ผนังกระเพาะมีประสาทรับรู้ถึงการขยายตัวของกระเพาะหมัก กลไกที่เกี่ยวข้องอาจเป็นเพราะสัตว์เกิดความอึดอัด ทำให้กระตุ้นให้เกิดการควบคุมให้สัตว์หยุดกิน

2.2.2.2. อัตราการไหลผ่านของ Digesta จาก Reticulo- rumen

อัตราการไหลผ่านของ Digesta จาก Reticulo-rumen ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ส่วนประกอบทางเคมีของอาหาร ถ้าอาหารมีส่วนที่ย่อยได้ง่ายในปริมาณสูง Digesta ก็จะไหลผ่านได้เร็วและถ้าอาหารประกอบด้วยสารเยื่อใยมากซึ่งย่อยได้ยาก Digesta ก็จะไหลผ่าน Reticulo-rumen ได้ช้า อัตราการย่อยสลายทางกายภาพ (การเคี้ยวและการเคี้ยวเอื้อง) และทางเคมี (Microbial and Enzymatic digestion) ความสามารถในการบีบรัดกล้ามเนื้อของกระเพาะและขนาดของ Reticulo-omasal orifice ถ้ากล้ามเนื้อของกระเพาะบีบรัดรุนแรงและบ่อยครั้ง Digesta ก็จะถูกผลักดันให้ผ่าน Reticulo-omasal orifice ได้มาก

การที่อาหารถูกเก็บกักอยู่ใน Reticulo-rumen จะทำให้โอกาสในการหมักของอาหารโดยจุลินทรีย์มีมากขึ้น โดยทั่ว ๆ ไป ร้อยละ 60 ของอินทรีย์วัตถุ จะถูกย่อยภายใน Reticulo-rumen ระยะเวลาที่อาหารถูกเก็บกัก (Retention time) ขึ้นอยู่กับปริมาณอาหารที่กิน ถ้าสัตว์กินมาก Retention time จะลดลง สำหรับลักษณะทางกายภาพอาหารหยาบ ถ้าอาหารหยาบมีลักษณะเป็นเส้นยาว Retention time จะเพิ่มขึ้นและ หากสัดส่วนอาหารหยาบต่ออาหารข้นสูง Retention time จะเพิ่มขึ้น

ปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนไหลของอาหารจาก Reticulo-rumen ประกอบด้วยขนาดของอนุภาคอาหาร ถ้ามีขนาดเล็กจะไหลผ่านได้เร็ว ในด้านความหนาแน่นของอนุภาคอาหาร ถ้ามีความหนาแน่นสูงจะไหลผ่านได้เร็ว อัตราการลดขนาดของอนุภาคอาหารถ้าลดได้เร็วจะไหลผ่านได้เร็วด้วย นอกจากนี้ส่วนประกอบของผนังเซลล์ในอาหารและ pH ยังมีผลต่อการย่อยด้วยเช่นเดียวกัน อาหารที่มีขนาดเล็กกว่า 2.0 mm จึงจะไหลผ่าน Reticulo-omasal orifice ได้

2.2.3 ปัจจัยที่เกิดจากตัวสัตว์ (Animal Factors)

2.2.3.1. ขนาด, น้ำหนักตัว, อายุ และพันธุกรรมของสัตว์

ขนาดของตัวสัตว์เป็นตัวกำหนดปริมาตรของช่องท้อง (Abdominal capacity) ซึ่งจะมีส่วนสัมพันธ์กับความจุกระเพาะ (Rumen capacity) สัตว์ที่มีขนาดใหญ่ย่อมกินอาหารได้มากกว่าสัตว์ที่มีขนาดเล็ก ซึ่งโดยปกติสัตว์ที่มีน้ำหนักมากจะกินอาหารได้มากกว่าสัตว์ที่มีน้ำหนักน้อยกว่า แต่ไม่แน่นอนเสมอไปเพราะน้ำหนักตัวสัตว์อาจขึ้นอยู่กับ ขนาดโครงร่างและการสะสมไขมัน (ความอ้วน) เช่นสัตว์ที่มีขนาดเท่ากัน ตัวที่อ้วนกว่าจะมีน้ำหนักมากกว่า แต่กลับกินอาหารได้น้อยกว่าเพราะมีไขมันสะสมอยู่มากและในสัตว์ที่มีน้ำหนักเท่ากัน ตัวที่พอมกว่ามักกินอาหารได้มากกว่าตัวที่อ้วน กล่าวคือ โคนมที่รับสารอาหารไม่เพียงพอติดต่อกันเป็นเวลานาน โคจะมีความสามารถในการกินอาหารเพิ่มขึ้นกว่าโคที่อยู่ในสภาพปกติหรืออ้วน ซึ่งเป็นผลมาจากโคนมมีความต้องการสารอาหารสูง เพื่อการเจริญเติบโตทดแทน ประกอบกับโคจะมีความสามารถในการย่อยอาหารได้ดีขึ้น และไม่มีไขมันสะสมในช่องท้องจึงมีที่เหลือพอสำหรับการขยายตัวของทางเดินอาหาร (สมชาย จันทรพงศ์แสง, 2541) ส่วนโคที่อ้วนนั้น กินอาหารได้น้อยลงอาจเป็นเพราะมีการสะสมไขมันในช่องท้อง ทำให้มีที่ว่างกระเพาะหมักน้อยลง โดยเฉพาะกรณีอาหารหยาบพบว่า โคพอมกินได้มากกว่าโคอ้วน (Forbes, 1986)

ในส่วนของอายุ การกินได้จะเพิ่มขึ้นเมื่อสัตว์เจริญเติบโตจากอายุน้อยไปสู่อายุมากขึ้น ในช่วงที่ลูกโคเจริญเติบโตไปเป็นโคสาวปริมาณอาหารที่กินจะเพิ่มมากขึ้น เพื่อนำไปใช้ใน

การเจริญเติบโตและสะสมเป็นไขมัน แต่เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวแล้วจะพบว่าปริมาณการกินได้ลดลงโดยเฉพาะเมื่อน้ำหนักตัวมากกว่า 200 กิโลกรัม (สมชาย จันทรพงศ์แสง, 2541 ; Daccarett et al., 1993) พันธุกรรมของสัตว์ที่เกี่ยวข้องกับการกินได้จะขึ้นอยู่กับขนาดและน้ำหนักของตัวสัตว์ในแต่ละพันธุ์ เช่นพันธุ์ที่มีขนาดใหญ่จะกินอาหารได้มากกว่าพันธุ์ที่มีขนาดเล็ก

2.2.3.2.การเป็นสัด (Estrus) และการตั้งท้อง (Pregnancy)

ช่วงระยะการเป็นสัด โคจะกินอาหารน้อยลง ซึ่งเป็นผลมาจากระดับฮอร์โมนเอสโตรเจนที่สูงขึ้น ทำให้โคสนใจและใช้เวลากินอาหารน้อยลง (Forbes, 1986)

ระหว่างการตั้งท้อง ขนาดของตัวอ่อนจะเจริญเติบโตขึ้นเรื่อยๆ และมีความต้องการโภชนาการเพื่อการเจริญเติบโตเพิ่มมากขึ้น ฮอร์โมนในร่างกายของแม่สัตว์ก็มีการเปลี่ยนแปลงด้วย ในช่วงต้นและช่วงกลางของการตั้งท้องสัตว์จะกินอาหารเพิ่มขึ้น (Forbes, 1986, 1995) เนื่องจากมีอัตราของ Metabolism เพิ่มขึ้น สัตว์มีความต้องการอาหารเพิ่มขึ้นเพื่อการเจริญเติบโตของตัวอ่อน และอาจเกิดจากการเพิ่มปริมาณ Progesterone ในกระแสเลือดที่ไปเหนี่ยวนำให้สัตว์กินอาหารมากขึ้นด้วย (วิศิษฐพร สุขสมบัติ, 2538)

เมื่อถึงระยะใกล้คลอดประมาณ 1 เดือน สัตว์จะกินอาหารลดลง โดยเฉลี่ยสัตว์จะกินอาหารลดลงประมาณ 0.2 kg DM/สัปดาห์ในช่วง 6 สัปดาห์ก่อนคลอด การกินอาหารลดลงนี้เกิดจากการลดลงของปริมาณของช่องท้องเพราะการเจริญเติบโตของตัวอ่อนอย่างรวดเร็วและการสะสมของไขมันจะไปกินเนื้อที่ของช่องท้องทำให้เป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนไหวของระบบทางเดินอาหาร และเกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับฮอร์โมนเอสโตรเจนที่สูงขึ้นจนใกล้เคียงหรือมากกว่าระยะเป็นสัด (สมชาย จันทรพงศ์แสง, 2541 ; Forbes, 1986, 1995) และ 2-3 วันสุดท้ายก่อนคลอด ยิ่งกินได้น้อย เพราะฮอร์โมนหลายตัวมีการเปลี่ยนแปลงสำหรับการคลอดลูก เช่น Corticosteroids, Prostaglandins, Oxytocin และ Relaxin เป็นต้น อย่างไรก็ตามการเพิ่มความหนาแน่นของพลังงานและโปรตีนให้กับโคก่อนคลอด 1 เดือน พบว่าไม่ทำให้โคกินอาหารลดลง (Vandehaar et al., 1999)

2.2.3.3.ระยะการให้นม

ในโคนมโคที่กำลังรีดนมจะกินอาหารมากกว่าโคที่ไม่ได้รีดนมหรือโคหยุดรีดนม การกินได้ที่เพิ่มขึ้นนี้ ก็เพื่อตอบสนองความต้องการพลังงานที่สูงขึ้นสำหรับการสังเคราะห์น้ำนม (Forbes, 1986) ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว โครีดนมจะกินอาหารมากกว่าโคหยุดรีดประมาณ ร้อยละ 30-50 หรือมีความต้องการแทะเล็มหญ้าในแปลงสูงกว่า ประมาณ 43-76 % ในน้ำหนักตัวที่เท่ากัน และมีการประมาณว่าการกินหญ้าจะ เพิ่มขึ้น 0.24 - 0.25 kg/Dm สำหรับแต่ละกิโลกรัมของผลผลิตน้ำนมปรับไขมัน (Fat corrected milk yield , FCM) (Mayne and Wright, 1988) ปกติโคให้นมจะต้องการ

โภชนะสูงมากคือ เกือบ 5 เท่าของความต้องการเพื่อดำรงชีพ (Forbes, 1986) และมักพบเสมอว่าโคหลังคลอดจะกินอาหารลดลง โดยเฉพาะโคสาว ทั้งนี้เนื่องจากความเครียดหลังคลอดและระดับของฮอร์โมนเอสโตรเจนที่ยังสูงอยู่ ซึ่งสามารถส่งผลได้นานถึง 2 สัปดาห์ นอกจากนี้ในโคที่อ้วนมากหลังคลอดจะไม่สามารถกินอาหารได้มากพอ ทำให้ร่างกายมีการดึงเอาไขมันออกมาใช้ ในกระบวนการนี้จะมีการสร้างสารคีโตนออกมาด้วย สัตว์จึงมักจะป่วยและทำให้ความอยากอาหารลดลง

2.2.4 ปัจจัยด้านพฤติกรรมของสัตว์

ความแตกต่างระหว่างโคที่เลี้ยงแบบปล่อยแปลงและการเลี้ยงแบบขังคอก ก็คือการเข้าถึงอาหาร (Accessibility of feed) และความสามารถในการกินอาหารได้คำใหญ่ๆ เพื่อที่จะกินอาหารได้เร็วให้เพียงพอกับความต้องการในเวลาจำกัด โดยโคที่เลี้ยงแบบปล่อยแปลงมีความยากในการกินอาหารมากกว่าเพราะต้องเดินหากิน ต้องจับตึงอาหารเข้าปาก (Prehending) และต้องเก็บเกี่ยวอาหาร (Harvesting) เป็นต้น ทั้งนี้ถ้าหญ้าในแปลงมีปริมาณมากมาย คุณค่าทางอาหารของหญ้าจะเป็นตัวกำหนดการกินได้ของโค โดยมีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการแทะเล็ม (Grazing behaviour) กล่าวคือสัตว์จะเลือกกินหญ้าที่มีคุณค่าทางอาหารสูง เช่น โคจะเลือกกินเฉพาะส่วนที่เป็นยอดและใบอ่อน เป็นต้น แต่ถ้าคุณค่าทางอาหารของหญ้าต่ำการกินได้ของโคจะถูกควบคุมโดย Distention mechanism ของกระเพาะส่วนหน้า ในขณะที่ปริมาณหญ้าในแปลงที่ใช้เลี้ยงโคมีมากและคุณค่าทางอาหารของหญ้าสูงมากด้วย Metabolic mechanism จะเป็นตัวกำหนดการควบคุมการกินอาหาร และถ้าหญ้าในแปลงที่ใช้เลี้ยงโคมีปริมาณน้อย คุณค่าทางอาหารของหญ้าแทบไม่มีผลต่อการกินได้ของโค แต่การกินได้จะถูกกำหนดโดยพฤติกรรมการแทะเล็ม

2.2.5 ปัจจัยที่เกี่ยวกับอาหารและการจัดการ

เกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพของอาหารพบว่า อาหารถ้าสับให้เป็นชิ้นเล็กลงหรือบดให้เป็นผง โคนมจะกินได้มากขึ้นกว่าชิ้นยาวๆ เพราะอาหารจะเคลื่อนผ่านทางเดินอาหารได้เร็ว (Forbes, 1986) แต่ก็ทำให้การย่อยได้น้อยลง

องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร เช่น พลังงาน โปรตีน วิตามิน แร่ธาตุ พบว่ามีส่วนเกี่ยวข้องกับการกินได้ของโคนม อาหารที่มีโปรตีนต่ำปริมาณการกินได้ของโคจะต่ำด้วยโดยเฉพาะอาหารหยาบ การแก้ไขโดยการปรับปรุงคุณภาพหรือการเสริมอาหารขึ้น หรือแหล่งโปรตีน จะเพิ่มการกินของโคนมได้ ถ้าโปรตีนในอาหารต่ำ จะมีผลทำให้การทำงานของจุลินทรีย์ลดลง ทำให้การ

ย่อยได้ของสารเยื่อไผ่ต่ำไปด้วย การเพิ่มระดับอาหารชั้นในอาหารโคนมจะเพิ่มการกินได้และการย่อยได้ของวัตถุดิบ อินทรีย์วัตถุและเพิ่มการใช้แอมโมเนีย สำหรับสร้างโปรตีนของจุลินทรีย์ (Reis and Combs, 2000) การขาด Calcium และ Riboflavin จะทำให้ลูกโคลดการกินได้ ส่วนในโคที่โตแล้วการขาด Manganese, Potassium, Sodium, Cobalt, Copper และ Vitamin A, D และ B12 และการได้รับมากเกินไปของ Arsenic, Fluoride, Molybdenum, Selenium และ Zinc ก็เป็นสาเหตุทำให้การกินได้ลดลงเช่นกัน (Forbes, 1986)

ในส่วนของปริมาณน้ำในอาหาร พบว่าถ้าความชื้นในอาหารสูงกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบต่อวันจะลดลง 0.17 กิโลกรัม เมื่อปริมาณความชื้นในอาหารเพิ่มขึ้นทุก 1 เปอร์เซ็นต์ (สมชาย จันทร์ผ่องแสง, 2541)

สำหรับสภาพของแปลงหญ้า และคุณภาพของหญ้านั้น ถ้าหญ้าคุณภาพดี หรือหญ้าอ่อนสัตว์จะกินได้ดีและกินได้มากในขณะที่หญ้าแก่หรือหญ้าคุณภาพไม่ดีสัตว์จะกินได้น้อย เพราะเนื่องจากว่าหญ้าแก่มีเยื่อใยสูงทำให้ย่อยได้ยาก ทั้งนี้คุณภาพของหญ้าขึ้นอยู่กับปริมาณของเยื่อใย ถ้าหญ้ามียาุมากขึ้นจะมีการสะสมของ Cellulose, Hemicellulose และ Lignin เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับต้นพืชเอง Lignin เป็นสารที่ย่อยไม่ได้เลยและยังขัดขวางการย่อยได้ของสารเยื่อใยอีกด้วย ส่งผลให้มื่ออาหารตกค้างในกระเพาะนาน อัตราการไหลผ่านช้า นอกจากนี้ความฟามของหญ้าก็มีผล ต่อการกินได้ของสัตว์ โดยพืชที่มีวัตถุแห้ง (DM) ต่ำสัตว์จะกินได้น้อยลง

การให้อาหารผสมรวมระหว่างอาหารหยาบและอาหารข้น และความถี่ในการให้อาหาร จะทำให้การกินได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมักไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ระยะเวลาที่ปล่อยให้กินอาหารก็มีผลเช่นเดียวกัน กล่าวคือถ้าโคมีเวลากินอาหารมากขึ้นจะทำให้กินได้มากขึ้น (Forbes, 1986) นอกจากนี้รสชาติของอาหารและความน่ากินก็มีผลต่อการกินได้ของโค เพราะโคจะตอบสนองต่อรสขม เปรี้ยว เค็ม และหวานได้ดี ดังนั้นการเพิ่มความน่ากินของอาหารมักจะเติมสารต่างๆ เช่น กากน้ำตาล ในลูกโคจะกินได้สูงขึ้นถ้าเติมน้ำตาลในอาหาร

2.2.6 ปัจจัยด้านอุณหภูมิและสภาพแวดล้อม

สัตว์สามารถปรับลักษณะการกินอาหารได้ตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ กล่าวคือ ถ้าอุณหภูมิต่ำหรืออากาศหนาวสัตว์จะกินอาหารเพิ่มขึ้น แต่ในทางตรงข้ามถ้าอุณหภูมิสูงหรืออากาศร้อนสัตว์จะกินอาหารได้น้อยลง ในสภาพอากาศที่ร้อนจะทำให้ลดการกินได้โดยเฉพาะอาหารหยาบและเพิ่มการกินน้ำ เมื่อสัตว์ได้รับสภาพอากาศร้อนในระยะแรก จะมีการปรับตัวของทางเดินอาหารโดยมักพบว่าการย่อยได้ของอาหารดีขึ้นกว่าสภาพปกติ แต่หากอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมยังสูง

อยู่นานๆ จะทำให้อัตราการไหลผ่านลดลง (Bernabucci et al., 1999) สภาพอากาศที่มีอุณหภูมิสูงตลอดทั้งปีและความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงจะส่งผลกระทบต่อกรกินอาหารของโคนมได้มาก (สมชาย จันทรพงศ์แสง, 2541) อุณหภูมิที่สูงกว่า 33 องศาเซลเซียส ทำให้โคนมกินวัตถุแห้งได้ต่ำลง (Bernabucci et al., 1999) การกินได้ที่ลดลงนี้เป็นผลมาจากการที่โคนมพยายามลดปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเผาผลาญอาหาร และความรุนแรงของอุณหภูมิที่มีต่อการกินอาหารของโคนมจะพบในโคในเขตอบอุ่นมากกว่าโคที่อยู่ในเขตร้อนชื้น อย่างไรก็ตามโคนมที่อยู่ในสภาพอากาศร้อนเป็นเวลานานจะสามารถปรับตัวได้ โดยการเปลี่ยนไปกินอาหารในช่วงกลางคืนที่เย็นกว่า ซึ่งทำให้โคสามารถกินอาหารได้ในปริมาณเท่าเดิม

2.3. การย่อยสลายและการประเมิการย่อยสลายของอาหารในกระเพาะหมัก

2.3.1 ขบวนการย่อยสลายอาหารในโคนม

ขบวนการย่อยอาหารของโคนมเริ่มขึ้นตั้งแต่อาหารเข้าสู่ปาก ซึ่งเป็นการย่อยด้านกายภาพ โดยมีการบดเคี้ยว ทำให้อาหารมีขนาดเล็กลง มีการคลุกเคล้ากับน้ำลายภายในช่องปาก และเมื่ออาหารอ่อนนุ่มขึ้นก็จะมีการจับกันเป็นก้อน (bolus) แล้วเคลื่อนที่เข้าสู่กระเพาะส่วนหน้า (Fore stomach) และกระบวนการย่อยอาหารเกิดขึ้นในส่วนนี้เรียกว่า กระบวนการหมัก ซึ่งอยู่ในสภาพไร้ออกซิเจน (Anaerobic condition) โดยอาศัยจุลินทรีย์ที่มีมากมายหลายชนิดในกระเพาะหมัก ดังนั้นอาหารที่กินเข้าไปนั้นจะย่อยได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนของจุลินทรีย์ ในกระเพาะหมัก ซึ่งประกอบด้วย Bacteria, Protozoa และ Fungi อัตราการย่อยสลายของอาหารภายในกระเพาะหมักนี้ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบทางเคมีและทางกายภาพของอาหาร

สภาพแวดล้อมภายใน Reticulo-rumen มีผลโดยตรงต่อกระบวนการหมักย่อยอาหารของจุลินทรีย์ ซึ่งภายใน Reticulo-rumen นี้จะถูกควบคุมโดยชนิดและปริมาณของอาหารที่โคกินเข้าไป ซึ่งมีผลต่อการขับน้ำลาย การเคี้ยวเอื้อง การขับน้ำย่อยต่างๆ จากจุลินทรีย์ การดูดซึมของโภชนาผ่านผนัง Reticulo-rumen และการไหลผ่านของอาหารไปตามระบบทางเดินอาหาร เป็นต้น นอกจากนี้การรักษาสภาพความเป็นกลางภายใน Reticulo-rumen จะทำให้เกิดการหมักในกระเพาะหมักอย่างต่อเนื่อง และมีผลต่อการดำรงอยู่ของจุลินทรีย์ให้อยู่ในระดับที่สมดุล ซึ่งเกิดจากการเพิ่มปริมาณของจุลินทรีย์ ในขณะที่ส่วนหนึ่งจะไหลผ่าน Reticulo-rumen ไปตามทางเดินอาหาร ส่วนหนึ่งจะตายและเกิดขบวนการ Lysis ของจุลินทรีย์ภายใน Reticulo-rumen

2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการย่อยสลายของอาหารในกระเพาะหมัก

2.3.2.1 ระดับการกินได้

เมื่อระดับการกินได้เพิ่มขึ้นจะทำให้อาหารถูกย่อยน้อยลง เพราะจะสัมพันธ์กับอัตราการไหลผ่านของอาหาร โดยเมื่อการกินได้มากขึ้นทำให้อัตราการไหลผ่านเร็วขึ้น ก็จะทำให้อาหารมีระยะเวลาอยู่ในกระเพาะหมักสั้นลง ทำให้จุลินทรีย์มีเวลาย่อยอาหารได้ลดลงด้วย

2.3.2.2 ระดับ pH ภายในกระเพาะหมัก

ระดับ pH มีผลต่อการย่อยได้เพราะ มีผลโดยตรงต่อการทำงานของจุลินทรีย์ ถ้า pH ต่ำมากๆ เช่น ต่ำกว่า 5 จะทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถทำงานได้และตายในที่สุด ในกรณีที่สัตว์ได้รับอาหารชั้นสูงจุลินทรีย์ที่ย่อยพวกแป้งและน้ำตาลทำงานได้ดีและเพิ่มจำนวนขึ้น ทำให้ pH ลดต่ำลง มีผลต่อการย่อยสลายของสารพวกเยื่อใย (Calsamiglia et al., 1999) ทำให้การย่อยได้ของอาหารหยابลดลงเพราะจุลินทรีย์พวกที่ย่อยสารเยื่อใยจะทำงานลดลงถ้า pH ต่ำ ซึ่งสามารถที่จะแก้ไขโดยการเติมสารพวก Buffer ลงไปในอาหารจะทำให้การย่อยได้ของสารเยื่อใยดีขึ้น การเติมสารโซเดียมไบคาร์บอเนตในอาหารโคที่ใช้อาหารชั้นสูง พบว่าทำให้ pH และสัดส่วนของ Acetate สูงขึ้น (Kennelly et al., 1999 ; Clayton et al., 1999) ขณะที่ Pereira and Armentano (2000) พบว่าการใช้โซเดียมไบคาร์บอเนต 0.8 เปอร์เซ็นต์ตัวตุนแห้ง ไม่ได้เพิ่มการย่อยได้ของ NDF และอินทรีย์วัตถุ แต่เพิ่มการกินได้ของอินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้ ทั้งนี้ระดับ pH ที่เหมาะสมและทำให้จุลินทรีย์ทำงานได้ดีที่สุดคือ 6-7 และเหมาะสำหรับการแตกตัวของโปรตีน เป็นแอมโมเนีย

2.3.2.3 ปริมาณเยื่อใยในอาหาร

เมื่อเปอร์เซ็นต์ของสารเยื่อใยในอาหารสูงขึ้นจะทำให้การย่อยได้ลดลง เพราะอาหารมีส่วนที่ละลายได้ง่ายน้อยลงซึ่งเป็นแหล่งพลังงานสำหรับจุลินทรีย์ทำให้จุลินทรีย์เพิ่มจำนวนช้า โดยเฉพาะจุลินทรีย์พวกที่ย่อยสารเยื่อใย และอาจมีส่วนของลิกนินซึ่งย่อยไม่ได้เข้าปกคลุมพวกสารเยื่อใยอยู่ ทำให้ขัดขวางการเข้าไปจับเกาะและย่อยสลายของจุลินทรีย์ นอกจากนี้พบว่าสารเยื่อใยจากพืชอาหารสัตว์คุณภาพดีจะย่อยสลายได้สูงกว่าสารเยื่อใยจาก By product หรือสารเยื่อใยที่ไม่ใช่จากพืชอาหารสัตว์ (Pereira and Armentano, 2000 ; Calsamiglia et al., 1999)

2.3.2.4 การขาดโภชนาที่สำคัญ

การขาดโปรตีนในอาหารจะมีผลทำให้การย่อยได้ของพลังงานและการกินได้ลดลง เพราะจุลินทรีย์ขาดแอมโมเนียสำหรับนำไปสร้างเป็นโปรตีนตัวมันเอง ถึงแม้จะมีพลังงานเพียงพอก็ไม่สามารถจะนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ จุลินทรีย์เพิ่มจำนวนช้าจึงมีผลต่อการย่อยได้ ทำให้

อัตราการไหลผ่านซ้ำจึงทำให้การกินได้ลดลง นอกจากนี้การขาดแร่ธาตุที่สำคัญบางชนิดก็ทำให้การย่อยได้ลดลง เช่น Mg, P, S, Fe, Co, Mn และ Zn เป็นต้น

2.3.2.5 ความเข้มข้นของแอมโมเนียในกระเพาะหมัก

จุลินทรีย์มีความต้องการแอมโมเนียสำหรับไปสร้างเป็นโปรตีนของตัวมันเอง ดังนั้นระดับของแอมโมเนียในกระเพาะหมักจึงมีผลต่อจำนวนจุลินทรีย์ ถ้ามีเพียงพอก็จะมีจำนวนจุลินทรีย์มากและการย่อยได้จะเพิ่มขึ้น ในอาหารหยาบคุณภาพต่ำที่มีการเติมยูเรียเพื่อเป็นแหล่งแอมโมเนีย จึงทำให้การย่อยได้และการกินได้เพิ่มขึ้น

2.3.2.6 อุณหภูมิสภาพแวดล้อม

โคนมจะพยายามรักษาระดับอุณหภูมิภายในร่างกายให้คงที่ เมื่อสภาพแวดล้อมมีอุณหภูมิสูงขึ้น โคนมจะพยายามลดปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นภายในร่างกายโดยการลดการกินอาหารโดยเฉพาะอาหารพลังงาน เมื่อการกินได้ลดลงการเคลื่อนบีบตัวของกระเพาะก็ลดลง เมทาบอลิซึมในร่างกายลดลง

2.3.2.6 อาหารและการจัดการ

การให้อาหารทีละน้อยๆ และบ่อยครั้งต่อวัน จะทำให้การย่อยได้เพิ่มขึ้น การแปรรูปอาหาร เช่น การบด การอัดเป็นแผ่นของเมล็ดธัญพืช การสับเป็นชิ้นเล็กลงของอาหารหยาบจะทำให้การย่อยได้เพิ่มขึ้นเพราะจุลินทรีย์เข้ายัดเกาะอนุภาคอาหารได้ดี การใช้ข้าวโพดบดละเอียดในสูตรอาหารจะทำให้เพิ่มการย่อยได้ของแป้งและเพิ่มการใช้ประโยชน์ของแป้งและในโตรเจนได้ดีกว่าการบดหยาบ เมื่อใช้ร่วมกับเปลือกและซังข้าวโพดหมักความชื้นสูง (San Emeterio et al., 2000) นอกจากนี้การปรับเปลี่ยนอาหารใหม่ควรจะให้มีการปรับตัวของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักด้วย กล่าวคือควรค่อยๆ เปลี่ยน

2.3.3 การปรับสภาวะขบวนการหมักในกระเพาะหมัก

การปรับสภาวะขบวนการหมักในกระเพาะหมัก คือ ความพยายามต่างๆ ในการจัดการในการเปลี่ยนแปลงขบวนการหมักในกระเพาะหมัก เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการใช้ประโยชน์จากอาหารในการผลิตสัตว์เคี้ยวเอื้อง การเปลี่ยนแปลงผลผลิตสุดท้ายของการหมัก หรือ การดัดแปลงในกระเพาะหมักเพื่อเป็นการลดสารพิษในอาหาร เป็นต้น ซึ่งการดัดแปลงดังกล่าวทำได้ 3 ทางหลัก (เมธา วรรณพัฒน์, 2533) คือ การยับยั้งการเกิดขบวนการสังเคราะห์บางชนิด การกระตุ้นการเกิดของขบวนการสังเคราะห์ที่เป็นประโยชน์ให้เต็มความสามารถ หรือ การป้องกันการย่อยสลายในกระเพาะหมักของโภชนะที่สำคัญ เพื่อให้การไหลผ่านออกไปยังทางเดินอาหารส่วนล่าง

2.3.3.1 การยับยั้งการเกิดของขบวนการสังเคราะห์บางชนิด

การย่อยสลายโปรตีน

โปรตีนที่เข้าสู่กระเพาะหมักจะถูกย่อยสลายโดยน้ำย่อยจุลินทรีย์และมีการนำผลผลิตสุดท้ายมาใช้ในขบวนการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์ โดยกระบวนการสังเคราะห์ใหม่นี้จะต้องใช้พลังงานสูงมาก และโปรตีนที่มีคุณภาพสูงจะมีค่าต่ำลงเมื่อถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก ดังนั้นจึงมีการใช้กรรมวิธีต่างในการป้องกันการย่อยสลายในกระเพาะหมัก เช่น การใช้สารเคมี การใช้ความร้อน หรือการใช้สารเสริมอาหาร

การสังเคราะห์ก๊าซมีเทน

พลังงานที่เกิดจากการหมักอาหารจะสูญเสียออกมาในรูปของก๊าซมีเทน วิธีที่สามารถใช้ยับยั้งการสังเคราะห์ก๊าซมีเทน สามารถทำได้โดยการเสริมกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีขนาดโครงสร้างยาว หรือการสร้างสารคล้ายคลึงของมีเทน รวมทั้งการจำกัดโปรโตชีว การยับยั้งการสังเคราะห์มีเทนนั้น จะช่วยเพิ่มสัดส่วนของ กรดโพรพิโอนิคต่อกรดอะซิติก ซึ่งเสมือนว่าเป็นการเพิ่มความเข้มข้นของกรดโพรพิโอนิค และอาจจะช่วยผลต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

2.3.3.2 การกระตุ้นการเกิดขบวนการที่สำคัญ

การควบคุมขบวนการหมักในกระเพาะหมัก

การควบคุมโดยลักษณะการให้อาหารหรือการให้อาหารชนิดต่างๆ หรือสัดส่วนต่างๆ เพื่อให้เกิดความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ ถ้าในกระเพาะหมักมีแหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้สูงจะส่งเสริมการใช้แอมโมเนียและไนโตรเจน นำไปสู่ผลผลิตที่สูงขึ้น เพิ่มโปรตีนของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักทำให้โคได้รับพลังงานสูงขึ้น (San Emeterio et al., 2000 ; Leiva et al., 2000) ทั้งนี้สัดส่วนอาหารหยาบต่ออาหารข้น ซึ่งจะมีผลต่อสัดส่วนของ กรดโพรพิโอนิคต่อกรดอะซิติก การให้อาหารหยาบสูงจะทำให้สัดส่วนกรดโพรพิโอนิคต่ออะซิติกต่ำ และทำให้ก๊าซมีเทนสูง

การเพิ่มการสังเคราะห์ประชากรจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก อาศัยการปรับให้สภาวะในกระเพาะหมักมีความเหมาะสมกับการเจริญเติบโตและการทำงานของจุลินทรีย์ โดยวิธีการต่างๆ เช่น การใช้ สาร Monensin จะช่วยให้เพิ่มการย่อยสลายสารพวกเยื่อใยและโปรตีนในกระเพาะหมักทั้งนี้เกี่ยวข้องกับ pH ในกระเพาะหมัก (Plaizier et al., 2000)

2.3.3.3 การป้องกันการย่อยสลายของโภชนะที่สำคัญในกระเพาะหมัก

เพื่อมุ่งหวังให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดของการให้อาหารในกระเพาะหมักและทางเดินอาหารส่วนล่าง การป้องกันการย่อยสลายโภชนะได้แก่ การป้องกันการย่อยสลายของโปรตีนด้วยการใช้สารเคมี เช่น การใช้ฟอร์มาดีไฮด์ ซึ่งจะเกิด Cross-links กับกรดอะมิโน ทำให้มีคุณสมบัติที่

ไม่ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้ หรือการป้องกันการ Hydrogenation ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยการใช้สารเคมี หรือ การจับตัวด้วยแร่ธาตุบางตัว เช่น Ca-soap เป็นต้น

2.3.4 การวัดการย่อยสลายของอาหารในกระเพาะหมัก

2.3.4.1 การหาการย่อยสลายในหลอดทดลอง

เนื่องจากการหาการย่อยสลายโดยทดลองกับสัตว์จริง (*In vivo* digestibility) เป็นงานที่สิ้นเปลืองแรงงานและค่าใช้จ่ายมาก จึงได้มีการพยายามหาวิธีวัดการย่อยได้ของอาหารในหลอดทดลองโดยเลียนแบบปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในทางเดินอาหารของสัตว์ ซึ่งเรียกวิธีนี้ว่า *In vitro* technique การหาการย่อยสลายทำได้หลายวิธีและเป็นที่ยอมรับ เพราะสามารถทำพร้อมกันได้ที่ละหลายๆ ตัวอย่างในเวลาอันรวดเร็ว ทำให้ช่วยประหยัดค่าใช้จ่าย เวลาและแรงงานได้ ค่าที่ได้แม้ว่าจะไม่ตรงกับวิธีที่ทดลองโดยตรงกับสัตว์จริง แต่ก็พอจะบอกคุณภาพอาหารได้ ซึ่งเหมาะสำหรับการจัดลำดับอาหาร หรือการคัดเลือกอาหารให้เหลือน้อยชนิดก่อนที่จะทำการทดลองกับสัตว์ต่อไป ซึ่งวิธีเหล่านี้ได้แก่

1. วิธีการ 2 ขั้นตอน (Two stages *in vitro* method) ของ Tilley and Terry (1963) ทำโดยหมักตัวอย่างอาหารร่วมกับของเหลวจากกระเพาะหมัก และเอนไซม์เพปซิน ในขั้นแรกเอาอาหารที่บดแล้วประมาณ 0.5 กรัม ใส่ในหลอดทดลองเดิมของเหลวจากกระเพาะหมักที่ได้กรองเอาชิ้นอาหารหยาบออกและผสมกับสารละลายแร่ธาตุและบัฟเฟอร์ ไว้แล้วเพื่อรักษา pH ให้อยู่ในสภาพใกล้เคียงกับกระเพาะหมักจริง ใส่สารละลายดังกล่าว 50 มล. แล้ว Incubate ที่อุณหภูมิ 39 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ภายได้สภาพไร้ออกซิเจน ขั้นที่สอง ทำการฆ่าแบคทีเรียโดยใช้กรดเกลือแล้วย่อยต่อด้วยเอนไซม์เพปซิน เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ส่วนที่ไม่ถูกย่อยจะถูกกรองล้างและอบให้แห้งเพื่อคำนวณหาค่าวัตถุแห้ง จากนั้นนำไปเผาจะทราบค่าอินทรีย์วัตถุ (Organic matter) นำค่าที่ได้นี้ไปหักออกจากส่วนที่มีในอาหารตั้งแต่เริ่มแรก จะทราบค่าวัตถุแห้งที่ย่อยได้ (Digestible dry matter , DDM) และอินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้ (Digestible organic matter , DOM) จะสามารถคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของโภชนะทั้งสองได้ (Dry matter digestibility, DMD และ Organic matter digestibility, OMD)

2. วิธีใช้เอนไซม์เพปซิน และเซลลูเลส วิธีนี้ทำโดยการชั่งอาหารที่ต้องการหาการย่อยได้ประมาณ 0.3 กรัมลงในหลอดทดลอง ใส่ HCl-pepsin solution แช่ไว้ในอ่างน้ำที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเติม Cellulase-acetate buffer เพื่อทำการย่อยผนังเซลล์ ทำการ incubate ที่อุณหภูมิเดียวกัน เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หากที่เหลือเป็นส่วนที่ย่อยไม่ได้ จะถูกกรองอบเพื่อ

หาค่าวัตถุแห้ง แล้วเผาเพื่อหาค่าอินทรีย์วัตถุ วัตถุแห้งและอินทรีย์วัตถุที่ได้ในส่วนนี้เมื่อหักออก จากส่วนที่มีในอาหาร จะทราบค่าวัตถุแห้งและอินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้

3. วิธีวัดปริมาณ ก๊าซที่เกิดขึ้น (Gas production method) (Menke et al., 1979)

อาศัยหลักการที่ว่า การหมักอาหารของจุลินทรีย์ในกระเพาะส่วนหน้าจะทำให้เกิด ก๊าซขึ้น ซึ่งจะมีปริมาณมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับอัตราการย่อยได้ของอาหารนั้น ปริมาณก๊าซที่เกิด ขึ้น สามารถนำมาทำนายการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ เพราะปริมาณ ก๊าซ (คาร์บอนไดออกไซด์และมีเทน) ที่ผลิตขึ้นจากการบ่ม (Incubate) ตัวอย่างอาหารกับของเหลว จากกระเพาะหมัก (Rumen liquor) ที่ผสมสารละลายบัพเฟอร์และแร่ธาตุ และปรับให้มีสภาพต่างๆ ที่เหมาะสม คือ ไร้ออกซิเจน อุณหภูมิ 39 °C บ่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมง มีสหสัมพันธ์กับการย่อยได้ใน ตัวสัตว์ (Apparent *in vivo* digestibility) นำค่าก๊าซที่ผลิตได้มาแทนค่าในสมการเพื่อคำนวณหาการ ย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ (OMD, %) และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (ME, MJ/kg DM) พลังงานสุทธิ สำหรับโคนม (NEL, MJ/kg DM) ได้โดยอาศัยของค์ประกอบทางเคมีของอาหารประเมินร่วมด้วย

ต่อมาได้มีการพัฒนาโดย Blummel และ Ørskov (1993) โดยอ่านค่าก๊าซที่เกิดขึ้น ในหลอดทดลองจากการบ่มตัวอย่างอาหารกับของเหลวจากกระเพาะหมัก (Rumen liquor) เป็น ระยะๆ เช่น ที่เวลา 4, 6, 8, 12 และ 24 ชั่วโมง แล้วนำมาเข้าสมการ $p = a + b(1 - e^{-ct})$ สามารถบอก ปริมาณก๊าซที่ผลิตได้ในเวลา t , (p); ปริมาณก๊าซที่ผลิตเองโดยไม่ได้ใส่ตัวอย่างอาหาร (a); ปริมาณ ก๊าซที่ผลิตได้จากการบ่มตัวอย่างอาหาร (b); ปริมาณก๊าซที่ผลิตได้สูงสุด ($a+b$) และอัตราการผลิต ก๊าซ (c) ได้ จากการศึกษาในฟางข้าวบาเลย์และฟางข้าวสาลี ที่ปรับปรุงคุณภาพและไม่ได้ปรับปรุง คุณภาพด้วย Anhydrous ammonia พบว่าค่า $a+b$ ที่ได้จากปริมาณการผลิตก๊าซ สามารถนำมา ทำนายการกินได้และการย่อยได้ของวัตถุและอัตราการเจริญเติบโตของโคเพศผู้ตอน ซึ่งมี สหสัมพันธ์ค่อนข้างสูงโดยมีสมการ multiple regression เพื่อการทำนายดังนี้

$$\text{DMI (kg/d)} = 1.529 + 0.455a + 0.0324b \quad (r = 0.88)$$

$$\text{DDM (kg/d)} = -0.933 + 0.301a + 0.0496b \quad (r = 0.93)$$

$$\text{Growth rate (g/d)} = -391 + 112.5a + 6.37b \quad (r = 0.95)$$

ต่อมา Blummel et al. (1997) ได้มีการพัฒนาการทดลองใหม่อีก โดยถือว่าการที่ อาหารถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก เกิดผลผลิตหลัก ๆ 3 อย่าง คือ ก๊าซ (คาร์บอนไดออกไซด์ และ มีเทน) กรดไขมันระเหยง่าย และจุลินทรีย์ และเนื่องจากปริมาณก๊าซที่ผลิตได้มีความสัมพันธ์กับ ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายที่ถูกผลิตขึ้น ดังนั้น ถ้าทราบปริมาณของจุลินทรีย์ก็จะทราบปริมาณ อาหารที่ถูกย่อยสลายอย่างแท้จริง (Truely degradable substrate, TDS) ซึ่งทำให้สามารถทราบการ ย่อยสลายได้อย่างแท้จริง และสามารถใช้ในการทำนายคุณค่าทางอาหารได้แม่นยำขึ้นกว่าการ

พิจารณาเฉพาะค่าก๊าซเท่านั้น ทำการหาปริมาณจุลินทรีย์ได้โดยนำส่วนผสมที่เหลือจากการหมักในหลอด Syringe (ซึ่งประกอบด้วยอาหารที่ย่อยไม่ได้และจุลินทรีย์) ไป Reflux กับสารละลาย Neutral detergent solution (NDS) ส่วนที่สลายและถูกกรองทิ้งไปคือ จุลินทรีย์ กากที่เหลือทิ้งในถ้วยกรองคือส่วนของอาหารที่ย่อยไม่ได้ และถ้านำค่านี้ไปหักลบกับตัวอย่างที่ใช้ Incubate จะทราบปริมาณอาหารที่ถูกย่อยสลายอย่างแท้จริง

หลังจากการหมักบ่มในหลอดทดลองเสร็จแล้วส่วนที่เหลือในหลอดทดลองประกอบด้วย อาหารส่วนที่ไม่ย่อยสลายและจุลินทรีย์ที่ถูกผลิตขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตที่ได้จากการบ่มในหลอดทดลองและอาหารที่ใช้สามารถที่จะแยกได้ 3 สมการ คือ

$$\text{อาหารที่ใช้บ่ม} - \text{อาหารที่ย่อยไม่ได้จริง} = \text{Microbial} + \text{VFA} + \text{gas (ย่อยได้จริง)}$$

$$\text{อาหารที่ใช้บ่ม} - \text{อาหารที่ย่อยไม่ได้ปรากฏ} = \text{VFA} + \text{gas (ย่อยได้ปรากฏ)}$$

$$\text{อาหารที่ย่อยได้จริง} - \text{อาหารที่ย่อยได้ปรากฏ} = \text{Microbial}$$

เมื่อปริมาณของก๊าซ คือค่าที่ได้จากการบันทึก (Menke et al., 1979) และการย่อยไม่ได้ปรากฏวัดได้โดยการปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วสูง ส่วนที่ตกตะกอนคืออาหารที่ไม่ย่อยและจุลินทรีย์ และการย่อยไม่ได้จริงของอาหารวัดได้โดย นำส่วนที่เหลือจากการบ่มในหลอดทดลองไปหา NDF เพื่อเอาจุลินทรีย์ออกจากส่วนที่ย่อยไม่ได้จริง (Van Soest et al., 1991)

ปริมาณของก๊าซที่ผลิตขึ้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณของ กรดไขมันระเหยได้ เพราะถ้าปริมาณของกรดสูงขึ้นก๊าซก็จะสูงขึ้นด้วย โดยมีสูตรดังนี้ $\text{CO}_2 + \text{CH}_4 = a + 2b$ โดยที่ a คือ Acetate และ b คือ Butyrate ฉะนั้นปริมาณของก๊าซที่ผลิตขึ้นสามารถอธิบายจำนวนของ กรดไขมันระเหยง่าย และปริมาณของก๊าซทั้งหมดที่ผลิตขึ้น ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ประกอบด้วย CO_2 และ CH_4 แต่ CO_2 ส่วนหนึ่งได้จากการปลดปล่อยจากสารละลายบัฟเฟอร์ในขณะที่ทำการปรับบัฟเฟอร์ของกรดไขมันระเหยได้ในหลอดทดลองเมื่อมีการย่อยอาหาร (Blummel et al., 1997) โดย CO_2 จะทำหน้าที่เป็นด่างให้กับ Bicarbonate จากการปรับบัฟเฟอร์ 1 mmol ของ VFA ที่ผลิตขึ้น Bicarbonate จะปล่อย 1 mmol CO_2 ออกมา

การประเมินพลังงานใช้ประโยชน์ได้และพลังงานสุทธิสำหรับโคนมจากปริมาณก๊าซที่ผลิตได้ และจากองค์ประกอบทางเคมีของอาหารร่วมด้วย โดยพลังงานมีหน่วยเป็น (MJ/kg DM) (Menke and Steingrass, 1988)

สำหรับอาหารหยาบ

$$\text{ME} = 2.20 + 0.136 \text{ GP} + 0.057 \% \text{CP} + 0.0029 \% \text{EE}^2 \quad (\text{R}^2 = 94)$$

$$\text{NEL} = 0.54 + 0.0959 \text{ GP} + 0.038 \% \text{CP} + 0.0017 \% \text{EE}^2 \quad (\text{R}^2 = 93)$$

$$\text{ME} = 0.98 + 0.1049 \text{ GP} + 0.088 \% \text{CP} + 0.268 \% \text{EE}^2 + 0.038 \% \text{NFC} \quad (\text{R}^2 = 94)$$

$$NEL = 0.36 + 0.0772GP + 0.058 \%CP + 0.116 \%EE^2 + 0.02 \%NFC \quad (R^2 = 95)$$

สำหรับอาหารขึ้น

$$ME = 1.06 + 0.157 GP + 0.084 \%CP \times 0.22\% EE - 0.081\% ash \quad (R^2 = 94)$$

$$NEL = -0.36 + 0.1149 GP + 0.054\% CP \times 0.139 \%EE - 0.054\% ash \quad (R^2 = 93)$$

$$ME = -2.30 + 0.1335 GP + 0.121 \%CP \times 0.281\% EE - 0.055\% NFC \quad (R^2 = 95)$$

$$NEL = -2.93 + 0.0949 GP + 0.085 \%CP \times 0.186 \%EE - 0.045\% NFC \quad (R^2 = 95)$$

การประเมินการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุจากปริมาณก๊าซที่ผลิตได้และองค์ประกอบทางเคมีของอาหารรวมด้วย

สำหรับอาหารหยาบ

$$\% OMD = 15.38 + 0.8453GP + 0.595 \%CP + 0.675\% ash \quad (R^2 = 91)$$

$$\% OMD = 18.53 + 0.9239GP + 0.54 \%CP \quad (R^2 = 92)$$

$$\% OMD = 16.49 + 0.9042GP + 0.492 \%CP + 0.387 \%ash \quad (R^2 = 93)$$

สำหรับอาหารขึ้น

$$\% OMD = 11.03 + 0.986GP + 0.606 \%CP \quad (R^2 = 92)$$

$$\% OMD = 9 + 0.9991GP + 0.595 \%CP + 0.181\% ash \quad (R^2 = 92)$$

สำหรับทุกชนิดของอาหารสัตว์

$$\% OMD = 14.88 + 0.889 GP + 0.45 \%CP + 0.65\% ash \quad (R^2 = 86)$$

$$\% OMD = 24.59 + 0.7984GP + 0.496 \%CP \quad (R^2 = 86)$$

การประเมินเชื้อใยและคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้าง (NFC) จากการผลิตก๊าซและองค์ประกอบทางเคมีบางอย่าง หน่วยเป็น กรัมต่อ กิโลกรัมวัตถุแห้ง

สำหรับอาหารหยาบ

$$\%CF = 575.7 - 5.023 GP - 0.521 CP \quad (R^2 = 54)$$

$$\%NFC = 273.1 + 6.637 GP - 1.139 CP - 0.935 EE - 0.907 ash \quad (R^2 = 73)$$

สำหรับอาหารขึ้น

$$\%CF = 450 - 4.643 GP - 0.301 CP \quad (R^2 = 55)$$

$$\%NFC = 537.9 + 4.726 GP - 0.705 CP - 0.972 EE - 0.907 ash \quad (R^2 = 90)$$

เมื่อ GP คือ Gas production (ml), ME คือ Metabolizable energy (MJ/kg DM), NEL คือ Net energy (MJ/kg DM), OMD คือ Organic matter digestibility, NFC คือ Non fiber carbohydrate, CF คือ Crude fiber, CP คือ Crude protein และ EE คือ Crude fat

2.3.4.2 การวัดการย่อยสลายได้โดยใช้ถุงในลอน (*In sacco* or *In situ* method, Nylon bag technique)

อาหารที่สัตว์กินเข้าไปนั้น จะให้คุณค่าทางโภชนาได้มากน้อยต่างกันขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายได้ อัตราการย่อยสลายและการย่อยได้ของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก นอกจากนี้ระยะเวลาที่อาหารอยู่ในกระเพาะก็มีผลต่อการย่อยสลาย ถ้าอาหารอยู่นานก็มีโอกาสที่จะย่อยสลายได้มากขึ้นโดยเฉพาะพวกอาหารหยาบ ซึ่งค่าดังกล่าวนี้มีสหสัมพันธ์กับปริมาณอาหารที่กินได้ เพราะถ้าอาหารมีอัตราการย่อยได้สูง และมีอัตราการไหลผ่านของอาหารออกจากกระเพาะหมักเร็ว สัตว์ก็จะกินอาหารได้มากทำให้ได้รับโภชนาสามารถให้ผลผลิตตอบแทนสูงตามไปด้วย ดังนั้นการทราบค่าดังกล่าวก็เป็นประโยชน์ในการทำนายคุณค่าของอาหารเหล่านั้นได้

การใช้ถุงในลอนเป็นอีกวิธีหนึ่งที่เป็นที่นิยม เพราะทำได้ง่าย สะดวก ประหยัดเวลา แรงงาน และค่าใช้จ่ายกว่าที่ศึกษาในตัวสัตว์

วิธีการนี้ทำโดยใส่ตัวอย่างอาหารที่บดละเอียดขนาด 1-2 มิลลิเมตร ประมาณ 3-5 กรัม ลงในถุงผ้าใยสังเคราะห์ที่มีขนาด 5 x 7 ซม. ที่ทนต่อการย่อยเช่น ผ้าไนลอน หรือ ดาครอน (Dacron) ถุงมีรูพรุนขนาดประมาณ 20-40 μm เพื่อไม่ให้อาหารหลุดออกมาและให้จุลินทรีย์สามารถเข้าไปย่อยสลายอาหารในถุงได้ นำถุงไปหย่อนลงในกระเพาะหมักของโคเจาะกระเพาะไว้แล้ว โดยแช่ไว้ที่ระยะเวลาต่างๆ กัน เช่น 4, 8, 12, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมงสำหรับอาหารหยาบ และ แช่ที่เวลา 2, 4, 8, 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง สำหรับอาหารข้น หรือแล้วแต่ความเหมาะสมของอาหารแต่ละชนิด เมื่อครบกำหนดเวลาแล้วนำตัวอย่างอาหารไปล้าง อบ เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณวัตถุแห้ง โปรตีน อินทรีย์วัตถุ หรือโภชนาอื่นๆ ที่ต้องการศึกษา เมื่อนำมาหักกลบจากปริมาณตัวอย่างตั้งต้นก็จะทราบปริมาณโภชนาที่หายไปถือว่าเป็นส่วนที่ย่อยสลายได้ อย่างไรก็ตามมีปัจจัยหลายอย่างที่เกี่ยวข้องต่อผลการประเมินการย่อยได้โดยใช้ถุงในลอน เช่น ขนาดถุง ขนาดของรูพรุน ขนาดอนุภาคของชิ้นอาหาร ปริมาณตัวอย่าง ช่วงระยะเวลาการจุ่มแช่ถุง ชนิดของสัตว์ทดลอง ชนิดของอาหารที่ให้กับสัตว์ทดลอง อัตราการไหลผ่านของอาหารที่ไม่ถูกย่อยสลายจากกระเพาะหมัก (วิศิษฐพร สุขสมบัติ, 2541) เหล่านี้เป็นต้น

ส่วนของโภชนาที่หายไปเป็นเวลา 0 ชั่วโมง วัดได้จากการล้างถุงในน้ำเย็นธรรมดา ส่วนค่าที่ได้จากเวลาอื่นๆ จะนำมาเข้าสมการ Exponential เพื่อหาค่าการย่อยสลายของโภชนา (Degradability, p) (Ørskov and McDonald, 1979) ซึ่งภายหลังได้พัฒนาให้ดีขึ้นโดย McDonald (1981)

$$p = a + b(1 - e^{-ct})$$

เมื่อ $p = \%$ โภชนะที่ย่อยได้ที่เวลา t (Dagradaion at time, t) ; $a =$ ส่วนที่ละลายได้ทันทีในน้ำ (Immediately soluble material or Washing loss, $\%$) ; $b =$ ส่วนที่ไม่ละลายแต่สามารถหมักย่อยได้ (Insoluble but potentially fermentable material, $\%$) ; $(a+b) =$ การย่อยสลายได้สูงสุด (Potential degrabability, $\%$) ; $c =$ อัตราการย่อยสลาย (Degradability rate constant, Fraction/h) ; $t =$ เวลา

จากสมการสามารถคำนวณค่า การย่อยสลายได้สูงสุด (Potential degrabability) จาก $(a+b)$ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วค่า $(a+b)$ จะต้องไม่เกิน 100 % ถ้านำค่าอัตราการไหลผ่านของอาหาร (Outflow rate) ในกระเพาะหมัก มาร่วมในการคำนวณเพื่อปรับค่า Degradability ให้ใกล้เคียง *In vivo* study ยิ่งขึ้น ซึ่งค่า อัตราการไหลผ่านจะผันแปรจาก 0.02 ถึง 0.08/h ตั้งแต่ระดับที่สัตว์ได้รับอาหารในระดับดำรงชีพจนถึงสัตว์ที่ได้รับอาหารอย่างเต็มที่ และมาก ๆ เช่น ในโคนมที่ให้ผลผลิตสูง แต่ในกรณีที่สัตว์ได้รับอาหารปกติทั้งอาหารหยาบและอาหารข้นและได้รับอาหารหยาบในระดับดำรงชีพ ค่า k ควรจะเป็น 0.05/h (Ørskov and McDonald, 1979) การคำนวณใช้สมการข้างล่าง และค่า Degradability ที่ได้เรียกว่า Effective degradability (% ED) และ อัตราการไหลผ่านใช้สัญลักษณ์ k ดังสมการ

$$ED = a + bc/(c+k) \quad (\text{Ørskov and McDonald 1979})$$

ต่อมา Ørskov et al. (1988) ได้ทดลองใช้วิธีการใช้ถุงในล่อนี้ในการทำนายปริมาณวัตถุดิบที่กินได้ (Dry matter intake, DMI) ปริมาณวัตถุดิบที่ย่อยได้ที่สัตว์ได้รับ (Digestible dry matter intake, DDMI) และอัตราการเจริญเติบโต (Growth rate) ของโคตอนลูกผสมได้ โดยนำค่า a, b, c ที่ได้จาก Nylon bag ไปเข้าสมการ Multiple regression ก็สามารถทำนายค่าต่างๆ ได้ดีซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Shem et al. (1995) ที่ใช้ Nylon bag ประเมินคุณค่าทางอาหารของอาหารหยาบ 18 ชนิด พบว่าค่า a, b, c ที่ได้จาก Nylon bag มีค่าสหสัมพันธ์ค่อนข้างสูงกับค่า DMI และ DDMI และยังใช้ทำนายการเจริญเติบโตของโครุ่นได้ด้วย โดยใช้สมการ Multiple regression เพื่อการทำนายดังนี้

$$DMI \text{ (kg/d)} = -8.286 + 0.266a + 0.1028b + 17.696c \quad (r = 0.90)$$

$$DDMI \text{ (kg/d)} = -7.609 + 0.219a + 0.08b + 24.191c \quad (r = 0.93)$$

$$\text{Growth rate (kg)} = -0.649 + 0.017a + 0.006b + 3.87c \quad (r = 0.93)$$

นอกจากนี้ วิธีการ Nylon bag ยังใช้ในการประเมินคุณค่าทางอาหารได้โดยนำค่า a, b และ c มาใช้ในการคำนวณค่า Index value = $a + 0.38b + 66.6c$ (Kibon and Ørskov, 1993 อ้างโดย บุญล้อม ชีวะอิสระกุล และคณะ 2541)

2.4 จุลินทรีย์วิทยาในกระเพาะหมัก (Rumen Microbiology)

2.4.1 ระบบนิเวศน์วิทยาของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก

ระบบนิเวศน์วิทยาภายในกระเพาะหมักค่อนข้างยุ่งยากซับซ้อน และมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ทั้งนี้ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับอาหารที่สัตว์กินเข้าไป ประชากรจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก จะถูกควบคุมโดยความสมดุลของนิเวศน์วิทยาภายในกระเพาะหมักเอง สภาพภายในกระเพาะหมักมีลักษณะเฉพาะตัวหลายอย่าง และแตกต่างไปจากระบบการหมักในสภาพไร้ออกซิเจนอื่นๆ ส่วนที่สำคัญของสภาวะในกระเพาะหมักคือ สามารถรักษาระดับของอุณหภูมิได้ การแปรปรวนของระดับน้ำและอาหารที่ตกเข้าไปในกระเพาะหมัก การหมักอาหารจะเป็นการผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้ (Volatile fatty acid, VFA) ส่วนความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของกระเพาะหมักจะอยู่ในช่วง 6-7 และมีอุณหภูมิอยู่ที่ 39° ซึ่งค่อนข้างจะคงที่

จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักส่วนใหญ่เป็นพวก Obligate anaerobes คือ จะอยู่ได้ในสภาพที่มีออกซิเจนอยู่บ้าง อาจถูกนำมาใช้ประโยชน์ในขบวนการหมักโดยใช้เป็นตัวให้อิเล็กตรอน แต่การมีระดับของออกซิเจนมากเกินไปอาจจะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์พวกนี้ได้ ระดับของออกซิเจนที่มีจะทำให้ความสมดุลเปลี่ยนแปลงไป รวมทั้งการสังเคราะห์ก๊าซมีเทนในกระเพาะหมัก การดูดซึมออกของกรดที่ผลิตได้ในกระเพาะหมัก จะมีผลกระทบต่อความสมดุลภายในของกระเพาะหมัก นอกจากนั้นยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีอิทธิพลอีกมากมาย

2.4.2 สภาพที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์

2.4.2.1. pH ที่เหมาะสม กรดที่ถูกผลิตในกระเพาะหมักมีปริมาณมากพอที่จะทำให้ pH ลดลงเหลือ 2.5-3.0 ได้ แต่เนื่องจาก Phosphate และ Bicarbonate ในน้ำลายที่สัตว์หลั่งออกมาทำหน้าที่เป็น Buffer คอยต้านความเป็นกรดนี้ไว้ ขณะเดียวกันกรดที่เกิดขึ้นก็จะถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะหมักอย่างรวดเร็ว จึงทำให้ pH ในกระเพาะหมักไม่ลดลงมากนัก โดยทั่วไปถ้าโคได้รับอาหารข้นและอาหารหยาบในสัดส่วนที่เหมาะสม pH จะอยู่ในประมาณ 5.8-6.5

24.2.2. สภาพไร้ออกซิเจน จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักส่วนใหญ่เป็นประเภทที่ไม่ชอบออกซิเจน (Obligate anaerobes) ถ้าถูกออกซิเจนจะตาย ดังนั้นออกซิเจนที่เข้ามายังกระเพาะหมักเมื่อสัตว์กินอาหารจึงต้องถูกใช้ไปอย่างรวดเร็วเพื่อรักษาสภาพนี้ไว้และในสภาพที่ไร้ออกซิเจนนี้ Hydrogen ion ที่เกิดขึ้นจากการหมักจะถูกจับไว้โดยคาร์บอนไดออกไซด์เกิดเป็นมีเทน

2.4.2.3. อุณหภูมิที่เหมาะสม คือประมาณ 38-42 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิของตัวสัตว์

2.4.3 ชนิดของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก

จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักนั้นมีอยู่มากและต่างสปีชีส์กัน ที่พบนั้นไม่ได้มีแหล่งกำเนิดเพียงในกระเพาะหมักเท่านั้น แต่อาจติดมากับอาหารหรือมาจากสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เนื่องจากสภาวะภายในกระเพาะหมักนั้นเป็นระบบไร้ออกซิเจนและมีอัตราการเปลี่ยนแปลงสูง จึงทำให้กลุ่มจุลินทรีย์ที่สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาวะที่มีอาหาร (Substrate) และมีความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสมเท่านั้น โดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่มีอัตราการเจริญเติบโตสูง อัตราการขยายตัวของจุลินทรีย์ควรจะสูงกว่าอัตราการไหลออกของของเหลวในกระเพาะหมักเพราะทั้งแบคทีเรียและโปรโตซัวจะเกาะติดอยู่กับอนุภาคของอาหาร ในขณะที่ Feed particles ไหลผ่านออกจากกระเพาะหมักอย่างต่อเนื่อง แบคทีเรียบางส่วนจะหลุดจากการเกาะติดอยู่กับ Feed particles จะไหลผ่านไปยัง Omasum และ Abomasum หลังจากนั้นจะถูกเอนไซม์ใน Abomasum ย่อยสลายได้สารอาหารที่สัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ฉะนั้นแบคทีเรียที่หลุดจากการเกาะติด Feed particles และปะปนอยู่ใน Rumen fluid จะเป็นตัวที่มีบทบาทสำคัญในการขยายพันธุ์และเข้าเกาะติด Feed particles ใหม่เพื่อการย่อยต่อไป

2.4.3.1 แบคทีเรีย

เป็นชนิดที่มีมากที่สุดในการเพาะหมักและสามารถจำแนกได้หลายแบบ เช่น จำแนกตามส่วนต่างในกระเพาะหมักที่แบคทีเรียยึดเกาะอยู่ หรือจำแนกตามการใช้ประโยชน์อาหารหรือผลผลิตที่สังเคราะห์ได้ (ตารางที่ 2.1)

2.4.3.2 เชื้อรา (The phycomycetous fungi)

กลุ่ม Anaerobic fungi เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่เพิ่งจะพบ อาจมีปริมาณถึง 8% ของจุลินทรีย์ทั้งหมดโดยทำหน้าที่เกี่ยวกับการหมักย่อยอาหารในกระเพาะหมัก โดยพบว่าเชื้อราเหล่านี้ฝังตัวอยู่ในเยื่อใยของอนุภาคอาหาร และเชื่อว่ามีส่วนช่วยย่อยสลายพวกเซลลูโลส เชื้อราในระหว่างการแพร่พันธุ์ประกอบด้วย sporangium ซึ่งเกิดจากเส้นใย Rhizoids เจริญเติบโตบนผิวของเยื่อใยอาหาร Sporangium ที่เจริญเติบโตเต็มที่แล้วจะผลิต Zoospores เพื่อขยายพันธุ์ต่อไป

ตารางที่ 2.1 ชนิดของแบคทีเรียที่สำคัญที่ย่อยสลายอาหารในกระเพาะหมักแบ่งตามอาหารที่หมักย่อย

Major Cellulolytic species	Major Lipid –utilizing species
<i>Bacteroides succinogenes</i>	<i>Anaerobaculum lipolytica</i>
<i>Ruminococcus flavefaciens</i>	<i>Butyrivibrio fibrisolvens</i>
<i>Ruminococcus albus</i>	<i>Treponema bryantii</i>
<i>Butyrivibrio fibrisolvens</i>	<i>Eubacterium</i> sp.
<i>Cellobacterium cellulosolvens</i>	<i>Fusocillus</i> sp.
<i>Clostridium lochheadii</i>	<i>Micrococcus</i> sp.
<i>Cellulomonas fimi</i>	Major amylolytic species
<i>Eubacterium</i> spp.	<i>Bacteroides amylophilus</i>
Major Hemicellulolytic species	<i>Streptococcus bovis</i>
<i>Butyrivibrio fibrisolvens</i>	<i>Succinimonas amylolytica</i>
<i>Ruminococcus albus</i>	<i>Bacteroides ruminicola</i>
<i>Ruminococcus flavefaciens</i>	Major Ureolytic species
<i>Bacteroides ruminicola</i>	<i>Succinivibrio dextrinosolvens</i>
Major Pectinolytic species	<i>Selenomonas</i> sp.
<i>Lachnospira multiparus</i>	<i>Bacteroides ruminicola</i>
<i>Streptococcus bovis</i>	<i>Ruminococcus bromii</i>
<i>Succinivibrio dextrinosolvens</i>	<i>Butyrivibrio</i> sp.
<i>Treponema bryantii</i>	<i>Treponema</i> sp.
cellulolytic and hemicellulolytic species	Major methane-producing species
Major sugar-utilizing species	<i>Methanobrevibacter ruminantium</i>
<i>Treponema bryantii</i>	<i>Methanobacterium formicicum</i>
<i>Lactobacillus vitulinus</i>	<i>Methanomicrobium mobile</i>
<i>Lactobacillus ruminus</i>	Major Acid-utilizing species
Major proteolytic species	<i>Megasphaera elsdenii</i>
<i>Bacteroides amylophilus</i>	<i>Selenomonas ruminantium</i>
<i>Bacteroides ruminicola</i>	Major Ammonia-producing species
<i>Butyrivibrio fibrisolvens</i>	<i>Bacteroides ruminicola</i>
<i>Streptococcus bovis</i>	<i>Megasphaera elsdenii</i>
	<i>Selenomonas ruminantium</i>

บทบาทของเชื้อราโดยพบว่า เชื้อราจะเข้าไปย่อยสลายส่วนของเยื่อใยอาหารเป็นกลุ่มแรก โดยย่อยจากส่วนด้านในก่อน เชื้อราจะช่วยลดการจับยึดแน่นของอนุภาคของอาหาร จึงเป็นการเพิ่มการปลดปล่อยของอนุภาคอาหารได้มากยิ่งขึ้นในระหว่างการเคี้ยวเอื้อง การที่เชื้อราทำให้ผิวหนังของอาหารแตกเปราะ จะเป็นการช่วยสนับสนุนให้แบคทีเรียเข้ายึดเกาะและย่อยสลายอาหารได้ง่าย และมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ดังนั้นเชื้อราในกลุ่มนี้จึงเป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญของการย่อยสลายของผนังเซลล์ของพืชที่ย่อยสลายได้ยาก และช่วยลดการย่อยได้ของเยื่อใยในระยะพักตัวได้คัวย (Lag-phase of fibre digestion) สปีชีส์ที่สำคัญที่พบในกระเพาะหมักของแกะ คือ *Neocallimastix frontalis*, *Piramonas communis* และ *Sphaeromonas communis* เชื้อราในกลุ่มนี้จะช่วยย่อยแวนจับตัวของเฮโมเซลลูโลส และลิกนิน (hemicellulose, lignin complex) และช่วยทำให้ลิกนินสลายได้ในกระเพาะหมัก แต่จะไม่ได้ย่อยลิกนินโดยตรง ซึ่งจะช่วยให้เยื่อใยตัวอื่นที่ครอบคลุมไว้โดยลิกนินได้มีโอกาสให้แบคทีเรียเข้าย่อยสลายได้ (เมธา วรรณพัฒน์, 2533)

2.4.3.3 โปรโตซัวในกระเพาะหมัก (Rumen protozoa)

โปรโตซัวมีขนาดใหญ่กว่าแบคทีเรีย ส่วนใหญ่เป็นพวกที่มีขน (Ciliated protozoa) แต่ก็มีบางสปีชีส์ที่เป็น Flagellated protozoa ซึ่งพบในกระเพาะหมักของสัตว์ในระยะแรกเกิดเท่านั้น แหล่งอาหารที่สำคัญของโปรโตซัว ในกระเพาะหมัก คือโปรตีนไม่ว่าจะมาจากแหล่งพืชหรือสัตว์ ส่วนแหล่งพลังงานจะประกอบด้วยพวกน้ำตาล แป้งและอาจจะเป็พวกเซลลูโลสและเฮโมเซลลูโลส ซึ่งอาจจะถูกย่อยได้โดยพวก Entodiniomorphs แป้งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของโปรโตซัว รวมทั้งพวก Epidinium และ Ophryoscolex พวก Holotrichs จะใช้พวกแป้ง และสารประกอบอื่น ที่ละลายง่ายของอาหาร แต่พวก Entodiniomorphs จะใช้พวกเศษอาหาร ซึ่งอาจจะเป็คลอโรพลาสต์ หรือพวกแบคทีเรียที่มีขนาดเล็กกว่า ซึ่งการกินอาหารของโปรโตซัวนี้มีทั้งข้อดีและข้อเสีย เพราะมันสามารถเก็บคาร์โบไฮเดรตไว้ในรูป Amylopectin เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานในยามขาดแคลนได้ และถ้าสัตว์ได้รับอาหารชั้นสูง การเก็บแป้งและน้ำตาลไว้ในตัวโปรโตซัวนี้สามารถช่วยลดความรุนแรงของการเกิดสภาพกรด (Acidosis) ในกระเพาะหมักได้ แต่การกำจัดโปรโตซัวออกจากกระเพาะหมัก จะทำให้ประชากรของแบคทีเรียเพิ่มขึ้นและมีกรย่อยได้ของเยื่อใยสูงขึ้น จำนวนโปรโตซัวจะเพิ่มจำนวนหลังกินอาหารใหม่ๆ และจะเริ่มลดลงเรื่อยๆ ต่างจากแบคทีเรียที่จะเพิ่มจำนวนมากขึ้นเรื่อยๆ หลังกินอาหาร (Goad et al., 1998)

การหมักอาหารโดยโปรโตซัวจะได้กรดอะซิเตท กรดบิวทิเรท และไฮโดรเจนเป็นส่วนใหญ่ แต่ถ้ามีการหมักแป้งมากอาจจะได้กรดแลคติก ส่วนกรดโพรพิโอนิกนั้นจะเป็นส่วนน้อย บทบาทของโปรโตซัวในกระเพาะหมักนั้นมีการศึกษาน้อยมาก แต่การที่โปรโตซัวกินแบคทีเรียเป็นอาหารจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพการย่อยอาหาร โดยเฉพาะสารเยื่อใยในกระเพาะหมักลดลง

การสังเคราะห์โปรตีนลดลง นอกจากนั้นยังมีผลทำให้อัตราการผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้ลดลง โดยเฉพาะในการที่สัตว์ได้รับอาหารพลังงานในระดับสูง พบว่าสัดส่วนของ $C_2 : C_3$ จะต่ำลงถ้าในกระเพาะหมักขาดโปรโตชีวพวกมีขน นอกจากนั้นพบว่าการอยู่ร่วมกันและให้ประโยชน์ซึ่งกันและกัน (Symbiotic relationship) ของโปรโตชีวที่มีขนและแบคทีเรียพวกผลิตกรดมีเทนซึ่งเกาะตามผิวของโปรโตชีว

2.4.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประชากรของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก

มีปัจจัยหลายอย่างที่มีส่วนทำให้อัตราการเจริญเติบโตและจำนวนของจุลินทรีย์เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เช่น ชนิดของอาหาร โดยพบว่า การให้อาหารที่มีสัดส่วนอาหารหยาบสูงจะทำให้แบคทีเรียพวกที่ย่อยแป้งและโปรโตชีวมีต่ำกว่าการให้อาหารเมล็ดธัญพืชสูง หรืออาหารที่มีสัดส่วนอาหารชั้นสูงแต่ในทางกลับกันก็จะมีแบคทีเรียที่ย่อยเยื่อใยอยู่สูงกว่า (Goad et al., 1998 ; Martin et al., 1999) ชนิดของสัตว์ ระยะการเจริญเติบโตของสัตว์ ลักษณะสภาพภายในของกระเพาะหมัก โดยมากมีผลต่อ pH ในกระเพาะหมัก และ pH ในกระเพาะหมักมีความสำคัญต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ และการเกิดกรดชนิดต่างๆ โดยจุลินทรีย์ที่ย่อยเยื่อใยจะเจริญและทำงานได้ดีที่ pH ประมาณ 6.2-6.8 และจะลดประสิทธิภาพลงเมื่อ pH ต่ำกว่า 6 เป็นผลให้การผลิตกรดอะซิติกลดลง ส่วนจุลินทรีย์ที่ย่อยแป้งจะชอบ pH ที่เป็นกรดมากกว่า คือ ประมาณ 5.2-6.0 นอกจากนี้ pH ต่ำกว่า 5.5 จะยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ที่ใช้กรดแลกติก ทำให้มีกรดแลกติกสะสมมาก และถ้า pH ต่ำกว่า 5 จุลินทรีย์ที่ย่อยแป้งจะทนอยู่ไม่ได้ และสัตว์จะเกิดโรค Acidosis (บุญล้อม ชีวะอิสระกุล, 2541)

การมีการย่อยคาร์โบไฮเดรตอย่างต่อเนื่องเพื่อรักษาสภาพการหมักย่อยและเพื่อเป็นแหล่งสารอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อประสิทธิภาพการใช้ ATP อัตราการหมักย่อยจะต้องสอดคล้องกับอัตราการนำสารอาหารต่าง ๆ เช่น แอมโมเนีย เปปไทด์ ซัลเฟอร์ กรดอะมิโน และ โภชนะอื่น ๆ ไปใช้ประโยชน์โดยจุลินทรีย์ (San Emeterio et al., 2000 ; Leiva et al., 2000)

ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการสังเคราะห์เซลล์จุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก ได้แก่

1. ความเข้มข้นของสารอาหารที่ใช้ในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ใน Rumen fluid เช่น Glucose, Nucleic acids, Amino acids, Peptides, Ammonia และ Minerals (S, K, P)
2. ความต้องการโภชนะเพื่อการดำรงชีพของจุลินทรีย์
3. การเปลี่ยนแปลงจำนวนเซลล์ของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก

4. การเข้าทำลายแบคทีเรียของโปรโตซัว

2.4.5 ส่วนประกอบทางโภชนาของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก

แบคทีเรียและโปรโตซัวซึ่งตกลงไปยังกระเพาะแท้ จะเป็นแหล่งโภชนาที่สำคัญในการใช้ประโยชน์ของสัตว์ ส่วนประกอบทางโภชนาจะแปรปรวนมาก โดยเฉพาะส่วนที่ย่อยไม่ได้ คือผนังเซลล์ของเซลล์เมนเบรน ซึ่งในแบคทีเรียประกอบด้วย Peptidoglycan คิดเป็น 7 % ของไนโตรเจน หรือ 1/3 ของไนโตรเจนทั้งหมด การย่อยของโปรโตซัวจะมีค่าสูงกว่าของแบคทีเรียนอกจากนั้นแบคทีเรียยังประกอบด้วยกรดนิวคลีอิก 7% ที่เหลืออีก 1/3 หรือ 2/3 ของไนโตรเจนทั้งหมดเป็นโปรตีนแท้ (True protein) นอกจากนั้นแล้ว จุลินทรีย์ยังประกอบด้วยไขมันในปริมาณสูง มีแป้งและแร่ธาตุอีกด้วย เซลล์จุลินทรีย์เหล่านี้จะเป็นแหล่งโภชนาที่มีคุณค่าทางอาหารสูง สัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อร่างกายได้ โภชนาหลักๆ ที่มีอยู่ในเซลล์จุลินทรีย์ประกอบด้วยโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน (ตารางที่ 2.2) ปริมาณของกรดอะมิโน Leucine, Phenylalanine, Lysine และ Tyrosine ที่มีอยู่ในโปรโตซัวสูงกว่าในแบคทีเรีย ปริมาณของกรดอะมิโนในผนังเซลล์ของแบคทีเรียจะแตกต่างไปจากส่วนที่อยู่ในส่วนประกอบของเซลล์ โดยปริมาณของกรดอะมิโนในผนังเซลล์จะต่ำกว่า คิดเป็น 15 % ของทั้งหมดโดยน้ำหนักแห้ง โปรตีนที่อยู่ในส่วนนี้จะมีลักษณะต่อต้านการย่อยสลายของน้ำย่อย จึงมีผลทำให้การย่อยได้ของโปรตีนลดลง และทำให้ Net protein utilization ลดต่ำลงมาก

แสดงให้เห็นว่าควรมีการเพิ่มปริมาณของโปรโตซัวในกระเพาะหมักซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้อาหารที่มีปริมาณของอาหารหยาบสูง ซึ่งจะทำให้ประชากรของโปรโตซัวมากพอๆ กับของแบคทีเรีย อย่างไรก็ตามผลที่เกิดขึ้นยังไม่แน่นอน เพราะมีปัจจัยอื่นๆ มาเกี่ยวข้องมากกว่านี้

ไนโตรเจนที่เป็นส่วนประกอบของแบคทีเรียอยู่ในรูปของโปรตีน 80% และกรดนิวคลีอิก 20% (NRC, 1988) กรดนิวคลีอิกในกระเพาะหมักนั้นส่วนใหญ่แล้วจะได้มาจากเซลล์ของจุลินทรีย์ในการใส่กรดนิวคลีอิกลงไปของเหลวจากกระเพาะหมัก ทั้ง RNA และ DNA จะถูกสลายตัวอย่างรวดเร็ว แต่ที่กระเพาะจริงจะไม่มีมีการการย่อยสลายตัวของกรดเหล่านี้ จึงแสดงให้เห็นว่าสัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถผลิตกรดนิวคลีอิกได้ในปริมาณที่สูงและตลอดเวลา เพื่อส่งต่อไปยังลำไส้เล็ก

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบทางเคมีของแบคทีเรียและโปรโตซัวในกระเพาะหมัก

	Bacteria	Protozoa
Chemical composition(g/kg)		
Nitrogen	77.7	63.6
Carbohydrate	155.2	381.0
Lipids	101.0	91.0
Ash	168.5	64.5
Composition of N g/100 g		
RNA	10.0	8.7
DNA	5.2	2.5
AA-N (amino acid nitrogen)	82.5	-

ที่มา : Ørskov, 1986

2.4.6 การหมักคาร์โบไฮเดรต และอาหารในกระเพาะหมัก

End products ของการหมักอาหารทุกชนิดในกระเพาะหมัก คือ VFAs (Acetate, Propionate และ Butyrate) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และ ก๊าซมีเทน ในระหว่างขบวนการหมักพลังงานจะสูญเสียไปในรูปพลังงานความร้อน และก๊าซมีเทน แต่จะมีการผลิตพลังงานในรูป ATP ขึ้นระหว่างขบวนการหมักและยังมีการผลิตสารประกอบอื่นๆ ที่จุลินทรีย์ใช้ประโยชน์เป็นแหล่งพลังงานในการเจริญเติบโตของเซลล์จุลินทรีย์ เช่น แอมโมเนีย กรดอะมิโน และเปปไทด์ ซึ่งได้จากการสลายโปรตีนในกระเพาะหมัก ในตารางที่ 2.3 แสดงความต้องการอาหารและสารประกอบที่จำเป็นต่อการหมักในกระเพาะหมักของแบคทีเรียบางชนิด ในการหมักย่อยของสัตว์เคี้ยวเอื้องจะมีการสูญเสียพลังงานใช้ประโยชน์ (ME) ถึง 20 % ของพลังงานใช้ประโยชน์ที่สัตว์กินเข้าไป (ME intake) ในรูปของความร้อน และก๊าซมีเทน นอกจากนี้การหมักย่อยในกระเพาะหมัก ยังมีข้อเสียคือ ถ้ามีการหมักย่อยโปรตีนจากอาหาร (Dietary Protein) จะเป็นการสูญเสียแหล่งของ Essential Amino Acids ฉะนั้นในทางโภชนาศาสตร์เคี้ยวเอื้องจึงพยายามที่จะให้มีการหมักย่อยโปรตีนจากอาหารน้อยที่สุด และใช้สารประกอบในรูป Non-protein nitrogen (NPN) เป็นแหล่ง Ammonia สำหรับให้จุลินทรีย์เพื่อการสังเคราะห์โปรตีนในเซลล์ของจุลินทรีย์ การเพิ่มแหล่งอาหารคาร์โบไฮเดรตที่ละลายง่ายเป็นการเพิ่มการกินได้ของพลังงานใช้ประโยชน์ได้และเพิ่มการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุซึ่งจะมีผลทำ

ให้อจุลินทรีย์สามารถนำแอมโมเนียมาใช้ได้ดี และเพิ่มจำนวนโปรตีนจากจุลินทรีย์ (Reis and Combs, 2000)

ตารางที่ 2.3 ความต้องการอาหารและสารประกอบอื่นที่จำเป็นต่อการหมักย่อยในกระเพาะหมักของ
แบคทีเรียบางชนิด

Genus and species	Substrate	Fermentation products	Requirements
Bacteroides			
amylophilus	Starch	Formate, acetate, succinate	VFA, CO ₂ , NH ₃
succinogenes	Cellulose	Formate, acetate, succinate	VFA, CO ₂ , NH ₃
Ruminococcus			
albus	Cellulose, xylan	Formate, acetate, ethanol, CO ₂ , H ₂	VFA, CO ₂ , NH ₃ B vitamin
flavefaciens	Cellulose, xylan	Formate, acetate, succinate, H ₂	
Butyrivibrio			
fibrosolvens	Xylan, starch	Formate, acetate, butyrate, lactate, CO ₂ , H ₂	VFA, CO ₂ , NH ₃ , B vitamin, acetate
Lachnospira			
multiparus	Pectin	Formate, acetate, lactate, ethanol, CO ₂ , H ₂	acetate, B vitamin
Selenomonas			
ruminantium	Lactate, starch	acetate, propionate, lactate, CO ₂ , H ₂	acetate,
Methanobacterium			
ruminantium	Formate, H ₂	Methane	Acetate, Heme, VFA, CO ₂ , NH ₃

ที่มา : Hungate , 1966 อ้างโดย เมธา วรณพัฒน์, 2533

2.4.7 บทบาทของแอมโมเนียในการหมักย่อย

ปริมาณความเข้มข้นของ แอมโมเนียใน Rumen fluid มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์กรดอะมิโนหรือ โปรตีนของจุลินทรีย์ ถ้าใน Rumen fluid มีแอมโมเนียอยู่ในระดับต่ำ การเปลี่ยนแอมโมเนีย ไปเป็นกรดอะมิโน จะต้องการ ATP แต่เมื่อระดับแอมโมเนียใน Rumen fluid สูงกว่าระดับต้องการ การเปลี่ยนของแอมโมเนียเพื่อสังเคราะห์ กรดอะมิโนไม่ต้องใช้ ATP

อัตราการสังเคราะห์เซลล์จุลินทรีย์จะสูงสุดเมื่อระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียอยู่ในระดับที่เป็นสัดส่วนที่พอเหมาะกับความเข้มข้นของพลังงานที่ย่อยสลายได้ง่ายในกระเพาะหมัก แต่ระดับของแอมโมเนียและพลังงานจะขึ้นอยู่กับอาหารที่สัตว์กินเข้าไปด้วย ซึ่งระดับความต้องการของแอมโมเนียอาจสูงถึง 150-200 mg $\text{NH}_3\text{-N/l}$ rumen fluid

2.5 อาหารพลังงานและเมตาบอลิซึมของพลังงาน

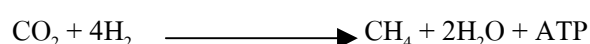
แหล่งอาหารพลังงานของสัตว์เคี้ยวเอื้องส่วนใหญ่คือ คาร์โบไฮเดรต และไขมันเป็นส่วนน้อย คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญต่อจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักและตัวสัตว์เอง คาร์โบไฮเดรตในพืชคือ ส่วนที่เป็นโครงสร้าง เช่น Cellulose, Hemicellulose, Lignin และ Pectin ส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้างเช่น แป้งและน้ำตาล ไขมันในพืชอาหารสัตว์ มีประมาณ 4-6 เปอร์เซ็นต์ตัวตุ๊กแห้ง ซึ่งประกอบด้วย Glycerides, Waxes, Sterols และ Phospholipids กรดไขมันในพืชอาหารสัตว์ มีทั้งชนิดที่อิ่มตัวและไม่อิ่มตัว แต่ชนิดที่ไม่อิ่มตัวจะมากกว่า

การหมักอาหารในกระเพาะหมักผลผลิตสุดท้ายได้เป็นกรดไขมันสายสั้นที่ระเหยได้ง่าย และท้ายที่สุดแล้วก็จะนำไปสร้างเป็นแหล่งกลูโคสหรือ ผ่านขบวนการ Oxidation ได้เป็น ATP เพื่อเป็นพลังงานของเนื้อเยื่อของเซลล์ร่างกายต่อไป

2.5.1 การผลิตและการดูดซึมกรดไขมันระเหยได้ง่ายในกระเพาะหมัก

หลังจากการหมักคาร์โบไฮเดรตชนิดต่างๆ ในกระเพาะหมักแล้วผลผลิตที่ได้คือ สารประกอบที่มีธาตุคาร์บอนอยู่ 3 ตัว เช่น Pyruvate และ Lactate จากนั้น Pyruvate ก็จะมีการหมักต่อ กระทั่งได้ผลผลิตสุดท้ายเป็น กรดไขมันระเหยได้ง่าย ชนิดต่างๆ ซึ่งทิศทางการหมักของคาร์โบไฮเดรตชนิดต่างๆ และผลผลิตที่ได้แสดงไว้ตามภาพที่ 2.1 การหมักย่อยคาร์โบไฮเดรต 1

โมล จะให้ Acetate 2 โมล หรือ Propionate 2 โมล หรือ Butyrate 1 โมล ซึ่งเขียนเป็นสมการสรุปได้ดังนี้



กรดไขมันระเหยได้ง่ายจะถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะหมักแบบ Free diffusion ได้ไม่ต้องอาศัยพลังงานในรูป ATP เป็นตัวช่วยในการดูดซึม ระดับความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมักมีผลต่อการดูดซึม ถ้า pH ต่ำหรือเป็นกรดจะทำให้มีการดูดซึมได้ดีขึ้นกว่าสภาพเป็นด่าง อัตราการดูดซึมจะมีค่าสูงเรียงตามลำดับคือ $\text{C}_4 > \text{C}_3 > \text{C}_2$

2.5.2 แหล่งของกลูโคส

กลูโคสที่สัตว์นำไปใช้เป็นประโยชน์ต่อร่างกายจะได้มาจากการดูดซึมจาก ลำไส้เล็กและมาจากขบวนการ Gluconeogenesis ซึ่งเกิดขึ้นที่ตับและไตส่วน Cortex ซึ่งถ้าหากว่ามีอาหารพวกแป้ง แหล่งของกลูโคสที่ลงไปสู่ทางเดินอาหารส่วนล่างมีน้อยเกินไป อาจจะทำให้ได้กลูโคสที่จะนำไปใช้ในต่อมน้ำมน้อยลงด้วยและนั่นจะเป็นการจำกัดการผลิตของน้ำนมในโคนม (Hurtaud et al., 2000)

Gluconeogenesis คือขบวนการสังเคราะห์กลูโคส จากสารประกอบต่างๆ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็น Propionate, Amino acids, Lactate และ Glycerol

Propionate เป็นแหล่งที่มีความสำคัญที่สุดในการผลิตกลูโคส สำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ได้รับอาหารแต่ไม่มีการดูดซึมเอากลูโคสจากลำไส้เล็กไปใช้โดยตรง ในโคนมพบว่า 60 เปอร์เซ็นต์ ของกลูโคสได้จากการผลิตจาก Propionate และปริมาณของ Propionate ที่ถูกดูดซึมเข้าไปจะถูกเปลี่ยนเป็นกลูโคสได้ถึง 19 - 60 เปอร์เซ็นต์ (วิศิษฐพร สุขสมบัติ, 2538)

การนำเอา Amino acids ไปสร้างเป็นกลูโคสนั้นจะมีความจำเป็นมากถ้าปริมาณของ Propionate และกลูโคสที่ถูกดูดซึมเข้าไปไม่เพียงพอ เช่นในกรณีที่สัตว์ขาดอาหาร ซึ่งส่วนมากจะเป็นกรดอะมิโนที่ได้จากการปลดปล่อยจากเนื้อเยื่อ โดยเฉพาะ อะลานีน

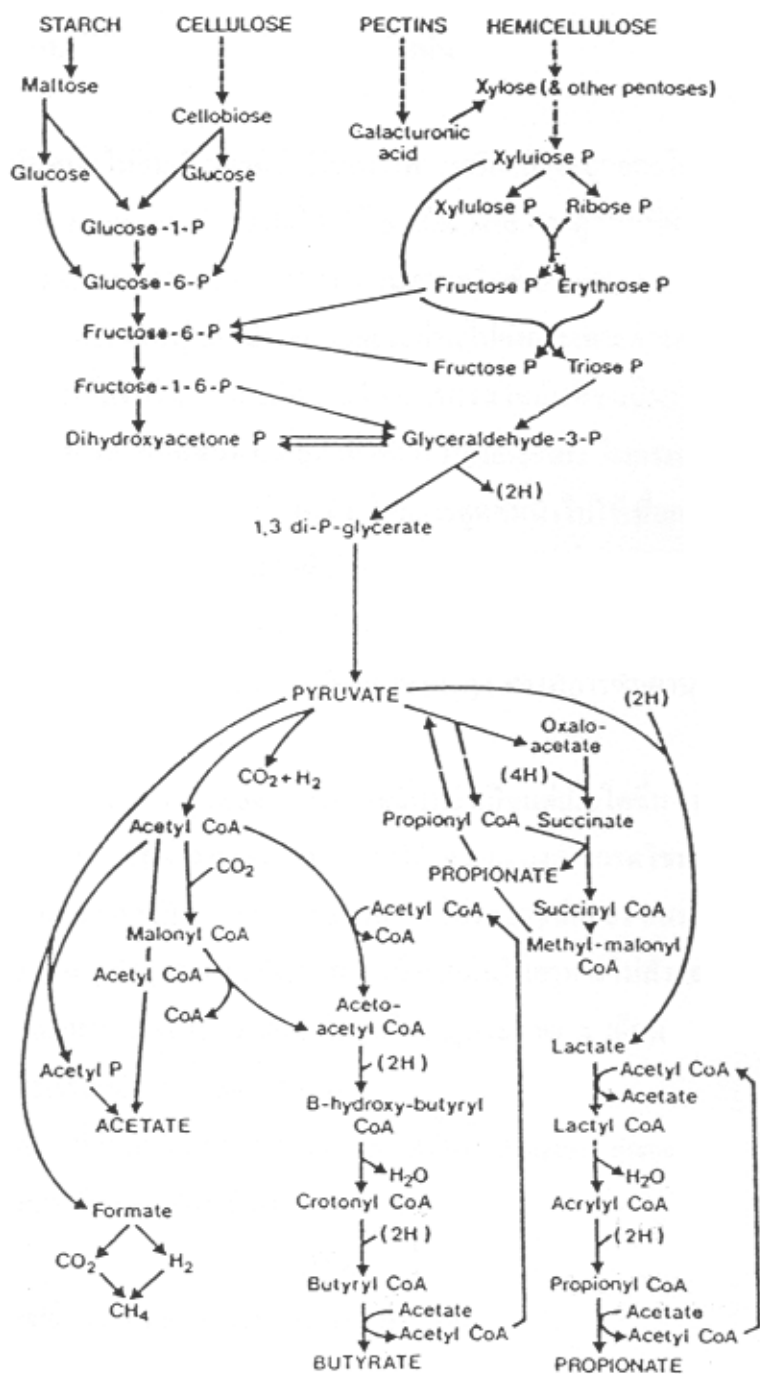
ในขบวนการเมแทบอลิซึม นั้น L-Lactate จะถูกผลิตขึ้นร่วมกับการผลิตPyruvate โดยเฉพาะในสภาวะการขาดออกซิเจน เช่นในขณะออกกำลังกาย จะยิ่งถูกผลิตมากขึ้น Lactate ที่ถูกผลิตขึ้นจะถูกส่งไปยังตับและไตเพื่อผ่านขบวนการ Oxidation หรือขบวนการเปลี่ยนให้เป็นกลูโคสต่อไป

Glycogen ที่สะสมอยู่ในตับและกล้ามเนื้อมีบทบาทมากในการเป็นแหล่งผลิตกลูโคส ในสภาวะที่สัตว์ขาดอาหาร ช่วงออกกำลังกาย และช่วงที่เกิดภาวะเครียด

Glycerol จะเกิดขึ้นเมื่อสัตว์ได้รับกลูโคสจากอาหารไม่เพียงพอ ในกรณีสัตว์ขาดอาหาร จะมีการสังเคราะห์มากขึ้น นอกจากนี้ยังมีสารอื่นๆ อีกเช่น Isobutyric acid และ Valeric acid ที่ผลิตได้ในกระเพาะหมักก็นำมาสังเคราะห์เป็นกลูโคสได้

2.5.3 การควบคุมขบวนการเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต

ระดับความสมดุลของกลูโคสเป็นตัวควบคุม โดยที่มีฮอร์โมน 2 ตัวคือ อินซูลิน (Insulin) และ กลูคาγον (Glucagon) เป็นตัวควบคุมความสมดุลของกลูโคสใน Plasma อีกทีหนึ่ง โดยอินซูลินเป็นตัวควบคุมการนำไปใช้ประโยชน์ของกลูโคสในเนื้อเยื่อ จะยับยั้งขบวนการสังเคราะห์กลูโคสในตับ ยับยั้งการสลายตัวของโปรตีนและไขมันใน Adipose tissue และเพิ่มการกักเก็บ Acetate โดย Adipose tissue ส่วนกลูคาγονจะเป็นตัวกระตุ้นให้มีการเกิดขบวนการ Gluconeogenesis และ Glycogenolysis ขึ้นที่ตับเพื่อสังเคราะห์กลูโคสในกรณีที่ร่างกายขาดกลูโคสเพื่อรักษาระดับของกลูโคสใน Plasma ให้มีความสมดุลอยู่เสมอ การให้อาหาร โปรตีนและพลังงานสูงจะทำให้มีปริมาณของอินซูลินในเลือดสูงขึ้น (Moorby et al., 2000) อาจเป็นเพราะมีกลูโคสและกรดอะมิโนเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งอินซูลินจะเพิ่มสูงมากในโคระยะนมแห้งที่ได้รับอาหารพลังงานและโปรตีนสูง จากนั้นการเพิ่มจะค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ เมื่อสัตว์ใกล้คลอด จนกระทั่งไม่เพิ่มเลยในโคให้นมไปจนถึงช่วงกลางของการให้นม (Moorby et al., 2000) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะโคลดการกินอาหารลงและโคต้องการพลังงานและกลูโคสสูงขึ้นเพื่อการสร้างน้ำนม



ภาพที่ 2.1 ทิศทางการหมักย่อยของคาร์โบไฮเดรตชนิดต่างๆ และผลผลิตที่เกิดขึ้นจากขบวนการหมักใน
กระเพาะหมัก (Leng, 1970 อ้างโดย เมธา วรณพัฒน์, 2533)

2.5.4 เมทาบอลิซึมและความต้องการของไขมัน

กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเมื่อเข้าไปในกระเพาะหมักแล้วจะถูกย่อยโดย เอนไซม์ที่ผลิตจาก จุลินทรีย์ (Lipolytic enzymes) อย่างรวดเร็ว ได้ Stearic acid การดูดซึมที่ผนังกระเพาะหมักจะเกิด น้อยมาก เนื้อเยื่อผนังกระเพาะหมักจะสามารถ เมทาบอลิซ์ Stearic acid ได้อย่างช้าๆ โดยให้ผล ผลิตเป็นสารคีโตน แต่ส่วนใหญ่แล้ว Stearic acid จะผ่านไปยังกระเพาะส่วนท้าย

ในสัตว์เคี้ยวเอื้องที่โตแล้วจะมีความต้องการกรดไขมันที่จำเป็นน้อยมาก ทั้งนี้อาจเป็น เพราะได้รับการที่กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่ไม่ถูก Hydrogenate ในกระเพาะหมักการหลบเลี่ยง เกิดขึ้นจากการได้รับการป้องกันจากโปรโตซัว โดยการดูดซึมนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตของโปร โตซัวเอง ซึ่งจะเห็นว่าในเซลล์ของโปรโตซัวมี กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสูงถึง 20 เปอร์เซ็นต์ ขบวนการ เกิด Hydrogenation ในกระเพาะหมัก เป็นการช่วยลดความเป็นพิษเนื่องจาก Polyunsaturated fatty acid ที่มีต่อจุลินทรีย์ ทั้งนี้เพราะทำให้เกิดแรงตึงผิวสูง ทำให้การซึมผ่านของเซลล์เมมเบรนลด ลง

ในสัตว์แรกเกิดจะมีความต้องการกรดไขมันที่จำเป็นแต่เมื่อโตขึ้น กระเพาะหมักสามารถ ทำงานได้เต็มที่ และสามารถผลิตกรดไขมันระเหยได้ ความต้องการกรดไขมันที่จำเป็นในอาหารจึง ลดลง เพราะสัตว์เคี้ยวเอื้องมีความสามารถในการใช้ประโยชน์และสะสมกรดไขมันที่จำเป็นได้ อย่างมีประสิทธิภาพกว่าสัตว์กระเพาะเดี่ยว การเสริมไขมันในอาหารไม่สำคัญในแง่โภชนะมากนัก การเสริมไขมันในอาหาร 7.68 เปอร์เซ็นต์ ในลูกโคอายุประมาณ 4 เดือน พบว่าไขมันจะไปยับยั้ง การกินได้ และการเจริญเติบโต (Amos, 1986)

การสังเคราะห์ไขมันในสัตว์เคี้ยวเอื้องจะเกิดขึ้นที่ Adipose tissue เป็นหลักประมาณ 92 เปอร์เซ็นต์ และเกิดที่ตับ 5-6 เปอร์เซ็นต์

2.5.5 การใช้ประโยชน์ของไขมันในกระเพาะหมัก

ปริมาณไขมันในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องนั้น จะมีค่าตั้งแต่เล็กน้อยมากจนถึง 10 เปอร์เซ็นต์ของ วัตถุแห้ง ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของ Phospholipids และ Glycolipids กรดไขมันสายยาว (Long chain fatty acids) ที่สำคัญคือ Linolenic 50 เปอร์เซ็นต์, Linoleic 10 เปอร์เซ็นต์ และ Palmitic 15 เปอร์เซ็นต์ กรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว จะถูกไฮโดรไลซ์ในกระเพาะหมักโดยน้ำย่อยไลเปสจากแบคทีเรีย ได้ กรดไขมัน Galactose และ Glycerol ซึ่ง Galactose และ Glycerol จะถูกหมักต่อได้ VFAs กรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวหลังจากถูกไฮโดรไลซ์จะได้ Stearic acid, Palmitic acid และ Oleic acid ซึ่งจะถูกลด

ซึมที่ลำไส้เล็กเท่านั้นแบบที่เรียวยในกระเพาะหมักอาจจะดูดซึมกรดไขมันไม่อิ่มตัวบางตัวเป็นส่วนประกอบของเซลล์ต่อไป การเสริมไขมันในอาหารอาจเป็นการระงับการสูญเสียสมดุลของพลังงานในช่วงหลังคลอดใหม่ๆ มีผลต่อระบบสืบพันธุ์ดีขึ้น แต่กรดไขมันแต่ละตัวมีอิทธิพลต่างกัน Linoleic acid และ Eicosapentaenoic acid พบในปลาป่นจะยับยั้ง Cyclooxygenase ใน Endometrial tissue ของโคนม ซึ่ง Endometrial จะหลั่ง Prostaglandin (PGF_α) อาจทำให้การทำงานของจกจำกัดมีผลต่อการทำงานการป้องกันการตายของตัวอ่อนในระยะแรก ซึ่งขบวนการป้องกันนี้ไขมันจะช่วยจำกัดการหลั่ง estradiol – 17β เป็นผลให้ลดการหลั่ง $\text{PGF}_{2\alpha}$ ในมดลูก และลดความไวในการตอบสนองของ Corpus luteum ต่อ $\text{PGF}_{2\alpha}$ ซึ่งเป้าหมายของการเติมกรดไขมันในอาหารก็คือเพิ่มการตกไข่และการทำหน้าที่ของมดลูกอันเป็นผลต่อประสิทธิภาพของการจัดการระบบสืบพันธุ์ และความสมบูรณ์พันธุ์ (Staples et al., 1998)

2.5.6 ขบวนการเปลี่ยนแปลงพลังงานในกระเพาะหมัก

การที่อาหารถูกหมักในกระเพาะหมักนั้นจะมีผลทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานใช้ประโยชน์ได้ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ในรูปของความร้อนและ CH_4 โปรตีนถ้ามีการใช้เพื่อเป็นแหล่งพลังงาน (ATP) สำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ จะใช้ประโยชน์ได้เพียงครึ่งหนึ่งของพลังงาน โดยเฉพาะโปรตีนที่มีส่วนประกอบของกรดอะมิโนที่จำเป็น แต่การใช้ประโยชน์จากแหล่งไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้จะให้ประสิทธิภาพสูงกว่าโปรตีนที่มีคุณภาพ

พลังงานที่ผลิตได้ในรูปของ ATP จากขบวนการหมักอาหารในกระเพาะหมักจะเป็นแหล่งพลังงานหลักสำหรับใช้เพื่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ร่วมกับสารประกอบ Intermediate ที่เกิดขึ้นจากการหมักอาหาร ซึ่งจะใช้เป็นแหล่งผลิตส่วนประกอบโครงสร้างของจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์จะใช้พลังงาน ATP เพื่อการสร้างเซลล์ และเพื่อดำรงชีพ

2.5.7 การใช้ประโยชน์ของกรดไขมันระเหยได้

VFAs ที่ผลิตได้จากการหมักอาหารในกระเพาะหมัก กรดอะซิติก และกรดบิวทีริก เป็นสารตั้งต้นในการสร้างกรดไขมันในน้ำนม ส่วนกรดโพรพิโอนิกเป็นสารตั้งต้นการผลิตกลูโคสและเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลในน้ำนม ถ้าให้อาหารหยาบสูงจะทำให้มีไขมันในน้ำนมสูง ขณะที่อาหารชั้นสูงจะทำให้ผลผลิตน้ำนมสูง เพราะเป็นแหล่งกลูโคสและสร้างน้ำตาลแลคโตสได้ปริมาณมากในต่อมน้ำนมและเพื่อรักษาสมดุลของความดันออสโมติก (Osmotic pressure) จึงมีการดึงน้ำเข้ามาใน

อัลวิโอไลซ์ของต่อมน้ำนม ทำให้ผลผลิตน้ำนมสูงไปด้วย การเพิ่มกลูโคสโดยการฉีดเข้า duodenal จะมีผลต่อไขมันในน้ำนมต่ำลง แต่เพิ่มผลผลิตน้ำนมและลดการ Mobilization ของไขมันที่สะสมในร่างกายด้วย (Hurtaud et al., 2000)

ขบวนการที่นำกรดไขมันระเหยได้ง่ายไปใช้ประโยชน์ได้ก็คือ ขบวนการ Oxidation จะได้พลังงาน หรือการนำไปสังเคราะห์ไขมัน จากการผ่านขบวนการ Oxidation แล้วจะได้พลังงานต่างกันดังนี้ กรดอะซิติก 1 โมล จะได้พลังงานสุทธิ 10 ATP , กรดไพรูวิก 1 โมล จะได้พลังงานสุทธิ 18 ATP และกรดบิวทิริก 1 โมล จะได้พลังงานสุทธิ 27 ATP

ATP จะใช้เพื่อการต่าง ดังต่อไปนี้ เพื่อการเคลื่อนไหวของจุลินทรีย์ เพื่อการผลิตจุลินทรีย์ทดแทน เพื่อการผลิตโปรตีนนอกเซลล์ น้อยๆ และน้ำตาลเชิงซ้อน หรือใช้เพื่อการขนส่งโภชนาระหว่างเซลล์ (Active transport)

2.6 โปรตีนและเมทาบอลิซึมของอาหารโปรตีน

2.6.1 สารประกอบไนโตรเจน

ไนโตรเจนที่อยู่ในอาหารนั้นอยู่ในรูปแบบต่างๆ กัน ทั้งที่เป็นส่วนประกอบของกรดอะมิโนที่เป็น True protein และส่วนที่เป็นสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่ Protein หรือ Non-protein nitrogen (NPN) สารประกอบไนโตรเจนบางพวกมีความแตกต่างกันทั้งความสามารถในการละลายได้ (Solubility) และส่วนประกอบของกรดอะมิโนนิวคลีอิกโปรตีนจะมีส่วนประกอบของฐานโครงสร้างของ Purine และ pyrimidine ที่แตกต่างกัน ส่วนสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้ (Non-protein nitrogen หรือ NPN) นั้นมีอยู่หลายชนิด เช่น กรดอะมิโน, Peptides, Amides, Amines, Volatile amines, Ammonium salts, ไนเตรต, ไนไตรท์, ยูเรีย และไบยูเรท ปริมาณของ NPN ในอาหารนั้นมีค่าตั้งแต่ 4-5 % ในเมล็ด จนถึง 60-75 % ในอาหารหมัก เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนทั้งหมด

2.6.2 การย่อยสลายของโปรตีนในกระเพาะหมัก

จุลินทรีย์ที่อยู่ในกระเพาะหมัก โดยเฉพาะแบคทีเรีย จะทำหน้าที่ผลิตเอนไซม์เข้าย่อยสลายโปรตีน กิจกรรมของจุลินทรีย์นั้นจะแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและลักษณะของอาหาร ระดับความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของสภาพกระเพาะหมัก ระดับของแอมโมเนียในกระเพาะหมัก

ถ้าต่ำจะทำให้การย่อยสลายของโปรตีนสูงขึ้น ส่วน pH ที่เหมาะสมของการเข้าย่อยสลายโปรตีนจะอยู่ระหว่าง 6-7 แต่ pH ไม่ได้มีผลทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ในการย่อยโปรตีนต่างกัน (Ørskov, 1986) โปรตีนจะถูกไฮโดรไลซ์ได้ Peptides และกรดอะมิโน ต่อจากนั้นจะมีการผลิตแอมโมเนียและกรดอินทรีย์โดยขบวนการ Deamination จุลินทรีย์จะจับแอมโมเนีย เปปไทด์สายสั้นๆ และกรดอะมิโนอิสระไปสร้างเป็นโปรตีนของตัวเอง ประมาณ 80 % ของโปรตีนของจุลินทรีย์ถูกสังเคราะห์โดยใช้แอมโมเนีย ส่วนอีก 20 % ใช้กรดอะมิโนโดยตรง ประมาณ 59 –60 % ของไนโตรเจนในอาหารจะถูกย่อยในกระเพาะหมัก ปริมาณของไนโตรเจนที่ถูกย่อย 29 % จะถูกใช้ประโยชน์ในรูปของกรดอะมิโน และอีก 71 % จะถูกเปลี่ยนให้เป็นแอมโมเนีย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะธรรมชาติของชนิดของโปรตีนแต่ละชนิด การย่อยสลายโปรตีนในกระเพาะหมัก จะเป็นการเพิ่มการผลิตกรดไขมันโดยเฉพาะพวก Branched-chain VFA การย่อยสลายกรดอะมิโนโดยเฉพาะ Aspartic, Glutamic, Serine, arginine, Cysteine และ Cystine จะทำให้ได้ผลผลิต คือ CO_2 , NH_4 , กรดอะซิติก, กรดโพรพิโอนิก และ กรดบิวทีริก

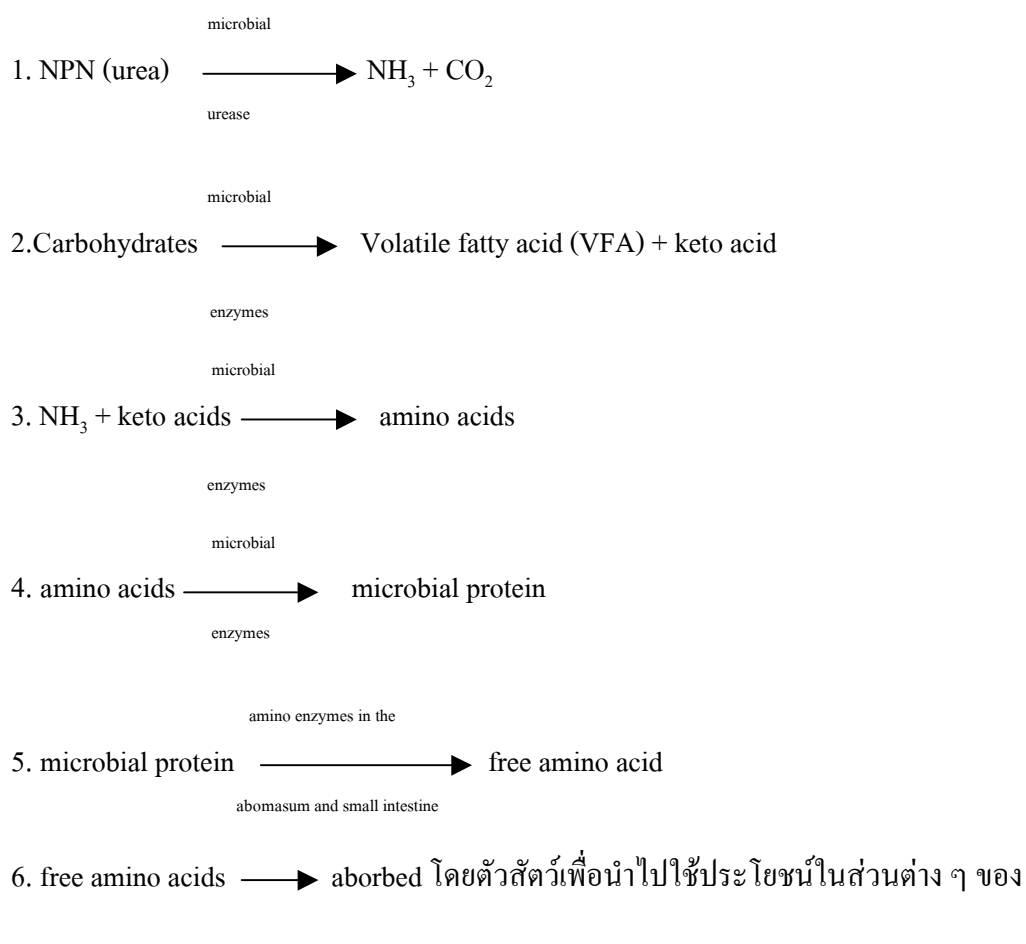
2.6.3 การนำกลับของไนโตรเจนเข้าสู่กระเพาะหมัก (N-recycling)

ยูเรียสามารถผ่านกลับเข้าสู่กระเพาะหมักโดยทางน้ำลาย และยูเรียสามารถหมุนเวียนกลับเข้าสู่กระเพาะหมักได้โดยผ่านผนังของกระเพาะหมักโดยขบวนการ Diffusion ซึ่งการนำกลับของยูเรียเข้าสู่กระเพาะหมักนี้จะเป็นการช่วยให้สัตว์สามารถใช้ไนโตรเจนได้เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในช่วงที่สัตว์ได้รับอาหารที่มีไนโตรเจนต่ำหรืออยู่ในระยะที่อดอาหารได้มีการคำนวณว่าประมาณ 15 % ของไนโตรเจนทั้งหมดที่สัตว์ได้รับ จะถูกนำกลับเข้าสู่กระเพาะหมักได้โดยผ่านทั้ง 2 ทางดังกล่าว (NRC, 1988) การหมุนเวียนยูเรียกลับสู่กระเพาะหมักนี้มีประโยชน์มากสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง เพราะช่วยประหยัดไนโตรเจนที่จะต้องถูกขับออกทางปัสสาวะได้ ทำให้สามารถสร้างโปรตีนของ จุลินทรีย์ได้มาก จึงทำให้สัตว์เคี้ยวเอื้องไม่ต้องพึ่งพาอาศัยโปรตีนคุณภาพดีจากอาหารมากนัก การให้อาหารโปรตีนสูงจะมีผลต่อการหมุนเวียนของไนโตรเจน และการขับทิ้ง โดยจะทำให้ ยูเรียในน้ำนมและในปัสสาวะสูงขึ้น (Krober et al., 2000 ; Devant et al., 2000)

2.6.4 ขบวนการใช้ NPN ในกระเพาะหมัก

แอมโมเนียเป็นสิ่งที่ทำหน้าที่ในปฏิกิริยาของการใช้ NPN ในระบบของสัตว์เคี้ยวเอื้อง ถ้าจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักไม่สามารถที่จะย่อยสลายสารประกอบ NPN ให้ได้แอมโมเนียที่อยู่ในรูป

อิสระ สารประกอบนั้นก็จะไม่มีประโยชน์ในการใช้เป็นแหล่งของไนโตรเจน การใช้สารประกอบ NPN อื่นๆ จะเป็นไปคล้ายๆ กับขบวนการใช้ยูเรียที่แสดงไว้ อย่างไรก็ตามน้ำย่อยที่ทำหน้าที่จะแตกต่างกันออกไป แล้วแต่วิธีของสารประกอบ ถ้าใช้ NPN ร่วมกับอาหารหยาบคุณค่าต่ำ ซึ่งประกอบด้วย Lignocellulosic complex จะทำให้ขบวนการใช้ในขั้นตอนที่ 1 เกิดขึ้นเร็วกว่าขั้นตอนที่ 2 ในกรณีเช่นนี้จะเป็นการจำกัดการผลิต Keto acids ซึ่งจะนำมาใช้ในการสังเคราะห์กรดอะมิโน จะส่งผลทำให้มีการสูญเสียแอมโมเนียผ่านกระเพาะหมัก และทำให้การใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนในอาหารเป็นไปอย่างไม่มีประสิทธิภาพ แต่ถ้าอัตราของการได้รับยูเรียของสัตว์เหมาะสมกับอัตราการย่อยสลายของเซลลูโลส จะทำให้การใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนดีขึ้น ขบวนการและขั้นตอนการใช้ประโยชน์ของยูเรียเป็นดังนี้



2.6.5 การผลิตแอมโมเนียในกระเพาะหมัก

แบคทีเรียในกระเพาะหมักส่วนใหญ่จะเลือกใช้แอมโมเนียมากกว่ากรดอะมิโน ในการนำมาสังเคราะห์เป็นโปรตีนของจุลินทรีย์ (Microbial protein) แอมโมเนียนี้เกิดขึ้นเนื่องจากผลของการย่อยสลายของโปรตีนในอาหาร โปรตีนของจุลินทรีย์และสารประกอบพวก NPN นอกจากนั้นยังได้จากยูเรียซึ่งถูกนำกลับสู่กระเพาะหมักโดยผ่านทางน้ำลาย และผนังของกระเพาะหมัก ส่วนใหญ่ของโปรตีนในอาหารจะถูกไฮโดรไลซ์ได้ Peptides และกรดอะมิโนโดยน้ำย่อยของจุลินทรีย์ กรดอะมิโนอิสระและ Peptides อาจถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์เป็นโปรตีนของจุลินทรีย์ หรือผ่านขบวนการ Deamination ซึ่งเป็นการผลิตแอมโมเนียและ VFA ซึ่ง VFA นี้อาจถูกดูดซึมผ่านผนังของกระเพาะหมักหรือถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์กรดอะมิโนในรูปของ Carbon skeletons ระดับของโปรตีนในอาหาร และความสามารถในการละลายได้ จะมีอิทธิพลต่อการผลิตแอมโมเนียมาก (Moorby et al., 2000) ซึ่งจะมีผลต่อการใช้ประโยชน์ของสารประกอบ NPN

ระดับของแอมโมเนียในกระเพาะหมักที่เหมาะสม (Optimum rumen ammonia) ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ระดับของการให้อาหาร ความสามารถในการละลายได้ของโปรตีนในอาหาร แหล่งของคาร์โบไฮเดรต และแหล่งของแร่ธาตุ ความถี่ของการให้อาหาร เป็นต้น ระดับของแอมโมเนียที่เหมาะสมนั้นเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่ง ในการเพิ่มขบวนการย่อยในกระเพาะหมักโดยจุลินทรีย์ ถ้าความเข้มข้นของแอมโมเนียในกระเพาะหมักมีต่ำกว่า 50 มก./ลิตร จะทำให้การเจริญเติบโตและการทำงานของจุลินทรีย์มีประสิทธิภาพลดลง กรณีดังกล่าวมักเกิดเนื่องจากอาหารมีไนโตรเจนต่ำ หรือมีโปรตีนที่ทนต่อการย่อยสลายในกระเพาะหมักสูง แต่ถ้ามีแอมโมเนียเกิดขึ้นมาก ในอัตราเร็วกว่าที่จุลินทรีย์จะจับไปใช้ได้ทัน จะมีแอมโมเนียสะสมในกระเพาะหมักมาก ซึ่งจะถูกลดดูดซึมผ่านผนังกระเพาะหมักได้หลายทาง คือ ดูดซึมเข้ากระแสเลือดส่งไปยังตับเพื่อกำจัดพิษออกโดยเปลี่ยนเป็นยูเรียและขับออกนอกร่างกายทางปัสสาวะ ยูเรียบางส่วนจะถูกส่งกลับมายังกระเพาะหมักอีกโดยผ่านทางน้ำลายและผ่านผนังกระเพาะหมักกลับเข้ามาโดยตรง

ระดับแอมโมเนียที่เหมาะสมในกระเพาะหมักมีช่วงกว้างมาก ตั้งแต่ 85 – 300 มก./ ลิตร โดยปริมาณแอมโมเนียกับปริมาณอินทรีย์วัตถุที่ย่อยสลายได้ ต้องทำปฏิกิริยาร่วมกันในการสร้างโปรตีนและกรดนิวคลีอิกของจุลินทรีย์ ซึ่งพบว่า ทุก 1 กก.ของอินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้สามารถสร้างโปรตีนของจุลินทรีย์ ได้ประมาณ 200 กรัม ถ้าอาหารมีโปรตีนต่ำ มีความเข้มข้นของแอมโมเนียในกระเพาะหมักน้อย ปริมาณไนโตรเจนที่จะกลับเข้าสู่กระเพาะหมักอาจสูงกว่าปริมาณที่ถูกดูดซึมออกไป

2.6.6 เมตาบอลิซึมของไนโตรเจนที่ถูกดูดซึม

ในกระเพาะหมักไนโตรเจนในอาหารจะถูกย่อยสลายให้ได้แอมโมเนียและกรดอินทรีย์ ไนโตรเจนที่ถูกย่อยสลาย จะขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายได้ ระดับของปริมาณอาหารที่กินได้และปัจจัยอาหารและสรีระวิทยาอื่นๆ แอมโมเนียที่ไม่ถูกนำไปใช้สังเคราะห์เป็นโปรตีนของจุลินทรีย์ จะถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะหมักหรือผ่านผนังของระบบทางอาหารส่วนล่าง โดยการขนถ่ายผ่านเส้นเลือด Portal vein ไปยังตับ ส่วนกรดอะมิโนนั้นจะถูกดูดซึมในกระเพาะหมักน้อยมากหลังจากที่โปรตีนตกลงสู่กระเพาะจริงแล้ว ซึ่งมีจาก 3 แหล่ง คือ โปรตีนในอาหารที่ผ่านออกจากกระเพาะหมัก (By-pass protein) โปรตีนจากจุลินทรีย์ และโปรตีนที่ได้จากระบบภายในของสัตว์ (เนื้อเยื่อที่หมักอายุหรือน้ำย่อยต่างๆ) โปรตีนเหล่านี้จะถูกย่อยให้มีอนุภาคเล็กลง และเพิ่มการละลายได้โดยน้ำย่อยจากกระเพาะจริง จากตับอ่อน และน้ำย่อยจากลำไส้เล็ก กรดอะมิโนและกรดนิวคลีอิกจะถูกดูดซึมโดยผนังของลำไส้เล็กโดยเฉพาะส่วนของ Ileum อันดับเปรียบเทียบการเกาะยึดเพื่อการดูดซึมของกรดอะมิโน 3 ตัวคือ Lysine > Methionine > Glycine ส่วนอัตราความเร็วในการขนถ่ายคือ Methionine > Lysine > Glycine กลไกในการขนถ่ายของกรดอะมิโนเป็นแบบ Carrier-mediated transport ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของโซเดียม ซึ่งขบวนการเมตาบอลิซึมของไนโตรเจนแสดงในภาพที่ 2.2

2.6.7 การปรับตัวของสัตว์ต่อการเพิ่มระดับของแอมโมเนีย

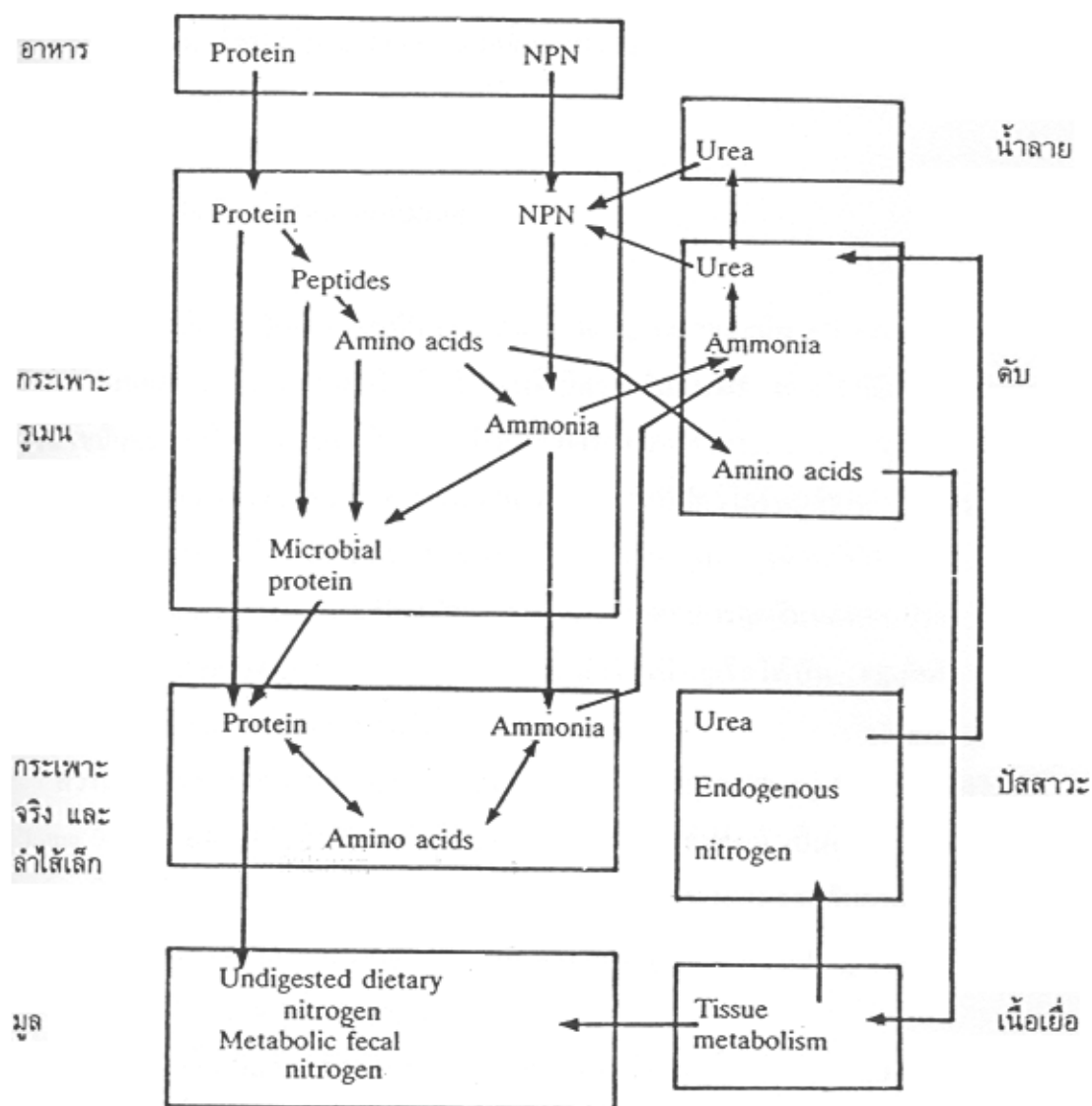
อัตราการดูดซึมของแอมโมเนีย (NH_3) จะขึ้นอยู่กับ pH ของกระเพาะหมัก ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการผลิต VFA และการหลั่งของน้ำลาย ในด้านอาหารจะเกี่ยวข้องกับความสมดุลระหว่างปริมาณของ Readily available carbohydrate และอาหารเชื้อใย

ถ้า pH สูง และมี NH_3 มาก อัตราการดูดซึม NH_3 สูง

ถ้า pH ต่ำ และมี NH_3 น้อย แต่อัตราการดูดซึมจะต่ำ และจะไม่ขึ้นโดยตรงกับความเข้มข้นของ NH_3

NH_3 จะถูก Detoxified โดย Urea cycle ในตับโดยการผลิต Glutamine ทั้งนี้ น้ำย่อยที่เกี่ยวข้องในวัฏจักรยูเรียจะไม่ Sensitive ต่อการมียูเรียเป็นองค์ประกอบในอาหาร เช่น Glutamine dehydrogenase และ Carbamyl synthetase จะไม่เพิ่มขึ้นในตับของโครูนที่มีการเสริมยูเรียเป็นแหล่งของโปรตีนในอาหารแต่ Glutamine synthetase จะเพิ่มขึ้นบ้าง ส่วน Argininosuccinate synthetase

เป็นน้ำย่อยตัวพื้นฐานที่สำคัญใน Urea cycle ซึ่งจะพบว่ามีส่วนในการ Detoxify แอมโมเนีย โดยการเพิ่มระดับความเข้มข้นของ Ornithine ในตับได้



ภาพที่ 2.2 ขบวนการเมแทบอลิซึมของไนโตรเจนในสัตว์เคี้ยวเอื้อง (Mercer and Annison, 1976 อ้างโดย เมธา วรรณพัฒน์, 2533)

การใช้ยูเรียในระดับสูงจะทำให้สารประกอบตัวอื่นเพิ่มขึ้น ซึ่งมี 2-oxoglutarate, pyruvate ในซีรัม, NAD และ Glucose ในตับ ส่วนสารประกอบที่พบว่ามีระดับลดลง คือ Glutamate-pyruvate transferase ในตับ, Isocitrate dehydrogenase และ NADPH oxidase ซึ่งพบใน Purified diet โดยการให้ยูเรียทดแทนโปรตีนของกากถั่วเหลือง

ขั้นตอนสำคัญที่มีผล ไปจำกัดการลดพิษของ NH_3 คือในขั้นตอนการขนถ่ายเอา 2-oxoglutarate ผ่าน Mitochondrial membrane ทั้งนี้โดยการตรวจดูความสามารถในการเปลี่ยนจาก Citrate $\rightarrow$ Isocitrate ถ้าเป็นไปอย่างช้าๆ ความเข้มข้นของ Isocitrate จะต่ำซึ่งจะไปมีผลจำกัดการลดพิษของ NH_3

2.6.8 การเป็นพิษเนื่องจากแอมโมเนีย

แอมโมเนียมีฤทธิ์เป็นด่างอ่อนที่มี pKa 8.8 ที่ 40 °C เพราะฉะนั้น pH ของกระเพาะหมักและอัตราส่วนของแอมโมเนียต่อแอมโมเนียไอออนจึงมีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิด เนื้อเยื่อเมือกชั้นที่เป็นไขมันจะยอมให้แอมโมเนียซึมผ่านได้อย่างรวดเร็ว ความสามารถของกระเพาะหมักในการ Buffer สารละลายพวกด่างจะดีกว่าสารละลายพวกกรด การที่สัตว์ได้รับยูเรียในปริมาณมากจะมีผลทำให้มีการสะสมแอมโมเนียในกระเพาะหมัก และทำให้ pH สูงตามไปด้วย การดูดซึมแอมโมเนียผ่านผนังกระเพาะหมักจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว เมื่ออัตราการดูดซึมของแอมโมเนียเกิดขึ้นเร็วกว่าความสามารถของตับในการเปลี่ยนแอมโมเนียให้เป็นยูเรียได้ทัน จะเกิดการสะสมแอมโมเนียในเลือดและอาจจะเกิดพิษขึ้นได้

ความเข้มข้นของแอมโมเนียที่อาจก่อให้เกิดพิษได้ คือ $\text{NH}_3 \approx 80 \text{ mg \%}$ ในกระเพาะหมัก และ $1 \text{ mg \%}$ ในเลือด ปัจจัยทำให้เกิดพิษในโคได้ คือ สัตว์ไม่ได้ปรับตัวเป็นเวลาที่เหมาะสม อดอาหารก่อนที่จะได้รับอาหารที่มีสารประกอบ NPN ให้สารประกอบ NPN ร่วมกับอาหารที่ประกอบด้วยอาหารหยาบคุณค่าต่ำเป็นส่วนใหญ่ การเลี้ยงสัตว์ที่ก่อให้เกิดสภาพ pH สูงในกระเพาะหมัก และสัตว์ขาดน้ำ (บุญล้อม ชีวะอิสระกุล, 2541)

อาการที่เกิดขึ้นเมื่อสัตว์เป็นพิษเนื่องจากแอมโมเนีย คือ สัตว์จะมีอาการกระวนกระวาย น้ำลายฟูมปาก กล้ามเนื้อชักกระตุก หายใจลำบาก ปัสสาวะและอุจจาระบ่อยๆ เดินโซเซ ล้มนอนเดินไม่ได้ กล้ามเนื้อกระตุกบ่อยครั้งและรุนแรง สัตว์จะถึงตายได้ วิธีการที่อาจรักษาได้ก่อนที่สัตว์จะมีอาการรุนแรง โดยการกรอกปากด้วยน้ำเย็น 20-40 ลิตร น้ำเย็นจะช่วยลดอุณหภูมิในสภาพกระเพาะหมัก และช่วยลดอัตราการดูดซึมของแอมโมเนีย การใช้กรดอะซิติกเจือจางหรือน้ำส้มสายชูร่วมกับ

น้ำเย็นจะให้ผลดีกว่าการใช้น้ำเย็นอย่างเดียว กรดอะซิติกจะช่วยทำให้สภาพของกระเพาะหมักเป็นกลางได้เร็วขึ้น

2.6.9 โปรตีนที่ย่อยและไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก

ข้อดีของการสลายโปรตีนในกระเพาะหมัก คือจุลินทรีย์สามารถสร้างกรดอะมิโนทั้งชนิดที่จำเป็นและไม่จำเป็นได้ จึงทำให้โปรตีนของจุลินทรีย์มีคุณภาพดี มี Biological value (BV) ประมาณ 66-87 % ซึ่งใกล้เคียงกับโปรตีนของสัตว์ และดีกว่าโปรตีนของพืชส่วนใหญ่ เพราะเมื่อพิจารณาจากปริมาณและสัดส่วนของกรดอะมิโนที่จำเป็น โดยเฉพาะไลซีนและเมไทโอนีน พบว่าใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์สัตว์สร้างคือ เนื้อและนม โปรตีนที่ไปถึงลำไส้เล็ก จะประกอบด้วย 1) โปรตีนจากจุลินทรีย์ซึ่งมีคุณภาพค่อนข้างคงที่ และ 2) โปรตีนในอาหารที่เล็ดลอดการสลายตัวในกระเพาะหมักไปได้ (Rumen undegradable protein, RUP) หรือที่เรียกว่าโปรตีนไหลผ่าน (By pass protein)

โปรตีนทั้ง 2 ส่วนนี้จำเป็นสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยปกติเราต้องการให้โปรตีนคุณภาพเลวในอาหารถูกย่อยสลายในกระเพาะหมักมาก และให้โปรตีนคุณภาพดีไปถูกย่อยสลายที่กระเพาะแท้และลำไส้เล็กได้เป็นกรดอะมิโนซึ่งจะถูกดูดซึมนำไปใช้เป็นประโยชน์ต่อตัวสัตว์โดยตรง ในสัตว์ที่ให้ผลผลิตสูงยังต้องการโปรตีนส่วนหลังนี้มาก ระดับความเข้มข้นของ RUP ในอาหารมีผลต่อการกินได้ของวัตถุดิบและพลังงานที่ข้อย่อยได้จากการทดลองในโคนมสาว (Tomlinson et al., 1997) ในโคนมระยะต้นของการให้นม ผลผลิตน้ำนมจะสูงถ้าในอาหารมี RUP อยู่สูงแต่ในระยะกลางและระยะปลายการให้นมไม่ค่อยมีผล (Kalscheur et al., 1999) การเพิ่ม RUP ในอาหาร 4.5, 14.9 และ 29.1 เปอร์เซ็นต์วัตถุดิบที่กินได้ จะทำให้ผลผลิตน้ำนมสูงขึ้นตามระดับของ RUP ซึ่งอาจจะเป็นเพราะเป็นการเพิ่มความสมดุลของกรดอะมิโนในลำไส้เล็กและยังทำให้มีการขับไนโตรเจนทิ้งน้อยลงด้วย (Wright et al., 1998 ; Schroeder and Gagliostro, 2000) ปัจจุบันจึงได้พยายามทำให้โปรตีนคุณภาพดีในอาหารมีการสลายตัวในกระเพาะหมักน้อยที่สุด ทำให้โปรตีนไหลผ่านเพิ่มขึ้น (Protected protein) NRC (1989) แนะนำว่า ในโคนมน้ำหนักต่ำกว่า 250 กิโลกรัม ควรได้รับ RUP 50 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนที่กินได้ ขณะที่ Van Amburgh et al. (1998a) พบว่าความต้องการน่าจะต่ำกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ ความต้องการโปรตีนของสัตว์เคี้ยวเอื้องนั้น จำเป็นต้องพิจารณาถึงปริมาณของกรดอะมิโนที่สามารถดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้จากลำไส้เล็ก เมื่อคิดเป็นสัดส่วนกับปริมาณที่ต้องการในการใช้เพื่อการผลิต กรดอะมิโนเหล่านี้จะได้มาจากแหล่งต่างๆ คือ โปรตีนของจุลินทรีย์ โปรตีนในอาหารที่ By-pass rumen และ Endogenous secretions โปรตีนจากแหล่งต่างๆ เหล่านี้เรียกว่า Metabolizable protein (MP) ปริมาณโปรตีนที่ถูกย่อยสลาย (Degradation) ในกระเพาะหมัก

มีส่วนสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการละลายได้ (Solubility) และ By-pass rumen ในกระเพาะหมักของโปรตีนนั้น

2.6.10 การใช้สารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน

จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักสามารถสังเคราะห์กรดอะมิโนที่จำเป็นได้ จึงทำให้สัตว์เคี้ยวเอื้องไม่จำเป็นต้องพึ่งพาโปรตีนจากอาหารเท่าใดนัก ก็สามารถใช้อาหารโปรตีนคุณภาพแล้ว หรือสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (Non protein nitrogen, NPN) ได้ เช่น ยูเรีย ไบยูเรท และกลีโอะแอมโมเนีย เป็นต้น มักเสริมสารดังกล่าวในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องเพื่อช่วยลดต้นทุน ซึ่งยูเรียมีไนโตรเจน 46.6% เทียบเท่ากับ $46.6 \times 6.25 = 291.3\% \text{CP}$ ในบ้านเราใช้ในรูปปุ๋ยยูเรียซึ่งมีไนโตรเจนประมาณ 46% หรือเทียบเท่ากับ 289 % CP เมื่อยูเรียเข้าไปในกระเพาะหมักจะถูก Hydrolyse ด้วยเอนไซม์ Urease จากแบคทีเรียอย่างรวดเร็วได้เป็นแอมโมเนีย

จุลินทรีย์จะนำแอมโมเนียไปใช้ในการสร้างโปรตีนของตัวเอง (Microbial protein) การที่แอมโมเนียจะถูกจับไปใช้สร้างโปรตีนได้มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ โดยปกติยูเรียจะถูกใช้ได้ดีที่สุดเมื่อยูเรียมีอัตราการสลายตัวไปเป็นแอมโมเนียอย่างช้าๆ และอาหารมีคาร์โบไฮเดรตที่สลายตัวได้ง่ายสูง เช่น อาหารจำพวกธัญพืช มันเส้น หรือกากน้ำตาล เป็นต้น เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานในการสร้างโปรตีนของจุลินทรีย์ ถ้ายูเรียสลายตัวเร็วและมีคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ง่ายไม่พอ จะทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถจับแอมโมเนียไปใช้ได้ทัน ทำให้แอมโมเนียมีความเข้มข้นสูงในกระเพาะหมัก เกิดผลเสียเพราะระดับอาจจะทำการกำจัดพิษโดยเปลี่ยนให้เป็นยูเรียไม่ทัน ทำให้ความเข้มข้นของแอมโมเนียในเลือดสูง กระทบกระเทือนต่อสมดุลกรด-ด่างในร่างกาย เป็นเหตุให้สัตว์ตายได้ อย่างไรก็ตามระดับความเป็นพิษของแอมโมเนียในกระเพาะหมักผันแปรมาก อาจสูงถึง 800 มก./ลิตรของของเหลวในกระเพาะหมัก ทั้งนี้แล้วแต่ระดับของ pH ในกระเพาะหมัก ถ้ามี pH สูงก็จะยิ่งดูดซึมแอมโมเนียได้ดี

ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของกรดนิวคลีอิกนั้น ให้ประโยชน์แก่สัตว์ในขอบเขตที่จำกัดมาก เพราะฉะนั้นการผลิตกรดนิวคลีอิกในโปรตีนของจุลินทรีย์ในปริมาณมากนั้น จึงเป็นการสูญเสียไนโตรเจน การทดแทนโปรตีนในอาหารด้วยสารประกอบพวก NPN เป็นการเพิ่มการผลิตโปรตีนของจุลินทรีย์ และเพิ่มปริมาณของกรดนิวคลีอิกที่มีอยู่ในกระเพาะจริงและลำไส้เล็ก

2.6.11 การควบคุมเมแทบอลิซึมของโปรตีน

ระดับอาหารที่ให้โคนั้นมีผลต่อระดับของฮอร์โมนในร่างกาย และฮอร์โมนก็มีผลต่อการใช้ประโยชน์ของสารอาหาร ซึ่ง Growth hormone (GH) จะควบคุม Metabolism ของร่างกาย ถ้ามีอินซูลิน และ GH อยู่สูงในกระแสเลือดจะทำให้มีการสมดุลของโปรตีนที่สังเคราะห์และโปรตีนที่แตกตัวของกล้ามเนื้อ (Break down) ในสภาพการดำรงชีพปกติ อัตราการสังเคราะห์และการแตกตัวของโปรตีนจะเท่ากัน หากอินซูลินต่ำ โปรตีนจะมีการแตกตัวสูงกว่าโปรตีนที่สังเคราะห์ ทำให้เกิดการนำเอากรดอะมิโนออกจากกล้ามเนื้อมาใช้ ขณะเดียวกันถ้า GH สูง จะเพิ่มอัตราการแตกตัวและการสังเคราะห์โปรตีนสูงขึ้น ทำให้เกิดการสังเคราะห์โปรตีนของกล้ามเนื้อ นั่นคือหากว่าโปรตีนหรือกรดอะมิโนไม่เพียงพอ โปรตีนจะมีการแตกตัวสูงกว่าการสังเคราะห์โปรตีน โปรตีนของกล้ามเนื้อจะนำไปใช้สำหรับส่วนอื่นๆ ของร่างกาย เช่นการเจริญเติบโตของลูกในท้อง และการพัฒนาของต่อมน้ำนม เป็นต้น อาหารที่มีโปรตีนสูงจะทำให้ GH ต่ำลงแต่อินซูลินสูงขึ้นในโคนมแห่งท้องใกล้คลอด (Moorby et al., 2000) แต่โปรตีนที่ละลายในกระเพาะหมักสูงจะทำให้อินซูลิน และ GH สูง ในโคหลังคลอดจะมีปริมาณของ GH สูงกว่าโคท้องมากอาจเป็นเพราะช่วงนี้โคต้องการสารอาหารสูงกว่าโคท้อง

2.7. การประเมินคุณค่าทางพลังงานและความต้องการของโคนม

2.7.1 ความหมายของพลังงาน

พลังงาน (Energy) แปลว่า ความสามารถในการทำงาน (Ability to do work) พลังงานมีหลายรูป เช่น พลังงานความร้อน พลังงานจลน์ พลังงานแสง พลังงานไฟฟ้า และที่สำคัญในทางโภชนศาสตร์ คือ พลังงานชีวเคมี (Biochemical energy) พลังงานสามารถที่จะเปลี่ยนรูปจากรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปหนึ่งได้ เช่น จากพลังงานเคมีเป็นพลังงานความร้อน ยกตัวอย่างเช่นในการออกซิไดส์ไขมัน กลูโคส และกรดอะมิโน จะได้ความร้อนเกิดขึ้นหรือเปลี่ยนจากพลังงานเคมีเป็นพลังงานจลน์ เช่นการทำงานของกล้ามเนื้อ หรือเปลี่ยนจากพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า เช่น การเผาผลาญกลูโคสเพื่อให้ได้พลังงานในการส่งสัญญาณไฟฟ้าของประสาท เป็นต้น

2.7.2 หน่วยของพลังงาน

พลังงานไม่อาจวัดได้โดยตรง แต่พลังงานทุกรูปสามารถที่จะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนได้ง่ายที่สุด ดังนั้นการวัดจึงวัดออกมาในรูปของความร้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวัดพลังงานในอาหารและในร่างกาย หน่วยของพลังงานเรียกว่าแคลอรี (Calory) เขียนย่อๆ ว่า cal

พลังงานความร้อน 1 แคลอรี คือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้ น้ำ 1 กรัม มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศาเซลเซียส โดยมากจาก 16.5°C เป็น 17.5°C

$$1 \text{ กิโลแคลอรี (Kilocalory, Kcal)} = 1000 \text{ cal}$$

$$1 \text{ เมกะแคลอรี (Megacalory, Mcal)} = 1000 \text{ Kcal หรือ } = 10^6 \text{ cal}$$

ในระบบอังกฤษอาจใช้หน่วยเป็น BTU (British Thermal Unit) และ จูล (Joule, J) ซึ่ง BTU เป็นปริมาณความร้อน ที่ทำให้น้ำ 1 ปอนด์มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1°F

$$1 \text{ BTU} = 252 \text{ cal}$$

$$1 \text{ Kcal} = 4 \text{ BTU}$$

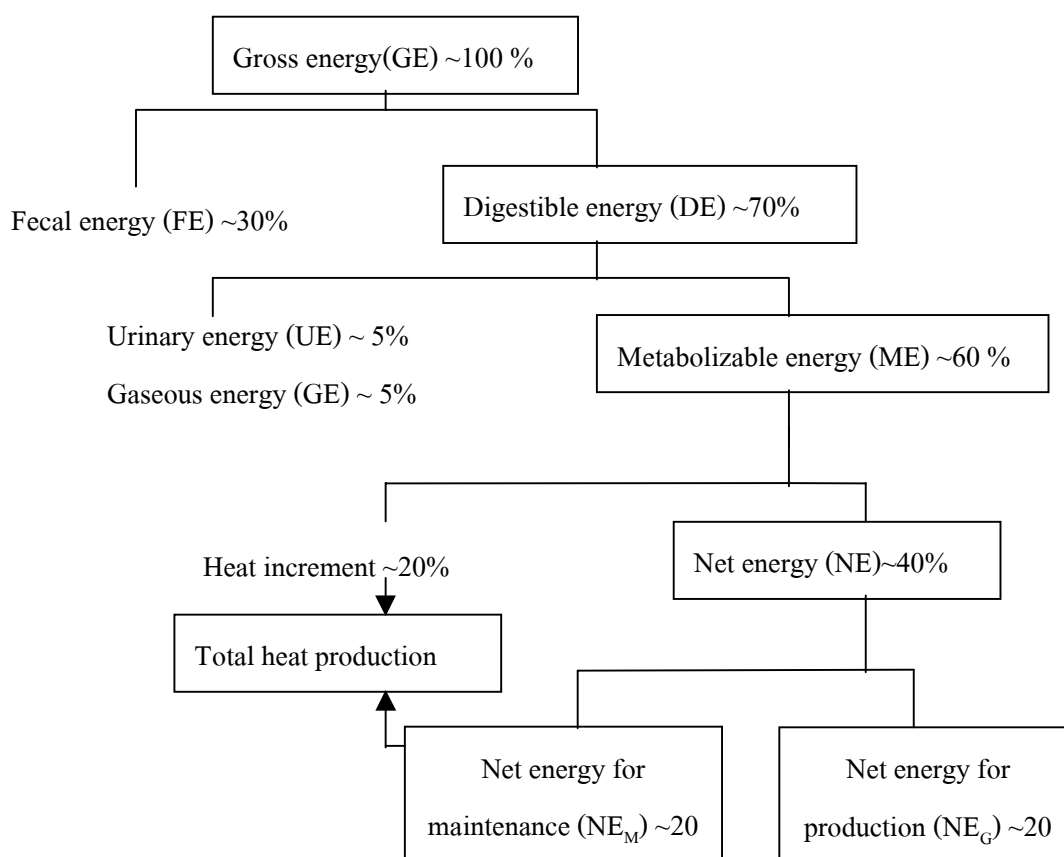
จูล (Joules) ทำการวัดด้วยไฟฟ้าเพราะมีความเห็นว่าการวัดพลังงานความร้อนโดยอาศัยการเปลี่ยนอุณหภูมิของน้ำนั้นอาจผิดพลาดได้ ทั้งนี้เพราะน้ำที่อุณหภูมิต่างกันมีความร้อนจำเพาะต่างกัน จึงนิยมวัดพลังงานโดยอาศัยไฟฟ้าแทน เพราะเป็นวิธีที่แม่นยำกว่า ซึ่งใช้หน่วยเป็น จูล กิโลจูล เมกะจูล ตามลำดับ ซึ่งใช้ในอังกฤษ แต่ ในอเมริกา ฝรั่งเศส และเนเธอร์แลนด์ ยังนิยมหน่วยแคลอรีอยู่เหมือนเดิม ซึ่งสามารถคำนวณเปลี่ยนหน่วยได้ดังนี้

$$1 \text{ แคลอรี} = 4.184 \text{ จูล}$$

$$\text{หรือ } 1 \text{ จูล} = 0.233 \text{ แคลอรี}$$

2.7.3 การจำแนกประเภทของพลังงาน (Partition of Energy)

อาหารที่สัตว์กินเข้าไปจะผ่านกระบวนการต่างๆ ก่อนที่สัตว์จะนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น การย่อยได้ การดูดซึม และการเมแทบอลิซึม ในการนี้จะมีพลังงานที่สัตว์กินเข้าไปบางส่วนสูญเสียไปในรูปของมูล ปัสสาวะ ก๊าซจากการหมักย่อย และความร้อน พลังงานที่เหลือเรียกว่าพลังงานสุทธิ ซึ่งสัตว์จะนำไปใช้ในการดำรงชีพ ซึ่งสามารถเขียนเป็นขั้นตอนได้ดัง ภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 ขั้นตอนการสูญเสียพลังงาน และพลังงานประเภทต่างๆ (บุญล้อม ชีวะอิสระกุล, 2541)

2.7.3.1 พลังงานรวม (Gross energy, GE)

พลังงานที่ได้เมื่อสารถูกเผาผลาญอย่างสมบูรณ์ได้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ พลังงานนี้จะถูกปล่อยออกมาในรูปของความร้อน ในทางโภชนาศาสตร์ถือว่าพลังงานเผาผลาญคือพลังงานทั้งหมดที่มีในอาหารหรือสิ่งอื่นๆ เช่นในมูล ปัสสาวะ หรือผลผลิต โดยมีได้คำนึงถึงการสูญเสีย คำนี้นี้ได้จากการนำอาหารหรือตัวอย่างเหล่านี้มาเผาในเครื่องมือวัดพลังงานที่เรียกว่า บอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb calorimeter) แล้ววัดความร้อนที่เกิดขึ้น

2.7.3.2 พลังงานย่อยได้ (Digestible energy, DE)

เมื่อสัตว์กินอาหารพลังงานส่วนแรกที่ยาหายไปคือ พลังงานในมูล (Fecal energy, FE) ซึ่งนับว่าเป็นส่วนมากที่สุด เมื่อนำพลังงานในมูลมาหักลบออกจากพลังงานที่ได้รับจากอาหารที่กินเข้าไป (Intake energy, IE) ก็จะได้ค่าพลังงานย่อยได้ Apparent digestible energy (ADE) หรือ DE

$$\begin{aligned}\text{ADE หรือ DE} &= \text{IE} - \text{FE} \\ &= (\text{GE}_i \times \text{I}) - (\text{GE}_f \times \text{F})\end{aligned}$$

เมื่อ GE_i = GE ของอาหาร 1 หน่วย น้ำหนักแห้ง

GE_f = GE ของมูล 1 หน่วย น้ำหนักแห้ง

I = นน.แห้งของอาหารทั้งหมดที่กิน

F = นน.แห้งของมูลทั้งหมด

DE ในอาหารอาจผันแปรตั้งแต่ 30% ของ GE_i ในพืชที่อายุมากคุณภาพเลวจนถึง 90 % ของ GE_i ในธัญพืชคุณภาพดีที่ได้รับการแปรรูปแล้ว

2.7.3.3 พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (Metabolizable energy, ME)

พลังงานส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปในปัสสาวะ (Urinary energy, UE) ในสัตว์เคี้ยวเอื้องยังมีการสูญเสียพลังงานไปในรูปของก๊าซที่ถูกเผาผลาญได้ (Combustible gas) ที่ออกจากทางเดินอาหาร (Gaseous product of digest) เพราะสัตว์เคี้ยวเอื้องมีการหมักอาหารในกระเพาะหมัก เกิดก๊าซในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทน เมื่อนำค่าพลังงานในปัสสาวะและในรูปก๊าซไปลบออกจากพลังงานย่อยได้ ก็จะได้พลังงานใช้ประโยชน์ได้

$$\text{ME} = \text{DE} - \text{UE} - \text{GE}$$

$$\text{ME} = \text{IE} - \text{FE} - \text{UE} - \text{GE}$$

2.7.3.4 พลังงานสุทธิ (Net energy, NE)

การกินอาหารจะเกิดการสูญเสียพลังงาน ออกไปหลายรูปเช่น ในมูล ปัสสาวะ ก๊าซ และความร้อน ซึ่งสัตว์จะผลิตความร้อนอยู่ตลอดเวลาและระบายให้กับสิ่งแวดล้อม เมื่อกินอาหารสัตว์จะผลิตความร้อนเพิ่มขึ้นซึ่งเรียกว่า Heat increment (HI) หรือ Specific dynamic effect ถ้าสัตว์ไม่ได้อยู่ในสภาพอากาศหนาวเย็นความร้อนนี้จะไม่เป็นประโยชน์คือสูญเสียไปเฉยๆ สาเหตุของการเกิด Heat increment เนื่องมาจากกระบวนการต่างๆ ที่เผาผลาญโภชนะให้เป็นพลังงานในร่างกายมีประสิทธิภาพไม่ดีพอ (Energy inefficiency of metabolic process) ยกตัวอย่างเช่น กลูโคสถูกเผาผลาญในร่างกายได้พลังงาน 38 ATP ซึ่งเท่ากับ $38 \times 30.5 = 1159$ กิโลจูล/โมลกลูโคส แต่เมื่อถูกเผาในเครื่องบอมแคลอริมิเตอร์ได้พลังงาน 2870 กิโลจูล/โมลกลูโคส ดังนั้นประสิทธิภาพในการจับพลังงานของร่างกายจึงมีเพียง $1159 \times 100 / 2870 = 40$ เปอร์เซ็นต์ ส่วนพลังงานอีก 60 เปอร์เซ็นต์จะสูญเสียในรูปของความร้อน ในการสร้างเนื้อเยื่อและองค์ประกอบของร่างกายก็จะมีพลังงานส่วนหนึ่งสูญเสียไปในรูปของความร้อนเช่น ในการสร้างโปรตีน 1 กก. โดยการจับตัวกันของกรดอะมิโนเป็นเส้นเปปไทด์ ต้องเสียพลังงานในรูปความร้อน 2.5 เมกะจูล นอกจากนี้ Heat increment ยังเกิดจากการย่อย (Work of digestion) กล่าวคือ ในการเคี้ยวและขับเคลื่อนอาหารผ่านทางเดินอาหาร

จะต้องใช้พลังงาน และการเคลื่อนย้ายสาร เช่น Na^+ K^+ ด้านกระแสความเข้มข้นก็ต้องใช้พลังงานเช่นกัน เนื่องจากพลังงานเคมีที่ใช้สำหรับการทำงานในร่างกายจะถูกเปลี่ยนเป็นความร้อน ฉะนั้นจึงเป็นผลให้เพิ่มความร้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสัตว์เคี้ยวเอื้อง จะมีความร้อนที่เกิดจากการทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักด้วย เรียกว่าความร้อนที่เกิดจากการหมัก (Heat of fermentation, HF) ซึ่งประมาณ 5-10 % ของ IE อย่างไรก็ตามค่า HI จะผันแปรไปแล้วแต่ชนิดของสัตว์ ประเภทของอาหารและระดับพลังงานที่สัตว์ได้รับ ความสมดุลของโภชนาในอาหาร กล่าวคือ ถ้ามีความสมดุลมาก ร่างกายก็จะใช้อาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง ค่า HI จะลดลง ในบรรดาโภชนาที่ให้พลังงานทั้ง 3 ชนิด จะเกิด HI มากน้อยตามลำดับดังนี้ คือ โปรตีน เกิดสูงสุด รองลงมาคือ คาร์โบไฮเดรต และสุดท้ายไขมัน ในสภาพอากาศร้อน ค่า HI นอกจากจะไม่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ยังเป็นภาระให้ร่างกายต้องกำจัดออกด้วย ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงควรหาทางหลีกเลี่ยงการเกิด HI ให้ได้มากที่สุด เช่น หลีกเลี่ยงการให้อาหารที่มีเยื่อใยสูงเกินความจำเป็น เพราะจะทำให้เกิดสัดส่วนของกรดอะซิติกในกระเพาะหมักมากซึ่งกรดนี้มีประสิทธิภาพในการใช้เป็นพลังงานได้ต่ำกว่ากรดตัวอื่น และต้องใช้พลังงานในการย่อยสูง เป็นเหตุให้เกิด HI สูง การใช้สูตรอาหารให้มีโภชนาสมดุล จะสามารถใช้ลดค่า HI ได้

เมื่อหักค่า Heat increment (HI) ของอาหารออกจากค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ ก็จะได้พลังงานสุทธิ (Net energy, NE)

$$\text{NE} = \text{IE} - \text{FE} - \text{UE} - \text{GE} - \text{HI}$$

พลังงานสุทธิเป็นพลังงานที่สัตว์สามารถนำไปใช้เพื่อกิจการต่าง ๆ ของร่างกาย เช่น เพื่อการดำรงชีพ (Maintenance), การเจริญเติบโต (Growth) และการให้ผลผลิต (Production) ได้อย่างแท้จริง

พลังงานสุทธิที่ใช้ในการดำรงชีพ (Net energy for maintenance, NE_M) ส่วนใหญ่ใช้ในการทำงานของร่างกายที่จำเป็นต่อชีวิตและจะถูกระบายออกจากตัวสัตว์ในรูปของความร้อน ส่วนพลังงานที่ใช้เพื่อการผลิต (Net energy for production, NE_P) เช่น เพื่อการเจริญเติบโต เพื่อสะสมไขมัน เพื่อสร้างเนื้อ นม หรือขน ก็จะถูกสะสมไว้ในร่างกายหรือออกไปในรูปพลังงานเคมี ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการสร้างส่วนดังกล่าวนี้เรียกว่า Energy retention

2.7.4 ระบบการประเมินคุณค่าทางพลังงานในอาหาร

ระบบการประเมินคุณค่าทางพลังงานในอาหารและระบบประเมินความต้องการอาหารของโคมนที่ใช้อยู่มีหลายระบบ เช่น NRC (National Research Council) ของสหรัฐอเมริกาใช้ในรูปแบบ

ของ TDN และ Net Energy System ARC (Agricultural Research Council) ของสหราชอาณาจักรมีใช้ในรูปแบบของ Metabolisable Energy System นอกจากนี้ยังมีระบบประเมินมาตรฐานอาหารอื่นๆ ที่ใช้อยู่ในเยอรมัน เช่น Starch Equivalent System ของประเทศสวีเดน (Swedish Metabolisable Energy System) เนเธอร์แลนด์ (Dutch Feed Unit System) ฝรั่งเศส (French Feed Unit System) และ เดนมาร์ก (Danish Feed Unit System) สำหรับประเทศไทยส่วนใหญ่อ้างอิงจาก NRC และ ARC การประเมินพลังงาน ME และ NEL ในอาหารโดยระบบ NRC จะประเมินได้ค่าสูงกว่าระบบของยุโรป (Vermorel and Conlon, 1998)

ระบบพลังงานสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ใช้ในสหรัฐอเมริกาและอีกหลายๆ ประเทศได้แก่ ระบบ TDN (Total Digestible Nutrient) เรียกว่าโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด หรือ ยอดโภชนะย่อยได้ ระบบ DE พลังงานย่อยได้ (Digestible energy) ระบบ ME พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (Metabolizable energy) ระบบ NE พลังงานสุทธิ (Net energy)

2.7.4.1 ระบบ TDN

เป็นระบบที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางเป็นเวลานานแล้วโดยเฉพาะสหรัฐอเมริกาและอีกหลายๆ ประเทศรวมทั้งประเทศไทย

ค่า TDN ในอาหารคำนวณได้จากผลรวมของปริมาณโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมดที่มีในอาหาร 100 กก. นั่นคือ

$$\text{TDN} = \text{DCP} + \text{DCF} + \text{DNFE} + (2.25 \times \text{DEE})$$

เมื่อ $\text{DCP} = \text{โปรตีนที่ย่อยได้ (กก. / 100 ก. วัตถุแห้ง)}$

$$\text{DCE} = \text{เยื่อใยที่ย่อยได้ (กก. / 100 กก. วัตถุแห้ง)}$$

$$\text{DNFE} = \text{คาร์โบไฮเดรตย่อยง่ายที่ย่อยได้ (กก. / 100 กก. วัตถุแห้ง)}$$

$$\text{DEE} = \text{ไขมันที่ย่อยได้ (กก. / 100 กก. วัตถุแห้ง)}$$

ค่า 2.25 คือ ที่ประมาณว่า ไขมัน มีพลังงานสูงกว่า คาร์โบไฮเดรต 2.25 เท่า ดังนั้นจึงเอา 2.25 คูณกับ ปริมาณของไขมันย่อยได้

ค่า TDN เป็นการวัด Apparent digestible energy แต่มีหน่วยเป็น กก. / 100 กก. วัตถุแห้งของอาหาร หรือ เป็นเปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่ใช่เป็นหน่วยของพลังงานเลย สามารถคำนวณเป็น DE หรือ ME ได้โดยใช้สูตร

$$1 \text{ กก. TDN} = 4.4 \text{ Mcal DE}$$

$$1 \text{ กก. TDN} = 3.56 \text{ Mcal ME}$$

ข้อดีของระบบนี้คือ สามารถหาได้ง่าย และมีข้อมูลอยู่มากมายเนื่องจากใช้กันมานาน แต่ก็ยังมีข้อเสียอยู่หลายประการ กล่าวคือ TDN หมายความว่าโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมดแต่ไม่ได้คำนึงถึงวิตามิน

และแร่ธาตุ หน่วยไม่ใช่หน่วยของพลังงาน มีความบกพร่องเมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบที่มีองค์ประกอบต่างกันมาก เช่น อาหารหยาบกับอาหารข้น เพราะระบบนี้ประเมินอาหารหยาบคุณภาพต่ำได้สูงเกินความเป็นจริง เพราะระบบนี้ไม่ได้คำนึงถึงการสูญเสียพลังงานในรูปของก๊าซมีเทน และ Heat increment ซึ่งการสูญเสียทั้งสองนี้ในอาหารหยาบมีมากกว่าอาหารข้น ระบบนี้ได้รับความนิยมลดลงในประเทศที่พัฒนาแล้วแต่สำหรับประเทศไทย ระบบนี้ยังเป็นพื้นฐานที่สำคัญอยู่ อย่างไรก็ตามข้อบกพร่องนี้ก็มีการพัฒนาแก้ไขอยู่เสมอ

2.7.4.2 ระบบ DE

ระบบนี้คำนึงถึงพลังงานที่สูญเสียไปในมูลเท่านั้น ทำให้ค่าที่ไม่ถูกต้องนัก แต่มีข้อดีในแง่ที่สามารถวัดได้ง่าย เพียงแต่ทราบปริมาณอาหารทั้งหมดที่กิน และมูลทั้งหมดที่ขับออกมา แล้วนำตัวอย่างอาหารและตัวอย่างมูลไปวิเคราะห์หาค่าพลังงานด้วยเครื่อง Bomb calorimeter ก็สามารถคำนวณค่า DE ได้ หน่วยเป็น กิโลแคลอรี หรือ กิโลจูล / กก. อาหาร ระบบนี้ไม่ค่อยได้รับความนิยมนัก

2.7.4.3 ระบบ ME

ดีกว่า DE ในแง่ที่มีความถูกต้องมากกว่า เพราะคำนึงถึงการสูญเสียพลังงานในปัสสาวะด้วย แต่ก็มีข้อเสียคือมิได้คำนึงถึงพลังงานที่สูญเสียไปในรูปของความร้อน อย่างไรก็ตามอังกฤษนิยมใช้ระบบนี้เพราะวัดได้ง่ายกว่า NE และแก้ไขปัญหาโดยการประเมินค่าความต้องการของสัตว์ในระบบเดียวกับอาหาร

2.7.4.4 ระบบ NE

พลังงานในอาหารสัตว์ที่สัตว์กินเข้าไปนั้น จะมีการสูญเสียไปในรูปของมูล ปัสสาวะ ก๊าซและ Heat increment และแตกต่างกันตามประเภทของอาหาร ดังนั้นเพื่อความถูกต้องจึงต้องนำค่าเหล่านี้มาหักจากพลังงานในอาหารจะได้ค่า พลังงานสุทธิ ซึ่งมีข้อดีคือพลังงานในอาหารและพลังงานที่สัตว์ต้องการ ถูกประเมินให้อยู่ในระดับเดียวกัน จึงสะดวกในการคำนวณสูตรอาหาร แต่ก็มีข้อจำกัดอยู่คือการวัดค่า Heat increment เป็นเรื่องยุ่งยาก ต้องใช้อุปกรณ์ที่ละเอียดอ่อนและมีราคาแพง พลังงานระบบนี้เป็นระบบที่ดีที่สุด ประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่น สหรัฐอเมริกา และยุโรป ยกเว้น อังกฤษ ใช้ระบบนี้กันมาก

พลังงานสุทธิในอาหารของโคเนื้อและโคนมรุ่นหรือโคนมที่ไม่ให้นม จะแยกออกเป็น 2 ค่า คือ พลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (NE_M) และพลังงานสุทธิเพื่อการเจริญเติบโต (NE_G) เพราะโคจะใช้พลังงานเพื่อการดำรงชีพ (Maintenance) และเพื่อการเจริญเติบโต (Growth) ได้มีประสิทธิภาพไม่เท่ากัน โดยที่ใช้เพื่อการดำรงชีพมีประสิทธิภาพดีกว่า (Johnson and Bernal, 1998) เพราะอาหารชนิดเดียวกันจะมีค่า NE_M สูงกว่า NE_G เสมอ (NRC, 1988) ส่วนในโคที่ให้นม ค่าพลัง

งานสุทธิของอาหารมีเพียงค่าเดียว NE_L เพราะโคที่ให้นมใช้พลังงานเพื่อการดำรงชีพ เพื่อการเจริญเติบโต และเพื่อการให้นมได้มีประสิทธิภาพเท่ากัน

2.7.5 การประเมินคุณค่าทางพลังงานในอาหารสัตว์

การประเมินคุณค่าทางพลังงานของอาหารสัตว์ชนิดใดๆ โดยใช้ Bomb calorimeter เพื่อหาค่า GE ในอาหารและในอุจจาระ เมื่อหักลบกันแล้วจะได้ DE ทำการวัดค่าพลังงานที่สูญเสียไปในปัสสาวะและในรูปก๊าซมีเทน โดย Respiration calorimeter ก็หาค่า ME ได้ แต่ต้องใช้สัตว์ทดลองเพื่อหาค่า DE และ ME ซึ่งเป็นวิธีที่ยุ่งยากและซับซ้อน เสียเวลาและค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นนักวิจัยจึงได้พยายามหาวิธีการที่ง่ายและสะดวก โดยการคำนวณ Methane energy จาก Organic matter digestibility (OMD) หรือ Methane และ Urinary energy จากค่าคงที่ คือ 0.19 ของ DE (Armstrong, 1964) นอกจากนี้ยังสามารถประเมินค่าทางพลังงานได้โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานรวม (Gross energy, GE) กับส่วนประกอบทางเคมีในอาหารที่วิเคราะห์ได้โดยวิธี Proximate และความสัมพัทธ์ระหว่างพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (Metabolisable energy, ME) กับค่าการย่อยได้ของ Dry matter หรือ Organic matter หรือ Modified acid detergent fiber (MADF) สามารถทำนายค่าทางพลังงานดังนี้

$$GE = 5.77 CP + 8.74 EE + 5.0 CF + 4.06 NFE - 1.05 \text{ sugars}$$

เมื่อ GE มีหน่วยเป็น kcal/kgDM, CP, EE, CF, NFE และ sugars มีหน่วยเป็น g/kgDM (Schiemann et al., 1971 อ้างโดย Van der Honing and Alderman, 1988)

การคำนวณ ME จากการที่ ME เป็นสัดส่วนคงที่ของ DE ได้ดังสมการ (Armstrong, 1964)

$$ME = 0.81 DE$$

และ คำนวณจาก DOMD ที่ได้จากการทำ Digestibility trials (*in vivo* digestibility) และ *in vitro* digestibility (Tilley and Terry, 1963) ได้สมการดังนี้

$$ME \text{ (MJ/kgDM)} = 0.015 \text{ DOMD (g/kgDM)} \text{ (Morgan and Barber, 1979)}$$

ผลที่ได้จากการทำ Digestibility trial และ จากการทำ Proximate analysis ในอาหารและมูลสามารถนำมาสร้างสมการในการคำนวณหาค่า ME ในอาหารสัตว์ โดยใช้ Regression equations ได้โดยใช้สมการต่าง ๆ ดังนี้

$$ME \text{ (kJ/kgDM)} = 15.2 DCP + 34.2 DEE + 12.8 DCF + 15.9 DNFE$$

$$ME \text{ (kJ/kgDM)} = 18.6 DCP + 41.9 DEE + 18.6 DCF + 18.6 DNFE - 1883 \text{ (Van der Honing and Alderman, 1988)}$$

$$\text{ME (Mcal/kgDM)} = 3.63 \text{ DCP} + 8.17 \text{ DEE} + 3.06 \text{ DCF} + 3.87 \text{ DNFE (Nehring, 1969)}$$

$$\text{ME (Mcal/kg DM)} = 0.044 \text{ DMD} - 0.599 \text{ (Amstrong, 1964)}$$

$$\text{DE (Mcal/kg DM)} = 0.043 \text{ DMD} - 0.114 \text{ (Minson and Milford, 1966)}$$

$$\text{DE (Mcal/kg DM)} = 0.0418 \text{ DMD} + 0.219 \text{ (Butterworth, 1964)}$$

$$\text{DE (Mcal/kg DM)} = 0.0462 \text{ DMD} - 0.158 \text{ (Moir, 1961)}$$

$$\text{ME} = 0.82 \text{ DE (NRC, 1988)}$$

$$\text{ME (Mcal/kgDM)} = -0.45 + 1.01 \text{ DE (NRC, 1988)}$$

เมื่อ

DCP = Digestible Crude protein

DEE = Digestible Ether extract

DCF = Digestible Crude fibre

DNFE = Digestible Nitrogen free extract

DMD = Dry matter digestibility

DOMD = Organic matter digestibility (%)

ค่า DOMD ที่คำนวณได้จากการทำการวัดการย่อยสลายโดยวิธีการวัดก๊าซ สามารถนำมาประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ โดยประเมินร่วมกับองค์ประกอบทางเคมีบางตัวในอาหาร หรือประเมินได้จากองค์ประกอบทางเคมีได้ดังนี้ (Menke and Steingass, 1988)

สำหรับอาหารหยาบมีสมการประเมินดังนี้

$$\text{ME (MJ/kgDM)} = -0.20 + 0.141 \text{ DOMD}$$

$$\text{ME (MJ/kgDM)} = 0.81 + 0.1473 \text{ DOMD} - 0.122 \% \text{ash} + 0.223 \% \text{EE} + 0.02 \% \text{CP}$$

สำหรับอาหารข้นมีสมการประเมินดังนี้

$$\text{ME (MJ/kgDM)} = -1.15 + 0.16 \text{ DOMD}$$

$$\text{ME (MJ/kgDM)} = 0.71 + 0.1452 \text{ DOMD} - 0.127 \% \text{ash} + 0.179 \% \text{EE}$$

สมการใช้ประเมินอาหารทุกชนิด ดังนี้

$$\text{ME (MJ/kgDM)} = 14.30 - 0.135 \% \text{ADF}$$

$$\text{ME (MJ/kgDM)} = 14.15 - 0.166 \% \text{CF}$$

$$\text{ME (MJ/kgDM)} = 14.61 - 0.133 \% \text{ADF} - 0.046 \% \text{ash}$$

$$\text{NEL (MJ/kgDM)} = 9.07 - 0.097 \% \text{ADF}$$

$$\text{NEL (MJ/kgDM)} = 8.96 - 0.119 \% \text{CF}$$

$$\text{NEL (MJ/kgDM)} = 9.32 - 0.095 \% \text{ADF} + 0.037 \% \text{ash}$$

2.7.6 การประเมินคุณค่าทางพลังงานจากโภชนะที่ย่อยได้ในอาหาร

โดยยึดหลักโภชนะชนิดใดที่ให้พลังงานได้ต้องนำมาคำนวณและต้องอาศัย True digestibility ของโภชนะนั้นๆ จากนั้นจะได้ค่า TDN ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาค่า NE ได้

2.7.6.1 พลังงานจากโปรตีน

ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้จริง (True digestibility, TD) ของ Crude protein (CP) เป็นค่าที่ค่อนข้างคงที่ ในพืชมีค่าอยู่ระหว่าง 0.9-1.0 (เฉลี่ย 0.93) ส่วนอาหารชั้นที่ไม่ผ่านความร้อน มีค่า ประมาณ 1.0 (Fommesbeck et al., 1984) อาหารที่ถูกความร้อนค่าการย่อยได้จริงของ CP (TD_{CP}) จะลดลง และสามารถคำนวณได้จากค่า Acid detergent insoluble nitrogen (ADIN) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับอัตราการถูกทำลายด้วยความร้อนของอาหาร และในอาหารหยาบและอาหารชั้นมีค่าไม่เท่ากัน จึงต้องใช้สมการคำนวณที่ต่างกันดังนี้

$$\text{Concentrate: } TD_{CP-C} = 1 - 0.004 \text{ ADIN (Nakamura et al., 1994)}$$

โดย ADIN คิดเป็นสัดส่วนของ N ทั้งหมด การวิเคราะห์ค่า ADIN จะทำเฉพาะในตัวอย่างอาหารชั้นที่ผ่านความร้อนเท่านั้น

$$\text{Roughage: } TD_{CP-R} = e^{-0.012 \text{ ADIN}} \text{ (Weiss et al., 1983)}$$

เมื่อ e เป็นฐานของ Natural logarithm และ ADIN แทนค่าเป็นสัดส่วนของ Total N โดยสัดส่วนของ N ใน ADIN ของพืชที่ไม่ถูกความร้อนจะเท่ากับ 0.07 และเมื่อได้ค่า TD_{CP} แล้ว จึงคำนวณค่าพลังงานของ CP (E_{CP}) ดังนี้

$$E_{CP} = TD_{CP} \times CP$$

2.7.6.2 พลังงานจากไขมัน

ค่า Ether extract (EE) ประกอบด้วย กรดไขมัน (FA) รวมทั้ง Triglycerides, Waxes, Pigments และอื่นๆ แต่เครื่องมือวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการส่วนมากหา EE การคำนวณหาค่า FA ทำได้จาก EE เพราะไขมันที่ไม่ใช่ FA มีประมาณ 1.5 % ของ DM ในอาหารเท่านั้น

$$FA = EE - 1.5$$

ค่า TD ของ FA ขึ้นอยู่กับปริมาณของ FA ในอาหาร และถ้าค่า FA เพิ่มขึ้น 1 % ค่า TD ของ FA จะลดลง 0.03 (Palmquist, 1991)

$$E_{FA} = [1.00 - 0.03FA] \times 2.25 \text{ FA}$$

ค่า 2.25 เป็นค่าพลังงานของไขมันที่สูงกว่าคาร์โบไฮเดรต 2.25 เท่า

อย่างไรก็ตามจากการเปลี่ยน DE เป็น NE ในกรณีไขมันมีประสิทธิภาพประมาณ 0.64 ส่วนคาร์โบไฮเดรตมีค่า 0.52 (Andrews et al., 1991) แสดงว่าประสิทธิภาพในการเปลี่ยน DE หรือ TDN ไปเป็น NE ในไขมันสูงกว่าคาร์โบไฮเดรต 23 % ดังนั้นเพื่อความถูกต้องในการคำนวณค่า ME หรือ NE จึงควรเปลี่ยน Factor 2.25 เป็น 2.8 (ซึ่งมาจาก 2.25×1.23) ได้สมการ

$$E_{FA} = 0.97 \times FA \times 2.8$$

2.7.6.3 พลังงานจาก Neutral detergent fiber (NDF)

NDF เป็นค่าที่ไม่คงที่ แต่ NDF ส่วนที่อาจย่อยได้ (Potential digestible NDF หรือ pdNDF) ค่อนข้างคงที่ โดยมีค่าเท่ากับ 1.0 NDF ประกอบด้วย Lignin ซึ่งย่อยไม่ได้และยังขัดขวางการย่อยได้ของ Cellulose และ Hemicellulose จึงควรคำนวณหาค่าสัดส่วนของพื้นผิว NDF ที่ถูกปกคลุมด้วย Lignin เพื่อนำมาหักลบออก ค่า pdNDF คำนวณได้จากสมการ

$$PdNDF = (NDF - Lignin) [1 - (Lignin/NDF)^{0.667}] \text{ หน่วยเป็น \% ของ DM}$$

ในอาหารอาจมีส่วนของ CP ปนมาในค่า NDF ทำให้ค่า NDF สูงไป เมื่อนำไปคำนวณค่าพลังงานจะทำให้มีค่าต่ำไป ดังนั้นควรวิเคราะห์ ค่า NDIN เพื่อหาค่า NDF ที่ปราศจาก N (NDF_N) ดังนี้

$$NDF_N = NDF - NDCP, \text{ เมื่อ } NDCP = NDIN \times 6.25$$

ดังนั้น พลังงานจาก NDF คำนวณโดยคูณค่า pdNDF ด้วยสัมประสิทธิ์การย่อยได้ ประมาณการย่อยได้ของ pdNDF ในสัตว์ที่ได้รับอาหารในระดับ Maintenance มีค่าเท่ากับ 0.75

$$E_{NDF} = 0.75(NDF_N - Lignin) [1 - (Lignin/NDF_N)^{0.667}]$$

2.7.6.4 พลังงานจากคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใย (Non- fiber carbohydrate, NFC)

ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของ NFC ค่อนข้างคงที่มีค่า TD ประมาณ 0.98 ถ้าสัตว์ได้รับอาหารที่ระดับ Maintenance พลังงานจาก NFC คำนวณได้จาก

$$E_{NFC} = 0.98 [100 - NDF_N - CP - Ash - (FA + 1.5)]$$

2.7.6.5 สมการการคำนวณค่า TDN

ปกติ TDN ได้จากการรวมพลังงานรวมของ CP, NDF, FA และ NFC ซึ่งคำนวณมาจาก True digestibility ในขณะที่ TDN เป็นค่าที่คิดจาก Apparent digestibility ดังนั้น จึงต้องนำพลังงานจาก Metabolic faecal material มาหักลบออก ซึ่ง Metabolic TDN มีค่าประมาณ 7 ฉะนั้น สมการคำนวณค่า TDN จะเป็น

$$TDN = E_{CP} + E_{FA} + E_{NDF} + E_{NFC} - 7$$

สมการการคำนวณค่า NEL, ME และ DE จาก TDN

$$NE_L \text{ (Mcal/kgDM)} = 0.0245 \text{ TDN}(\%) - 0.12$$

$$ME \text{ (Mcal/kgDM)} = 0.0362 \text{ TDN}(\%)$$

$$DE \text{ (Mcal/kgDM)} = 0.04409 \text{ TDN}(\%)$$

สมการที่ใช้ประเมินพลังงานสุทธิในอาหารในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คือ

$$NE_M \text{ (Mcal/kgDM)} = -1.12 + 1.37ME - 0.138ME^2 + 0.0105ME^3$$

$$NE_G \text{ (Mcal/kgDM)} = -1.65 + 1.42ME - 0.174ME^2 + 0.0122ME^3$$

$$\text{เมื่อ } ME = 0.0362 \text{ TDN}(\%)$$

2.7.7 การประเมินความต้องการพลังงานของโคนม

2.7.7.1. ระบบ Metabolisable energy system ที่ใช้ในสหราชอาณาจักร มีสมการคำนวณความต้องการ ME และ NE (ARC, 1980) ดังนี้

ความต้องการพลังงานในโคกำลังให้นม

$$ME_R = ME_M + ME_G + ME_L$$

หรือ
$$= NE_M / k_M + NE_G / k_G + NE_L / k_L$$

เมื่อ

ME_R = ความต้องการพลังงาน ME

ME_M = ความต้องการพลังงาน ME เพื่อการดำรงชีพ

ME_G = ความต้องการพลังงาน ME เพื่อการเจริญเติบโต

ME_L = ความต้องการพลังงาน ME เพื่อการสร้างน้ำนม

NE_M = ความต้องการพลังงาน NE เพื่อการดำรงชีพ

NE_G = ความต้องการพลังงาน NE เพื่อการเจริญเติบโต

NE_L = ความต้องการพลังงาน NE เพื่อการสร้างน้ำนม

k_M = ประสิทธิภาพเพื่อการใช้พลังงานเพื่อการดำรงชีพ

k_G = ประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพื่อการเจริญเติบโต

k_L = ประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพื่อการให้นม

$$q = ME / GE$$

$$\text{และ } NE_M = 0.53 (LW / 1.08)^{0.67} + 0.0095 LW$$

$$k_M = 0.35 q + 0.503$$

$$NE_G = 19 \text{ MJ /kg gain และ } 16 \text{ MJ /kg loss}$$

$$k_G = 0.95 k_L$$

$$NE_L (\text{MJ /kg milk}) = 0.0406 \text{ Fat} + 1.509$$

$$k_L = 0.35q + 0.42$$

ความต้องการพลังงานสำหรับการเจริญเติบโตในโคกำลังเจริญเติบโต
(MJ/kg) ดังสมการ (ARC, 1980)

$$ME_R = ME_M + ME_G$$

หรือ
$$= NE_M / k_M + NE_G / k_G$$

$$NE_M = 0.53 (LW / 1.08)^{0.67} + 0.071 LW$$

$$k_M = 0.35 q + 0.503$$

$$NE_G = (4.1 + 0.0332LW - 0.000009LW^2) / (1 - 0.1475LWG)$$

$$k_G = 0.78q + 0.006$$

เมื่อ LWG คือ น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง (กิโลกรัมต่อวัน) LW คือ น้ำหนักตัวไม่ได้คอดอาหาร (กิโลกรัม) สำหรับโคเพศผู้และสำหรับโค Large breed ก็ลดลงอีก 15 % หรือเพิ่มอีก 15 % สำหรับโคสาวและ สำหรับโค Small breed

2.7.7.2. ระบบ Net energy system ใช้ในสหรัฐอเมริกา และใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ด้วย

ความต้องการพลังงานสำหรับโคกำลังให้นม มีสมการที่ใช้ในการคำนวณดังนี้ (NRC, 1988, 1989)

$$NEL = NE_L + NE_M + NE_G$$

$$NE_L (\text{Mcal/ kg milk}) = 0.3512 + (0.0962 \% \text{ Fat})$$

$$NE_M (\text{Mcal/ d}) = 0.08 LW^{0.75}$$

$$NE_G (\text{Mcal/ kg }) (\text{gian}) = 5.12 \text{Mcal}$$

$$(\text{Loss}) = 4.92 \text{Mcal}$$

เมื่อ NEL คือ ความต้องการพลังงานสุทธิสำหรับโคกำลังให้นม
LW คือ น้ำหนักตัวที่ไม่คอดอาหาร (กิโลกรัม)

ความต้องการพลังงานของโคที่กำลังเจริญเติบโตคำนวณได้จากสมการข้างล่างนี้

สำหรับโคสาว large-breed เป็น $NE_G \text{ (Mcal/day)} = (0.035 LW^{0.75}) (LWG^{1.119}) + LWG$

สำหรับโคเพศผู้ large-breed เป็น $NE_G \text{ (Mcal/day)} = (0.025 LW^{0.75}) (LWG^{1.097}) + LWG$

สำหรับโคสาว small-breed เป็น $NE_G \text{ (Mcal/day)} = (0.045 LW^{0.75}) (LWG^{1.119}) + LWG$

สำหรับโคเพศผู้ small-breed เป็น $NE_G \text{ (Mcal/day)} = (0.035 LW^{0.75}) (LWG^{1.097}) + LWG$

เมื่อ LW คือ น้ำหนักที่ไม่ได้อัดอาหาร (kg) และ LWG คือ น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (kg/day)

ความต้องการพลังงานสำหรับการดำรงชีพ คำนวณได้จากสมการดังนี้

$$NE_M \text{ (Mcal /day)} = 0.086 LW^{0.75}$$

ในงานทดลองในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ใช้โคลูกผสม ฉะนั้นถือว่าเป็นโค Small-breed

2.7.7.3 ระบบ TDN (NRC, 1989)

ความต้องการพลังงาน TDN

$$TDN_M = 0.0352 LW^{0.75}$$

$$TDN_L = 0.322 FCM$$

$$TDN \text{ gain} = 2.26 \text{ kg}$$

$$TDN \text{ loss} = 2.17 \text{ kg}$$

เมื่อ TDN_M คือ ความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพ, TDN_L คือ ความต้องการพลังงานเพื่อสร้างน้ำนม $TDN \text{ gain}$ คือ พลังงานสำหรับเพิ่มน้ำหนัก และ $TDN \text{ loss}$ คือ พลังงานเพื่อใช้ในการสูญเสีย น้ำหนัก

แต่ในการประเมินค่าที่ได้ไม่ถูกต้องมากนักส่วนใหญ่จะได้ค่าที่สูงกว่าความเป็นจริงประมาณ 7-8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าที่สูงกว่านี้เป็นเพราะการกินได้ที่เพิ่มขึ้นและเมื่อมีการปรับกับการกินได้อย่างแท้จริงและค่าที่ประเมินได้จะสูงกว่าความเป็นจริง 5-6 เปอร์เซ็นต์ (Weiss, 1998) แต่อย่างไรก็ตามระบบนี้ก็ยังมีปรับปรุงพัฒนาไปเรื่อยๆ เพื่อให้มีความถูกต้องยิ่งขึ้น

2.7.7.4 ระบบ Net energy (NRC, 1996)

เป็นระบบที่ใช้สำหรับทำนายความต้องการพลังงานสำหรับโคกำลังเจริญเติบโต เพื่อปรับให้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น ซึ่งมีความแม่นยำสูงถึง 96 เปอร์เซ็นต์ (Fox et al., 1999)

พลังงานสุทธิเพื่อการเจริญเติบโต (Net energy retain, NE_R)

$$NE_R = 0.0635 EBW^{0.75} \times EBWG^{1.097}$$

พลังงานที่เก็บกักไว้ในร่างกาย (Energy requirements for body reserves)

$$ER = 9.4 TF + 5.7 TP$$

$$TF = (0.122 NE_R) - 0.146$$

$$TP = 0.248 - (0.0246 NE_R)$$

เมื่อ EBW คือ น้ำหนักที่ปราศจากอาหารในทางเดินอาหาร, EBWG คือ อัตราการเจริญเติบโตที่น้ำหนักไม่มีอาหารในทางเดินอาหาร, Energy reserves, ER คือ พลังงานเก็บกักในร่างกาย, Total fat, TF คือ สัดส่วนของไขมันในร่างกายที่อัตราเจริญเติบโตของน้ำหนักจำกัดอาหารและน้ำ, Total protein, TP คือ สัดส่วนของโปรตีนในร่างกายที่อัตราเจริญเติบโตของน้ำหนักจำกัดอาหารและน้ำ

2.8 การประเมินคุณค่าโปรตีนในอาหารและความต้องการโปรตีนของโคนม

2.8.1 การประเมินคุณค่าของโปรตีนในอาหาร

2.8.1.1 การประเมินจากโปรตีนหยาบ

โปรตีนหยาบทั้งหมดในอาหาร สามารถวิเคราะห์ได้โดย วิธี Kjeldahl method ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งเป็นการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในอาหาร ทั้งในไนโตรเจนที่เป็นส่วนประกอบของโปรตีนและในไนโตรเจนที่ไม่เป็นส่วนประกอบของโปรตีน เมื่อทราบปริมาณของไนโตรเจนแล้วคูณด้วย 6.25 เพราะในโครงสร้างของโปรตีนทุกๆ ไปจะมีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบอยู่ประมาณ 16 เปอร์เซ็นต์ การประเมินวิธีนี้ไม่ได้คำนึงถึงโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้

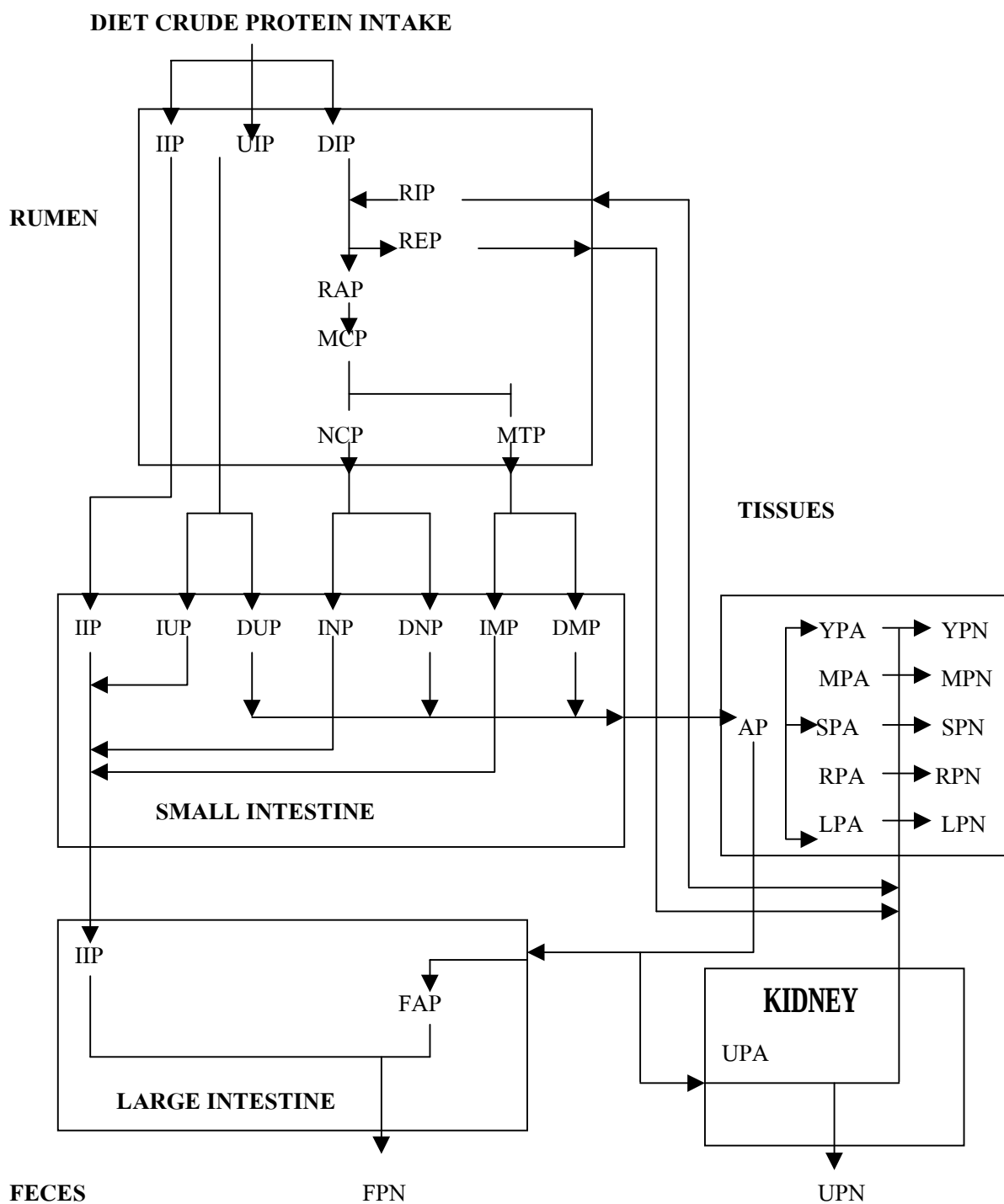
2.8.1.2 การประเมินจากโปรตีนย่อยได้

เป็นการหาการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีน โดยการหาค่าย่อยได้วัดจากปริมาณโปรตีนที่สัตว์กินเข้าไปลบด้วยปริมาณโปรตีนที่ขับออกมาในมูล ซึ่งการย่อยได้ดังกล่าวเป็นการย่อยได้ปรากฏ ไม่ใช่การย่อยได้จริงทำให้ค่าที่ได้ไม่ถูกต้องนัก ทั้งนี้เพราะในไนโตรเจนที่ส่วนหนึ่งในมูลไม่ได้มาจากอาหารแต่เป็น Metabolic fecal nitrogen ซึ่งเป็นส่วนของเซลล์ผนังลำไส้ที่หลุดลอกและเอนไซม์ที่ขับออกมาในทางเดินอาหาร ฉะนั้นค่าการย่อยได้ปรากฏนี้จึงต่ำกว่าการย่อยได้จริง นอกจากนี้ยังมีโปรตีนบางส่วนถูกขับออกมาทางปัสสาวะซึ่งเป็น Endogenous urinary nitrogen คือ ไนโตรเจนที่ถูกขับออกมาเนื่องจากกระบวนการเมแทบอลิซึม และการสร้างโปรตีนใหม่ของเนื้อเยื่อ จึงทำให้การประเมินวิธีนี้ไม่ถูกต้องตามความต้องการนัก

2.8.1.3 การประเมินจากส่วนของโปรตีนที่ถูกย่อยและไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก หรือนำส่วนของโปรตีนใช้ประโยชน์ (Metabolisable protein) และ Amino acids มาใช้ในการประเมินการย่อยได้ของโปรตีนในอาหารสัตว์ในเขตอบอุ่นค่อนข้างจะคงที่มีค่าประมาณ 90-95 % ยกเว้นอาหารที่ผ่านขบวนการให้ความร้อน เช่น Hay, Silage และ By-product การย่อยได้ของโปรตีนคุณภาพต่ำมักจะต่ำไปด้วย

2.8.1.4 การประเมินจากความต้องการของสัตว์และการนำไปใช้ได้ของโปรตีน

โปรตีนในอาหารที่สัตว์กินเข้าไปนั้นเมื่อผ่านกระบวนการต่างในร่างกายแล้วจะพบว่าจะมีบางส่วนที่ร่างกายไม่สามารถนำไปใช้ได้ และถูกขับออกมาซึ่งจะเป็นไปตามภาพที่ 2.4 โปรตีนส่วนใหญ่จะถูกย่อยสลาย (Degraded) ให้เป็น Peptide, Amino acids และ Ammonia บางส่วนจะถูกใช้ในการสังเคราะห์ Microbial protein พบว่าประมาณร้อยละ 65 ของการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ (Digestible organic matter, DOM) ในอาหารจะถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก และอาหารที่ไม่ย่อยในกระเพาะหมักจะไหลผ่านไปยังกระเพาะจริง (Abomasum) และผ่านไปยังลำไส้เล็ก ส่วนของโปรตีนที่ไหลผ่านมาถึงกระเพาะส่วนล่างประกอบด้วยส่วนผสมของโปรตีนในอาหารที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก (Rumen undegraded protein, RUP) และส่วนของโปรตีนของจุลินทรีย์ (Microbial protein, MP) ซึ่งส่วนของโปรตีนของจุลินทรีย์ คิดเป็นสัดส่วนประมาณร้อยละ 50-70 ของโปรตีนที่ผ่านไปยังลำไส้เล็ก โปรตีนของจุลินทรีย์จะประกอบด้วย Amino acids ซึ่งเหมาะสมกับความต้องการของสัตว์ เพราะฉะนั้นการประเมินความต้องการโปรตีนจากอาหารจะต้องคำนึงถึงจำนวนจุลินทรีย์ที่ผลิตได้ ส่วนของโปรตีนไหลผ่านและส่วนของโปรตีนไม่สามารถย่อยได้และถูกขับออกนอกร่างกาย



ภาพที่ 2.4 ทิศทางของไนโตรเจนจากอาหารในร่างกายและการใช้ไนโตรเจนของร่างกาย (NRC, 1985)

หมายเหตุ : เมื่อ IIP = Indigestible intake crude protein, UIP = Undegraded intake crude protein, DIP = Degraded intake crude protein, RIP = Rumen influx crude protein, REP = Rumen efflux crude protein, RAP = Rumen avirable protein, MCP = Microbial crude protein, NCP = Nucleic acid crude protein, MTP = Microbial true protein, IUP = Indigestible undegraded crude protein, DUP = Digestible undegraded crude

protein, INP = Indigestible nucleic acid crude protein, IMP = Indigestible microbial crude protein, DMP = Digestible microbial crude protein, FPA = Metabolic Fecal protein in absorbed protein, FPN = Metabolic Fecal protein in net protein, AP = Absorbed protein, YPA = Conceptus protein in absorbed protein, YPN = Conceptus protein in net protein, MPA = Maintenance protein in absorbed protein, MPN = Maintenance protein in net protein, SPA = Surface protein in absorbed protein, SPN = Surface protein in net Protein, RPA = Retained protein in absorbed protein, RPN = Retained protein in net protein, LPA = Lactation protein in absorbed protein, LPN = Lactation protein in net protein, UPA = Urinary protein in absorbed protein, UPN = urinary protein in net protein

ตารางที่ 2.4 ปัจจัยที่ใช้ในการใช้ประโยชน์ของโปรตีนในสัตว์กระเพาะรวม

Factor	Protein system	
	ARC	NRC
Microbial crude protein / Rumen degradable protein	0.8-0.1	0.90
Microbial crude protein/Digestible organic matter	0.13	0.14
Microbial crude protein (g/MJ metabolisable energy)	8.40	9.60
Microbial true protein/ Microbial crude protein	0.80	0.80
Digestible microbial true protein/ Microbial true protein	0.85	0.80
Digestible microbial true protein/ Microbial crude protein	0.68	0.64
Digestible rumen undegraded protein/Rumen undegradable protein	0.85	0.80
Tissues protein (amino acid)/ Absorbed amino acid		
Maintenance	0.79	0.67
Lactation	0.80	0.65
Growth	0.80	0.50

ที่มา : วิทยจุพร สุขสมบัติ, 2542

สมการการประเมินความต้องการ โปรตีนจากอาหาร ที่ใช้ในวิทยานพฐฉบับนี้เป็นดังนี้

$$AP = 0.64MCP + 0.8RUP - FCP$$

เมื่อ AP = absorbed protein

MCP = Microbial crude protein

RUP = Rumen undegradable protein

FCP = Fecal metabolic protein

$$\text{MCP (g/d)} = 6.25 (-31.86 + 26.12 \text{ TDN})(\text{kg}) \text{ หรือ } = 0.9 \text{ RDP (NRC, 1988)}$$

$$\text{RUP (g/d)} = (\text{CP} \times 1.15) - \text{RDP (Nylon bag)}$$

$$\text{FCP (g/d)} = 0.03 \times \text{DMI (g/d)} (\text{NRC, 1985})$$

2.8.2 การประเมินความต้องการโปรตีนในโคนม

2.8.2.1 สำหรับโคให้นม

การวัดความต้องการของโปรตีนในสัตว์ต้องวัดโปรตีนที่ดูดซึม (Absorbed protein) เข้าในร่างกายแล้วนำไปใช้ และ/หรือการวัดโปรตีนในเนื้อเยื่อ (Tissue protein)

สมการการคำนวณ ความต้องการ Tissue protein, TP (ARC, 1980, 1984)

$$\text{TP} = \text{TP}_M + \text{TP}_P + \text{TP}_G$$

$$\text{TP}_M \text{ คือ โปรตีนสำหรับการดำรงชีพ } = 2.3 \text{ g/kg LW}^{0.75} (\text{g/day})$$

$$\text{TP}_P \text{ คือ โปรตีนสำหรับสร้างน้ำนม } = 3.3 (\text{g/kg milk})$$

$$\text{TP}_G \text{ คือ โปรตีนสำหรับการสูญเสียน้ำหนักตัวหรือเพิ่มน้ำหนักตัว } = 150 \text{ or } 112 (\text{g/kg})$$

สมการการคำนวณความต้องการ Absorbed protein, AP (g/day) (NRC, 1988, 1989 อ้างโดย Hanigan et al., 1998 ; Van Amburgh et al., 1998a)

$$\text{AP} = \text{SPA} + \text{UPA} + \text{FPA} + \text{LPA} + \text{RPA} + \text{YPA}$$

SPA คือ โปรตีนดูดซึมที่สูญเสียหรือหลุดลอกของเนื้อเยื่อต่างๆ , UPA คือ โปรตีนดูดซึมที่สูญเสียมาในปัสสาวะ, FPA คือ โปรตีนดูดซึมที่สูญเสียไปกับอุจจาระ, LPA คือ โปรตีนดูดซึมที่ต้องการสำหรับสร้างน้ำนม, RPA คือ โปรตีนดูดซึมที่ต้องการสร้างเนื้อและระบบสืบพันธุ์, YPA คือ โปรตีนดูดซึมที่ต้องการสำหรับสร้างตัวอ่อนในท้อง และ หาได้จากสมการดังนี้

$$\text{SPA} = 0.2 \text{ BW}^{0.6} / 0.67$$

$$\text{UPA} = 2.75 \text{ BW}^{0.5} / 0.67$$

$$\text{FPA} = 0.09 \text{ IDMI} \text{ เมื่อ IDMI} = \text{Indigestible DMI (g/day)}$$

$$\text{FPA} = 0.03 \text{ DMI (g/day)}$$

$$\text{LPA} = \text{milk protein} / 0.70$$

$$\text{RPA} = [\text{EBG}\{249 - (26.2 \text{ NEGE} \text{BG})\}] / 0.5$$

เมื่อ EBG คือ Empty body weight gain (kg/day), NEGE BG คือ ความเข้มข้นของพลังงานในการเจริญเติบโตของน้ำหนักกอดอาหาร มีค่า $\text{NE}_G * \text{EBG}$

$YPA = 1.136BW^{0.7} / 0.5$ สำหรับ $Y_t > 210$ เมื่อ Y_t = อายุของตัวอ่อน และ ถ้า
ท้องน้อยกว่า 210 วัน แล้ว $YPA = 0$

NRC (1996 อ้างโดย Fox et al., 1999) คำนวณความต้องการโปรตีน Retained ดัง
สมการข้างล่าง

$$NP_G = 268 - (29.4 \text{ NERSBWG}) \text{ SBWG}$$

เมื่อ NP_G คือ โปรตีนสุทธิเพื่อการเจริญเติบโต, SBWG คือ อัตราการเจริญเติบโตที่น้ำหนักจำกัด
อาหารและน้ำ, NERSBWG คือ ความเข้มข้นของพลังงานในการเจริญเติบโตที่น้ำหนักจำกัดอาหาร
และน้ำ มีค่าเป็น $NE_R * \text{SBWG}$

2.8.2.2 สำหรับโคกำลังเจริญเติบโต

โปรตีนเนื้อเยื่อ (Tissue protein, TP) (ARC, 1980, 1984)

สำหรับดำรงชีพ (Maintenance tissue protein) = $2.3 \text{ g/kgLW}^{0.75} \text{ (g/day)}$

สำหรับเพิ่มน้ำหนักตัว (Liveweight gain tissue protein) = 100-220 (g/day)

โปรตีนดูดซึม (Absorbed protein, AP)(NRC, 1988) ซึ่งใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ความต้องการโปรตีนสุทธิ (กรัม/วัน) = เพื่อดำรงชีพ + ผลผลิต

$$AP_R = SPA + UPA + FPA + RPA$$

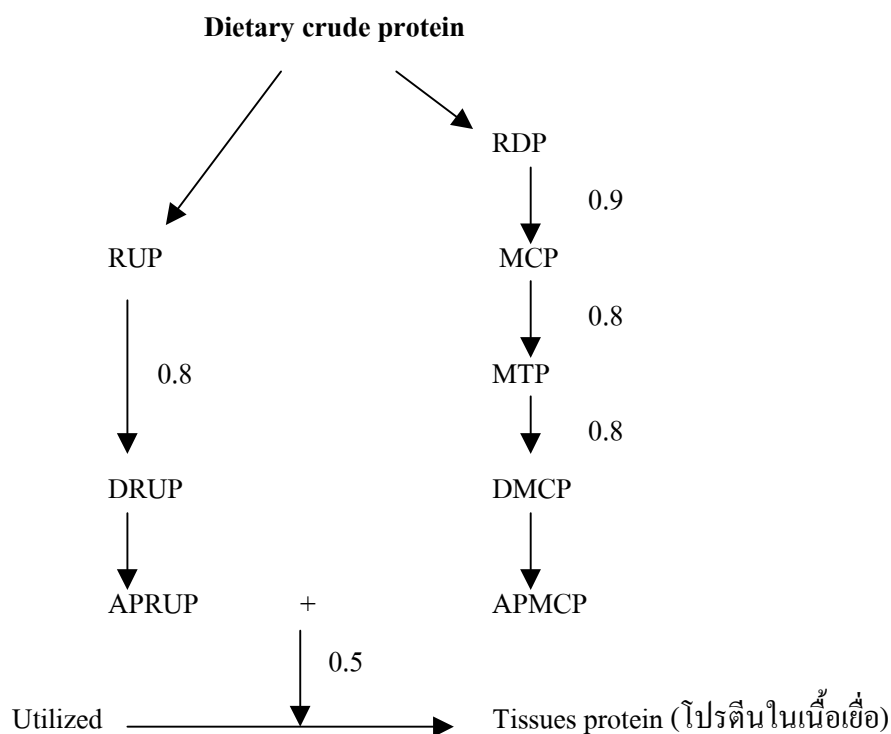
โปรตีนดูดซึมเพื่อการดำรงชีพ (Maintenance AP ,g/day) = (SPA + UPA)+ FPA

โปรตีนดูดซึมเพื่อการเพิ่มน้ำหนัก (Liveweight gain AP, g/day) = RPA

2.8.3 ความต้องการโปรตีนที่ย่อยและไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมักของโคสาว

อาหารโปรตีนใดๆ ที่โคนมกินเข้าไปนั้น ส่วนหนึ่งจะถูกย่อยสลายโดยการทำงานของ
จุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก ที่เรียกว่า Rumen degradable protein (RDP) อีกส่วนหนึ่งจะไม่ถูกย่อย
สลายโดยการทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก ที่เรียกว่า Rumen undegradable protein (RUP)
ซึ่งจะผ่านไปยังกระเพาะแท้และลำไส้เล็กและถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ได้ เป็นกรดอะมิโนและถูก
ดูดซึมไปใช้ประโยชน์ในร่างกาย ซึ่งมีประสิทธิภาพในการย่อยได้ประมาณ 0.8 และตัวสัตว์สามารถ
นำไปใช้ในการสร้างเนื้อเยื่อเพื่อการเจริญเติบโตมีประสิทธิภาพประมาณ 0.5 (ตารางที่ 2.4 และแผน
ภาพที่ 2.4) ส่วน RDP เมื่อถูกย่อยสลายแล้วได้เป็น เปปไทด์ และแอมโมเนีย และส่วนหนึ่งจะถูก
จุลินทรีย์จับไปใช้ในการสังเคราะห์เป็นตัวจุลินทรีย์เอง ทั้งนี้ต้องมีแหล่งพลังงานเพียงพอ ซึ่ง
ประมาณว่าจุลินทรีย์นำไปใช้ได้สูงมีประสิทธิภาพสูงถึง 0.9 แต่จุลินทรีย์ที่ผลิตขึ้นในกระเพาะหมัก
นั้นมีโปรตีนของจุลินทรีย์จริงประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ และการย่อยได้ของโปรตีนของจุลินทรีย์เมื่อ

ผ่านไปยังกระเพาะแท้งมีประสิทธิภาพ 0.8 และสัตว์สามารถนำไปใช้มีประสิทธิภาพ 0.5 แสดงในตารางที่ 2.4 และแผนภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 แผนภาพแสดงทิศทางประสิทธิภาพการย่อยสลายและการนำไปใช้ของโปรตีนในโคสาว

ดังนั้น จากแผนภาพ ความต้องการโปรตีนดูซึมของโคสาวเท่ากับ

$$AP = APRUP + APMCP$$

และ $MCP = 0.9 RDP$

$$APMDP = 0.64MCP$$

$$APRUP = AP - APMCP$$

เพราะฉะนั้น ความต้องการโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายและย่อยสลายในกระเพาะหมักของโคสาวหาได้จากสมการ

$$RUP = APRUP / 0.8$$

$$RDP = MCP / 0.9$$

$$CP = (RUP + RDP) / 1.15$$

2.9 ความสำคัญของอาหารพลังงานและโปรตีนต่อผลผลิตโคนม

2.9.1 ความสำคัญของอาหารต่อผลผลิตโคนม

2.9.1.1 ความต้องการอาหารของโคนมรุ่น-สาว

หลังจากลูกโคหย่านมแล้วเป็นช่วงที่โคต้องการเจริญเติบโตต้องการอาหารในปริมาณมากขึ้น ความต้องการโภชนาส่วนใหญ่จะเป็นพลังงานและโปรตีน เพื่อที่โคจะได้นำไปใช้เพื่อการดำรงชีวิต เพื่อการเจริญเติบโต เพื่อการสืบพันธุ์ เป็นต้น ในช่วงนี้โคจะมีการเจริญเติบโตสูงเนื่องจากการเพิ่มของโครงสร้างร่างกายและการสะสมของไขมัน พบว่าการให้อาหารโคเล็กสูงหรือการเร่งการเจริญเติบโตสูงจะทำให้มีการเจริญเติบโตของโครงร่างกายสูงขึ้นด้วย (Lammers et al., 1999a) การเจริญของโครงร่างจะเริ่มช้าๆ และสูงสุดเมื่อเป็นโครุ่น จากนั้นจะค่อยๆ ลดลง (Mourrits et al., 2000) โดยมากแล้วเกษตรกรมักจะละเลยไม่ค่อยให้ความสนใจการเลี้ยงดูในช่วงนี้มากนัก ซึ่งตามความเป็นจริงโคนมช่วงนี้จำเป็นจะต้องได้รับการเลี้ยงดูอย่างดี เช่น การให้อาหารอย่างถูกต้อง และการจัดการในเรื่องต่างๆ ที่มีประสิทธิภาพเพราะว่าโคช่วงอายุนี้นี้ต่อไปจะเจริญเติบโตไปเป็นโคทดแทนโคนมตัวอื่นในฝูงที่จำเป็นจะต้องคัดทิ้งเนื่องจากสาเหตุต่างๆ ถ้าไม่ได้ให้ความสนใจใส่เรื่องของการเลี้ยงดูอย่างดีพอแล้วก็จะได้โคนมทดแทนที่ไม่มีคุณภาพ การเอาใจใส่ในเรื่องอาหารอย่างถูกต้องและพอเหมาะจะทำให้เกิดประโยชน์หลายอย่างดังนี้ ก็เป็นการเตรียมโครงสร้างของร่างกายให้พร้อมที่จะเจริญเติบโตไปเป็นแม่พันธุ์โคนมที่ดีต่อไป อัตราการเจริญเติบโตสูงของลูกโค จากช่วงโคเล็กไปเป็นโครุ่นมีผลทำให้โคนมถึงวัยเจริญพันธุ์เร็วขึ้น (Chanpongsang et al., 1995 ; Radcliff et al., 1997 ; Hoffman et al., 1996 ; Lammers et al., 1999b) เป็นผลให้สามารถผสมโคนมได้เร็วขึ้น ให้ผลผลิตนมเร็ว ช่วงระยะการผลิตนมและจำนวนลูกมากขึ้น ซึ่งสามารถลดต้นทุนการผลิตโคสาว ผลผลิตสะสมเฉลี่ยต่อตัวสูงกว่า ช่วงห่างระหว่างลูกแต่ละตัวจะสั้นลง (Mourrits et al., 2000) เมื่อคำนวณเฉลี่ยต่ออายุการใช้งานของโคนม ช่วยลดระยะเวลาในการประเมินผลฟาร์มพันธุ์

แต่อย่างไรก็ตาม การเร่งให้โคสาวมีอัตราการเจริญเติบโตที่เร็วกว่าปกติก็อาจเกิดผลเสียหลายประการได้ ดังนี้

1. โดยเฉพาะในช่วงท้องแรก เช่น อัตราการผสมติดอาจจะต่ำเพราะระบบสืบพันธุ์ยังไม่พัฒนาสมบูรณ์พอ มีโอกาสเกิดการคลอดยาก เนื่องจากกระดูกเชิงกรานยังไม่พัฒนาเต็มที่ยังไม่พร้อมที่จะรองรับกระบวนการเกิดของลูกโค หรือโคสาวถ้าอ้วนมากเกินไปจะทำให้อัตราการเป็นสัดลดลงอาจทำให้อายุการมีลูกตัวแรกช้าออกไปได้ (สหทัย ทรัพย์รอด และพัชรินทร์ สนธิไพโรจน์, 2543)

2. ผลผลิตน้ำนมจะต่ำในช่วงการให้นมครั้งแรก ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากโคสาวมีอัตราการเจริญเติบโตสูงทำให้มีไขมันเข้าไปแทรกอยู่มากในส่วนของเต้านม ทำให้การสร้างเนื้อเยื่อเต้านมไม่สามารถเจริญเติบโตได้เต็มที่ และการที่เต้านมมีเนื้อเยื่อที่เกี่ยวข้องกับการสร้างน้ำมน้อย จะทำให้เต้านมไม่สามารถผลิตนมได้มากเท่ากับปกติ โคสาวมีอัตราการเจริญเติบโตสูงจะทำให้เซลล์ Parenchyma DNA และ RNA ของต่อมน้ำนมลดลง และสะสมไขมันเพิ่มขึ้น (Capuco et al., 1995) แต่ Radcliff et al. (1997) พบว่าอัตราการเจริญเติบโตไม่มีผลต่อ Parenchyma DNA และ RNA ซึ่งการเจริญเติบโตของโคนมช่วงหย่านมถึงโคสาวที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการให้ผลผลิตนม คือ ระดับ 500-600 กรัมต่อวัน (สมชาย จันทรพ้องแสง, 2541)

3. อายุการใช้งานของโคนมจะสั้นลง เพราะอาจเกิดปัญหาดังกล่าวมาแล้ว และต้นทุนการผลิตอาจสูง เนื่องจากการเร่งให้โคทดแทนเจริญเติบโตเร็วจำเป็นต้องให้อาหารที่มีคุณภาพสูง ซึ่งราคาแพง เป็นต้น

2.9.1.2 ความต้องการอาหารของโคท้องและกำลังให้นม

หลังจากผสมติดแล้วปริมาณอาหารที่ให้อาจจำเป็นต้องเพิ่มมากขึ้น เพื่อให้มีพลังงานเพียงพอสำหรับโคนมที่จะนำไปปรับสภาพร่างกายให้พร้อมที่จะคลอดและสร้างนม และนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตของตัวลูก ซึ่งจะต้องเพียงพอโดยเฉพาะโคสาวที่ยังต้องมีการเจริญเติบโตอยู่ ไม่ควรจะมากหรือน้อยเกินไป ส่วนในโคให้นม ปริมาณผลผลิตน้ำนมจะเป็นตัวกำหนดความต้องการอาหารของโคนม การให้อาหารโปรตีนคุณภาพสูง หรือมีโปรตีนไหลผ่านสูง จะเป็นการเพิ่มปริมาณกลูโคส จะทำให้เพิ่มปริมาณน้ำนม (Schroeder and Gagliostro, 2000) แต่การให้อาหารที่มีโปรตีนไหลผ่าน 5.0 – 6.8 เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งในอาหารพบว่าไม่ทำให้เพิ่มผลผลิตน้ำนม (Wattiaux et al., 1994) นอกจากนี้อาหารโปรตีนไหลผ่าน 4 และ 6.2 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้งอาหารในโคก่อนคลอด ทำให้การกินได้ของโคลดลง และผลผลิตน้ำนมที่ 56 วัน จะลดลงในกลุ่มที่ให้โปรตีนไหลผ่านสูง (Hartwell et al., 2000) ทั้งนี้อาจจะขึ้นอยู่กับอาหารแหล่งพลังงานด้วย เพราะการให้อาหารโปรตีนไหลผ่านสูงและอาหารแหล่งพลังงานมีไม่จำกัดแล้วจะเป็นประโยชน์ต่อผลผลิตและระบบสืบพันธุ์ของโคให้นมสูง (Westwood et al., 2000) ในโคสาวการให้อาหารสูงให้โตวันละ 600, 800 และ 1000 กรัมต่อวัน ในช่วงที่เป็นโคสาวพบว่าจะทำให้ผลผลิตน้ำนมลดลงตามการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้น (Van Amburgh et al., 1998b ; Lammers et al., 1999b) แต่จากการศึกษาการให้อาหารสูงในโครุ่นให้มีอัตราการเจริญเติบโตวันละ 725 และ 950 กรัม ไม่ทำให้ผลผลิตน้ำนมลดลงในโคที่เจริญเติบโตสูง (Waldo et al., 1998)

2.9.1.3 ผลของการขาดอาหารพลังงาน ในช่วงก่อนและหลังคลอด

ซึ่งจะเกิดผลเสียหลายอย่างต่อวงจรการผลิต เช่น

1. ผลผลิตนมจะลดลง เพราะอาหารพลังงานเป็นแหล่งสร้างสารตั้งต้นที่สำคัญในการสร้างน้ำนม ทำให้โคไม่สามารถแสดงศักยภาพในการผลิตนมได้มากเท่าที่พันธุกรรมมีอยู่
2. อัตราการผสมติดจะลดต่ำลง เพราะเกิดความไม่สมดุลของฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับระบบสืบพันธุ์ เช่น เอสโตรเจน และ โปรเจสเตอโรน
3. สัตว์จะมีภูมิคุ้มกันต่ำลง อันเป็นผลมาจากร่างกายไม่มีพลังงานเพียงพอที่จะนำไปใช้ในกระบวนการสร้างภูมิคุ้มกันของร่างกาย ทำให้สัตว์มีโอกาสติดเชื้อได้ง่าย ส่วนการได้รับโปรตีนไม่เพียงพอจะทำให้ปริมาณความเข้มข้นของเม็ดเลือดแดงและเฮโมโกลบินลดลง
4. เป็นสาเหตุที่สำคัญของปัญหาหลายอย่าง เช่น คีโตซิส

2.9.2 ความสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนและพลังงานในอาหาร

การใช้ประโยชน์ของกรดอะมิโนที่ถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย จะขึ้นอยู่กับความสมดุลของกรดอะมิโนที่สัตว์ได้รับ และสัดส่วนอาหารโปรตีนต่อพลังงานที่ย่อยได้รวมไปถึงปริมาณของกลูโคสในกระแสเลือด ซึ่งในโคนมที่อยู่ในระยะนมแห้งการเพิ่มปริมาณพลังงานให้สัตว์จะเป็นการเพิ่มระดับความสมดุลของไนโตรเจน (Moorby et al., 2000) แต่ผลก็ยังน้อยกว่าการเพิ่มปริมาณไนโตรเจนที่ย่อยได้ในช่วงรีดนมของโคนมต่อผลผลิตน้ำนมต่อวัน และการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนที่ย่อยได้จะมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับปริมาณพลังงาน ถ้าสัตว์ได้รับพลังงานและโปรตีนในระดับต่ำจะทำให้ผลผลิตน้ำนมลดลง และถ้าให้โคได้รับอาหารที่มีพลังงานในระดับสูงแต่มีโปรตีนในระดับต่ำจะทำให้การย่อยได้ของไนโตรเจนลดลง แต่ถ้าโคได้รับพลังงานและโปรตีนในระดับต่ำจะมีผลต่อไนโตรเจนที่สะสมและไนโตรเจนในน้ำนมลดลง ซึ่งจากการเพิ่มระดับของโปรตีนในอาหารโคที่มีระดับพลังงานเท่ากัน จะทำให้ประสิทธิภาพการใช้อาหาร, การกินได้ และอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น (Lammers and Heineichs, 2000) และในสูตรอาหารที่มีระดับของโปรตีนต่ำจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการใช้ประโยชน์ของพลังงาน และโปรตีนจะลดลง ในขณะที่เดียวกันอาหารที่มีโปรตีนและพลังงานสูงจะทำให้การกินได้สูงขึ้น และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ของพลังงานและโปรตีน (Dewhurst et al., 2000)

ในสูตรอาหารที่มีระดับพลังงานคงที่และโปรตีนระดับต่างๆ ปริมาณไนโตรเจนที่กินได้จะมีผลกระทบต่อการเมตาบอลิซึมของพลังงาน กล่าวคือ เมื่อปริมาณไนโตรเจนในอาหารต่ำ ปริมาณอาหารที่กินได้จะถูกจำกัด เพราะกิจกรรมของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักจะลดลง มีผลทำให้อัตราความเร็วในการย่อยสลายของอาหารในกระเพาะหมักลดลง และถ้าสัตว์ได้รับปริมาณโปรตีนเกินกว่าระดับที่เหมาะสมแล้วจะมีผลทำให้ความสมดุลของพลังงานลดลง ซึ่งหมายถึงประสิทธิภาพการ

ใช้ประโยชน์สุทธิของพลังงานจะลดลง การลดลงของโปรตีนที่ย่อยสลายได้ง่ายในอาหารจะมีผลทำให้การย่อยสลายของ วัตถุแห้ง เฮโมเซลลูโลส และแป้งในกระเพาะหมักลดลง (Amos, 1986) แต่จากการให้อาหารที่มีโปรตีน 14 –17 เปอร์เซ็นต์ และ โปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก 42 และ 58 เปอร์เซ็นต์ พบว่าไม่มีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตต่างกัน (Devant et al., 2000) แต่ในโคเล็กที่เกิดความเครียดจากความร้อน พบว่าการให้อาหารโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมักสูงขึ้นจะเพิ่มอัตราการเจริญเติบโต ในขณะที่เดียวกันการเสริมไขมันในอาหารไม่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต (Bunting et al., 1996)

2.9.3 อัตราการเจริญเติบโตต่อการสะสมของพลังงานและโปรตีนในร่างกาย

น้ำหนักตัวและอัตราการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้นจะทำให้พลังงานในเนื้อเยื่อเพิ่มขึ้นด้วย (Fox et al., 1999) นั่นคือมีการสะสมไขมันเพิ่มขึ้น ซึ่งไขมันในร่างกายจะขึ้นอยู่กับอัตราการเจริญเติบโต โดยเฉพาะช่วงจากโคเล็กไปเป็นโครุ่น โดยที่การสังเคราะห์ไขมันจะต้องการ Phospholipid เพื่อการสร้างผนังเซลล์ของเนื้อเยื่อเซลล์ ซึ่งในลูกโคที่โตวันละ 230 – 530 กรัม จะมีไขมันสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อประมาณ 14.2 – 16.5 เปอร์เซ็นต์ การที่โคได้รับพลังงานสูงกว่าใช้เพื่อการดำรงชีพก็จะมีการสะสมเป็นไขมันเกิดขึ้น (Van Amburgh et al., 1998a) และถ้าโคได้รับพลังงานสูงกว่าการใช้เพื่อการดำรงชีพมาก ๆ ก็จะทำให้องค์ประกอบอื่นๆ ในเนื้อเยื่อ (Fat – free matter, FFM) มีสัดส่วนลดลงเมื่อเทียบกับไขมัน (Fox et al., 1999) เพราะส่วนที่ไม่ใช่ไขมัน เช่น โปรตีน น้ำ และเกลือ ที่เป็นองค์ประกอบในร่างกายสารพวกนี้จะมีการสะสมที่ค่อนข้างจะคงที่ตามสัดส่วนของอายุของสัตว์ ซึ่งจะได้ไม่ได้เพิ่มขึ้นตามอาหารที่ให้หรือ อัตราการเจริญเติบโต ในขณะที่การสะสมไขมันจะเปลี่ยนแปลงตามอัตราการเจริญเติบโตและอาหารที่ให้ จากการศึกษาในโคสาวที่โตวันละ 725 และ 950 กรัม พบว่าส่วนประกอบของเนื้อเยื่อที่ไม่ใช่ไขมันไม่แตกต่างกัน ขณะที่ส่วนที่เป็นไขมันในเนื้อเยื่อมีความแตกต่างกันมีค่าเท่ากับ 21.2 และ 25.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Waldo et al., 1997)

2.9.4 ความสำคัญของพลังงานและโปรตีนต่อระบบสืบพันธุ์

ความสมดุลของสารอาหารมีผลต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของร่างกาย โดยเฉพาะพลังงานและโปรตีน ถ้าขาดหรือเกิน ก็จะส่งผลกระทบต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการเมตาบอลิซึมของร่างกายส่งผลให้การผลิตลดต่ำลง ซึ่งเป็นผลโดยตรงกับระบบสืบพันธุ์ ซึ่งความสัมพันธ์ของโภชนาการกับความสมบูรณ์พันธุ์ แยกเป็นข้อๆ ได้ดังนี้ (Studer, 1998)

- โคให้นมสูงจะพอมและ Body condition scoring (BCS) ตกลง 0.75 – 1.0 มีผลต่อ anestrus
- การสะสมไขมันในตับของโคช่วงไม่ให้นม จะส่งผลให้เป็นโรคในโคหลังคลอด
- โคสาวจะมีผลผลิตนมดีแต่จะส่งผล มีระยะ Anestrus นานออกไป
- โคนมแห้งที่ได้รับอาหารไม่สมดุลระหว่างระยะเปลี่ยนสถานะภาพ จะนำไปสู่การเป็นโรค Milkfever Abomasum บิดตัว รกค้าง เต้านมอักเสบ หรือเนื้อเยื่อเต้านมอักเสบ
- ในโคกำลังให้นมจะเป็นโรคช่วงกลางระยะให้นม โดยเฉพาะปัญหาเกี่ยวกับ ขาและเท้า เป็นเหตุให้ลดความสมบูรณ์พันธุ์ลง

2.9.4.1 พลังงาน

โครุ่น-สาวถ้าได้รับอาหารพลังงานสูงจะทำให้มีการเจริญเติบโตสูง มีผลต่อน้ำหนักตัว และความเป็นหนุ่มเป็นสาว (Sejrsen and Purup, 1997) ทำให้สามารถผสมพันธุ์ได้เร็วขึ้น ให้ลูกได้เร็วขึ้น (Van Amburgh et al., 1998b) และ ในโคสาวน้ำหนักตัวเป็นปัจจัยหนึ่งที่บ่งบอกความสมบูรณ์พันธุ์ การให้อาหารพลังงานสูงขึ้น กับโคหลังคลอดจะทำให้ให้น้ำหนักไม่ลดมากนัก และเป็นสัตว์เร็วขึ้น (Lalman et al., 2000) การเพิ่มไขมัน 3 เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งอาหาร เป็นผลดีต่อระบบสืบพันธุ์ของโค โดยเพิ่มขนาดของรังไข่ , follicle, เพิ่มจำนวนการตกไข่, เพิ่มความเข้มข้นของ Progesterone, ลดการหลั่ง Prostaglandin, ทำให้ Corpus luteum คงอยู่นานขึ้น และทำให้ระบบสืบพันธุ์สมบูรณ์ (Staples et al., 1998) การขาดอาหารพลังงานจะทำให้กระบวนการต่างๆ ทางระบบสืบพันธุ์ผิดปกติ เพราะการสร้างฮอร์โมน Follicular stimulating hormone (FSH) จากต่อมใต้สมองจะลดลง ซึ่งส่งผลให้การเจริญเติบโตของรังไข่ไม่เป็นปกติ และ การสร้าง Luteinizing hormone (LH) จากต่อมใต้สมองจะลดลงส่งผลให้ไม่เกิดการกระตุ้นการตกไข่ นอกจากนี้ถ้าโคอยู่ในสภาพขาดอาหารพลังงานมากขึ้น จะทำให้สูญเสียน้ำหนักตัวไปเรื่อยๆ จนกระทั่งถ้าเสียน้ำหนักตัวไปมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ อัตราการผสมติดจะลดลง และอาจจะเกิดภาวะโรคคีโตซิสด้วย การได้รับอาหารพลังงานมากเกินไปจนทำให้โคมีสภาพอ้วนและอยู่ในสภาพที่เรียกว่า Fat cow syndrome ก็เป็นสาเหตุของการผสมไม่ติด ในโคสาวอายุ 6 – 8 เดือน ถ้าให้อาหารให้มีอัตราการเจริญเติบโตตั้งแต่ 611 – 903 กรัมต่อวัน ทำให้มีไขมันแทรกในต่อมน้ำนมสูงและทำให้ DNA ในต่อมน้ำนมลดลงตามอัตราการเจริญเติบโตที่สูงขึ้น (Stelwagen and Grieve, 1990) โคนมที่อยู่ในสภาพอ้วนโดยเฉพาะช่วงก่อนคลอด จะลดปริมาณการกินลงอย่างมากในช่วงหลังคลอด ทำให้เกิดดึงเอาไขมันออกมาใช้ พร้อมกับการสูญเสียน้ำหนักตัวไปมากเมื่อเทียบกับโคที่มีสภาพปกติ เป็นสาเหตุการผสมติดยาก และโคจะอยู่ในสภาพที่อ่อนแอ และเป็นโรคได้ง่าย แต่หากว่าเพิ่มความหนาแน่นของพลังงานและโปรตีนในอาหารให้โคที่ก่อนคลอดประมาณ 1 เดือน จะทำให้เป็นการเพิ่มความสมดุลของ

โภชนะและทำให้มีไขมันในกระแสเลือดและการสะสมไขมันในระดับลดลงด้วย (Vandehaar et al., 1999) ทำให้ลดปัญหาในโคหลังคลอดได้ และการเพิ่มไขมันในอาหารโคหลังคลอดเป็นการเพิ่มความสมดุลของพลังงานให้กับโคหลังคลอดใหม่ๆ ซึ่งมีผลโดยตรงต่อระบบสืบพันธุ์และความสมบูรณ์พันธุ์ (Staples et al., 1998)

2.9.4.2 โปรตีน

โปรตีนมีความสำคัญพอๆ กับพลังงาน เพราะถ้าขาดโปรตีนจะทำให้อัตราการเจริญเติบโตช้า ผลผลิตน้ำนมน้อย ระบบภูมิคุ้มกันเสีย อ่อนแอ และป่วยง่าย อัตราการผสมติดลดลง ถ้าอาหารโปรตีนสูงไป จะมีปัญหาการผสมไม่ติด ซึ่งเกี่ยวข้องกับโปรตีนที่ย่อยสลายและไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก พบว่าโปรตีนที่ย่อยสลายในกระเพาะหมักสูงจะมีส่วนทำให้ระดับของฮอร์โมนโปรเจสเตอโรนในเลือดลดลง (Moorby et al., 2000) จะมีผลต่อการเจริญเติบโตของตัวอ่อน นอกจากนี้ยังทำให้มีการพัฒนาของ Follicle ต่ำลง ทำให้หน่วงเหนี่ยวการทำงานของ Luteal ให้ช้าลง และมีผลต่อการสะสมของเนื้อเยื่อ Luteal น้อยลง (Garcia-Bojalil et al., 1998) การให้โปรตีนในอาหารระดับสูงทั้ง RDP และ RUP สูงเกินความต้องการจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของยูเรียในน้ำเลือด (Plasma urea nitrogen, PUN) สูงขึ้น ถ้าความเข้มข้นของยูเรียทั้งในน้ำเลือดและในน้ำนมสูงเกิน 19 mg/dL จะทำให้ความสมบูรณ์พันธุ์ลดลง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะมีผลทำให้ค่า pH ในมดลูกต่ำลง ความเป็นกรดที่มากขึ้นในมดลูกจะทำให้สภาวะแวดล้อมไม่เหมาะสมต่อการฝังตัวของตัวอ่อน ค่า PUN ที่เพิ่มขึ้นอาจจะมีผลที่เป็นพิษต่อตัวอ่อนทำให้ตัวอ่อนตาย (Early embryonic death) นอกจากนี้ยังมีผลต่อระดับฮอร์โมน โดยเพิ่มการผลิต Prostaglandin $F_{2\alpha}$ และลดการผลิต Progesterone (Butler et al., 1998) การให้อาหารโปรตีนไหลผ่านสูงจะทำให้มีการสลายไขมันร่างกาย (Mobilization) สูงขึ้นในโคให้นมช่วงต้นของระยะการให้นม (Schroeder and Gagliostro, 2000) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเกิดความไม่สมดุลของพลังงานในร่างกายที่จะนำมาสร้างน้ำนม แต่จากการศึกษาของ (Westwood et al., 2000) พบว่าการให้อาหารโปรตีนไหลผ่านสูงทำให้เพิ่มน้ำนมและลดการสลายไขมันร่างกายลง อาจเนื่องมาจากมีแหล่งพลังงานเพียงพอ การได้รับโปรตีนที่ย่อยสลายในกระเพาะหมักสูงจะทำให้เกิดก๊าซแอมโมเนียมากเกินไปจนทำให้จุลินทรีย์นำไปใช้ไม่หมดส่วนหนึ่งจะถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดทำให้มียูเรียในกระแสเลือด (Blood urea nitrogen, BUN) สูงขึ้น (Westwood et al., 2000) ร่างกายจะต้องสูญเสียพลังงานส่วนหนึ่งในการขับไนโตรเจนออกมาในรูปของยูเรียในปัสสาวะ ในทุกๆ 1 กรัมของไนโตรเจนที่ถูกขับออกมาทางปัสสาวะจะต้องสูญเสียพลังงาน 5.45 กิโลแคลอรี (สมชาย จันทรพงศ์แสง, 2541) การสูญเสียพลังงานไปนี้ จะทำให้เกิดผลกระทบต่อการทำหน้าที่ของจุลินทรีย์ที่จะไม่ได้พลังงานเพียงพอต่อการจับก๊าซแอมโมเนียมาใช้ ซึ่งจะส่งผลเหมือนกับร่างกายขาดอาหาร แต่การลดระดับของโปรตีนมีผลกระทบต่อการอัตราการ

เจริญเติบโตน้อยกว่าการลดระดับของพลังงานในอาหารของโคสาวลูกผสม Holstein Friesian (Promma et al., 1993)

2.9.5 โรคและกลุ่มอาการที่เกิดจากการขาดความสมดุลของอาหาร

คีโตซิส (Ketosis)

เป็นความผิดปกติในร่างกายที่เกิดจากการที่ร่างกายสร้างสารคีโตน ซึ่งเป็นพิษที่เกิดจากกระบวนการเผาผลาญอาหารพลังงานในร่างกายที่ผิดปกติ เมื่อร่างกายขาดกลูโคส (ในเลือดต่ำ) จะมีสัญญาณเตือนให้ร่างกายดึงไขมันที่สะสมอยู่ในเนื้อเยื่อของร่างกายออกมาใช้ ในกระบวนการย่อยไขมันให้กลายเป็นกลูโคสจะได้สารที่เป็นตัวตั้งต้นในการสร้างสารคีโตน ดังนั้นถ้าร่างกายสัตว์ขาดสมดุลพลังงานนานติดต่อกันและกระบวนการดึงไขมันมาสร้างเป็นแหล่งพลังงานแทนดำเนินไปเรื่อยๆ สารคีโตนก็จะเพิ่มมากขึ้น และไหลเวียนอยู่ในกระแสเลือดทำให้ร่างกายขาดสมดุลกรด ด่าง ทำให้สัตว์ป่วยได้ ในบางกรณีการให้อาหารโปรตีนในระดับสูง โดยเฉพาะโปรตีนที่ย่อยสลายได้ง่ายในกระเพาะหมักก็เป็นสาเหตุโน้มนำให้เกิดโรคนี้อีกได้ เนื่องจากร่างกายต้องสูญเสียพลังงานส่วนหนึ่งในการขับไนโตรเจนออกจากร่างกาย ทำให้ร่างกายอยู่ในสภาพเหมือนขาดพลังงานได้

โคอ้วน (Fat cows syndrome)

เกิดจากการที่โคได้รับอาหารมากเกินไป โดยเฉพาะอาหารที่มีพลังงานสูงและย่อยง่าย โคจะอ้วนและมีการสะสมของไขมันตามเนื้อเยื่อต่างๆ ผลเสียโคที่อ้วนมากหลังคลอดจะลดการกินอาหารลงเนื่องจากความเครียด ทำให้ร่างกายอยู่ในสภาพที่ขาดพลังงาน ทำให้มีการดึงเอาไขมันที่สะสมไว้ออกมาใช้อย่างรวดเร็ว ในกระบวนการดึงไขมันออกมาใช้ทำให้มีการสะสมไขมันที่ระดับถูกทำลาย ซึ่งจะทำให้โคป่วย และไม่สามารถกินอาหารได้ จนอาจเกิดโรคคีโตซิสตามมา นอกจากนี้ยังมีโรคอื่นๆ ตามมาเช่น การบิดตัวของกระเพาะแท้ โรคไขมันม มักจะพบร่วมกันเสมอ รกค้างเป็นผลมาจากการเจริญเติบโตของลูกมีมากกว่าการเจริญเติบโตของรก ทำให้ลูกตัวใหญ่เกิดการคลอดยาก และยังทำให้เกิดอาการก๊ออักเสบนั่นด้วย

การบิดตัวของกระเพาะแท้ (Abomasal displacement)

ช่วงที่พบบ่อยคือหลังคลอดใหม่ สาเหตุโน้มนำที่ทำให้เกิดคือการให้อาหารชั้นในระดับสูง ปริมาณของอาหารชั้นในระดับสูงจะทำให้เกิดการสร้างกรดโพรพิโอนิกในปริมาณมาก กรดนี้จะไปหยุดยั้งการบีบตัวและเคลื่อนไหวของกระเพาะแท้ ทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการรวมตัวของไปคาร์บอนเนตกับกรดเกลือรวมทั้งก๊าซมีเทนและแอมโมเนียที่สะสมอยู่ใน

กระเพาะไม่สามารถขับออกจากกระเพาะได้ ทำให้กระเพาะ फैขยายตัว ก๊าซที่สะสมอยู่จะมีการเคลื่อนที่ตลอดเวลาพร้อมกับดึงกระเพาะ फैขึ้นเกิดการบิดตัว

สภาวะร่างกายเป็นกรด (Acidosis)

เกิดจากการให้อาหารขึ้นที่มีการย่อยได้สูง จุลินทรีย์ที่สามารถใช้สารอาหารที่มีการย่อยได้สูงจะเพิ่มจำนวนมากขึ้นพร้อมกับการสร้างกรดโพรพิโอนิกที่มีสภาพความเป็นกรดสูงกว่า กรดอะซิติก เมื่อมีการให้อาหารขึ้นมากขึ้น ระดับ pH ในกระเพาะหมักจะค่อย ๆ ลดลง และเมื่อลดลงต่ำกว่า 5.5 สัตว์จะอยู่ในสภาพที่ร่างกายเริ่มเป็นกรด ในขณะเดียวกันเชื้อแบคทีเรียในกลุ่มสเตรปโตคอคคัสและแลคโตบาซิลลัสจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นมาพร้อมกับการสร้างกรดแลคติก ซึ่งมีความเป็นกรดมากกว่า กรดโพรพิโอนิก ทำให้สัตว์มีสภาพร่างกายเป็นกรดรุนแรง

ก๊ิบอักเสบ (Laminitis)

เกิดจากการที่กระเพาะหมักมีสภาพเป็นกรดเนื่องจากกินอาหารที่มีพลังงานที่น้อยได้ง่าย จุลินทรีย์โดยเฉพาะแบคทีเรียจะตายไปพร้อมกับการปล่อยพิษ (Endotoxins) ออกมาไปกระตุ้นให้ร่างกายสร้างสารแพ้ (Histamine) ไปสะสมตามบริเวณต่างๆ โดยเฉพาะที่ก๊ิบ ก๊ิบจึงเกิดอาการอักเสบขึ้นได้ง่าย

บทที่ 3

การดำเนินการและวิธีการวิจัย

3.1. การศึกษาความต้องการพลังงานและโปรตีนของโคนมสาวลูกผสม

3.1.1 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาความต้องการพลังงานและโปรตีนของโคนมสาวลูกผสมโดยใช้
อาหารทดลอง 4 สูตรที่มีระดับพลังงานและโปรตีนต่างๆ กัน

3.1.2 อุปกรณ์และวิธีการ

3.1.2.1 แผนการทดลอง ทำการทดลองโดยวางแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียล
กลุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Factorial arrangement in randomized complete block, RCB) มีการศึกษา 2
ปัจจัยๆ ละ 2 ระดับ ดังนี้ ปัจจัยที่ 1 คือ ระดับของความต้องการพลังงานโภชนะย่อยได้ทั้งหมด
(Total digestible nutrient, TDN) มี 2 ระดับ คือ 1.0 และ 1.2 เท่าของ NRC (1988) ปัจจัยที่ 2 คือ
ระดับของความต้องการโปรตีนหยาบ (Crude protein, CP) มี 2 ระดับ คือ 1.0 และ 1.2 เท่าของ NRC
(1988) จัดสิ่งทดลอง (Treatment) อยู่ในรูปของ Factorial combination ของปัจจัยต่างๆ
เป็น $2 \times 2 = 4$ Treatment ได้ดังนี้

Treatment ที่ 1 คือ พลังงาน 1.0 โปรตีน 1.0

Treatment ที่ 2 คือ พลังงาน 1.0 โปรตีน 1.2

Treatment ที่ 3 คือ พลังงาน 1.2 โปรตีน 1.0

Treatment ที่ 4 คือ พลังงาน 1.2 โปรตีน 1.2

3.1.2.2 การเตรียมสิ่งทดลอง

การทดลองนี้ใช้หญ้าแห้งอุบลพาสพาลัม (*Paspalum atratum* cv. Ubon) ตัดที่อายุ
ประมาณ 40-45 วัน เป็นอาหารหยาบ ใช้ข้าวโพดเป็นวัตถุดิบในการปรับระดับของพลังงาน และ
กากถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบในการปรับระดับของโปรตีน ทั้งนี้คำนวณสูตรอาหาร (สิ่งทดลอง) โดย
ใช้โปรแกรม X -ration (สมคิด พรหมมา และคณะ, 2533) ตามน้ำหนักสัตว์ทดลอง (Empty body
weight) โดยคำนวณอาหารของโคให้ได้รับอาหารที่กำหนดให้มีอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน
(Empty body weight gain) 600 กรัม เหมือนกันทุกๆ ตัว และให้โคได้รับวิตามินและแร่ธาตุตามคำ
แนะนำของ NRC (1988) โดยชั่งอาหารซึ่งประกอบไปด้วยหญ้าแห้งอุบลพาสพาลัม ข้าวโพดบด

และกากถั่วเหลืองทุกวัน วันละ 2 ครั้ง ตามความต้องการของโคที่คำนวณได้ จากโปรแกรมคำนวณสูตรอาหาร และให้อาหารวันละ 2 ครั้งในปริมาณครึ่งละเท่าๆ กันคือ เช้าเวลา 9.00 น. และบ่ายเวลา 14.30 น. มีน้ำสะอาดให้กินตลอดเวลา สุ่มวัตถุดิบอาหารมาวิเคราะห์หาวัตถุแห้ง พลังงานโภชนะย่อยได้ทั้งหมดและโปรตีนหยาบเพื่อใช้ในการคำนวณสูตรอาหารตามสิ่งทดลอง

3.1.2.3 สัตว์ทดลอง

ทำการทดลอง 2 ครั้ง (Period) ครั้งละ 3 Block โดยแต่ละครั้งใช้โคจำนวน 12 ตัว และใช้เวลาในการทำการทดลองเก็บข้อมูล 45 วัน เว้นระยะห่างกัน 2 สัปดาห์ โดยใช้สัตว์ทดลองกลุ่มเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากสัตว์ทดลองมีจำนวนจำกัด โคที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นโคนมรุ่นสาวลูกผสมขาว-ดำ (Crossbred Holstein heifers) มีระดับเลือดผสมของ Holstein Friesian ประมาณ 85 ± 7 เปอร์เซนต์ มีอายุเฉลี่ยประมาณ 12 ± 5 เดือน และมีน้ำหนักตัวโดยเฉลี่ยประมาณ 236 ± 64 กิโลกรัม จากทั้ง 2 ครั้งของการทดลองเป็นจำนวน 24 ตัว ดังแสดงในตารางที่ 3.1 จัดกลุ่ม (Block) ตามน้ำหนักโคแบ่งได้เป็น 6 กลุ่ม (Block) ๆ ละ 4 ตัว และให้มีน้ำหนักแต่ละตัวในกลุ่มใกล้เคียงกันมากที่สุด (ตารางที่ 3.2) ในการทดลองแต่ละครั้งทำการสุ่มจับสลากทริทเมนต์ให้สัตว์ทดลองแต่ละตัวในกลุ่มทั้ง 3 กลุ่ม ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 น้ำหนักสัตว์ทดลอง อายุ เมื่อเริ่มทดลอง และเปอร์เซนต์เลือด (% Holstein Friesian blood) จากการทดลองทั้ง 2 ครั้ง จำนวน 24 ตัว เมื่อ E คือ พลังงานโภชนะย่อยได้ทั้งหมด และ P คือ โปรตีนหยาบ

พลังงาน (เท่าของ NRC, 1988)(E)	E 1.0		E 1.2	
โปรตีน (เท่าของ NRC, 1988) (P)	P 1.0	P 1.2	P 1.0	P 1.2
-----Means $\pm$ SD-----				
Live weight (kg)	256 $\pm$ 57	248 $\pm$ 60	252 $\pm$ 82	249 $\pm$ 76
Empty body weight (kg)	238 $\pm$ 61	232 $\pm$ 59	239 $\pm$ 79	235 $\pm$ 73
% Holstein Friesian Blood	88.5 $\pm$ 6	86.5 $\pm$ 9	82.3 $\pm$ 7	82.3 $\pm$ 7
อายุ (เดือน)	12 $\pm$ 5	12 $\pm$ 6	12 $\pm$ 6	12 $\pm$ 6

3.1.2.4 การชั่งน้ำหนักสัตว์ทดลอง

ชั่งน้ำหนักอดอาหาร (Empty body weight) โดยวิธีอดอาหาร 16 ชั่วโมง และน้ำหนักไม่อดอาหาร (Live weight) ก่อนและหลังเสร็จการทดลอง โดยชั่งน้ำหนักสัตว์ทดลองเวลา 16.00 น. จากนั้นงดน้ำ และอาหารตลอดคืน และชั่งน้ำหนักในเวลา 8.00 น. ชั่งน้ำหนักไม่อดอาหาร

สัตว์ทดลองทุกสัปดาห์ และน้ำหนักอาหารสัตว์ทดลองทุก 3 สัปดาห์ เพื่อใช้ในการคำนวณสูตรอาหารและปรับอาหารตามน้ำหนักสัตว์ที่เปลี่ยนแปลงขณะทดลอง และเพื่อคำนวณหาน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปและอัตราการเจริญเติบโตต่อวันในระหว่างการทดลอง

ตารางที่ 3.2 การจัดกลุ่ม (Block) สัตว์ทดลองตามน้ำหนักสัตว์ทดลอง (Empty body weight) และการสุ่มทรีทเมนต์ให้สัตว์ทดลองของการทดลองทั้ง 2 ครั้ง

Block	Treatment				means
	1	2	3	4	
การทดลองครั้งที่ 1					
1	258	297	316	285	289 ± 21
2	209	185	182	188	191± 11
3	175	157	157	169	165± 8
Means	214 ± 42	213 ± 74	218 ± 86	214 ± 62	215 ± 58
การทดลองครั้งที่ 2					
4	351	302	354	355	341± 22
5	225	239	229	230	231± 5
6	211	211	193	180	199± 13
Means	262 ± 77	251 ± 47	259± 85	255 ± 90	257 ± 65
Total Means	239 ± 79	235 ± 72	232 ± 59	238 ± 61	236 ± 64

3.1.2.5 การเก็บข้อมูล

บันทึกการกินได้และสุ่มเก็บตัวอย่างอาหารเหลือไปหาวัตถุแห้งทุกวัน เพื่อหาการกินได้ของวัตถุแห้งต่อวัน สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารที่ให้และที่เหลือกิน 3 วันติดต่อกัน ทุกๆ 2 สัปดาห์ เพื่อวิเคราะห์คุณภาพ เพื่อหาการกินได้ของโภชนะของสัตว์ทดลอง ตัวอย่างอาหารที่ให้และที่เหลือกินนำไปวิเคราะห์โดยวิธีประมาณ (Proximate analysis) (AOAC, 1990) กล่าวคือ ทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้คือ วัตถุแห้ง (Dry matter, DM), เถ้า (Ash), โปรตีนหยาบ (Crude protein, CP), ไขมันหยาบ (Crude fat) โดยเครื่องวิเคราะห์โปรตีน FP 528 และเครื่องวิเคราะห์ไขมัน TFE 2000 นอกจากนี้วิเคราะห์ส่วนประกอบของเยื่อใยโดยวิธีใช้สารฟอก (Detergent analysis) (Van Soest et al., 1991) ได้แก่ เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง (Neutral detergent fibre, NDF) เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกรด (Acid detergent fibre, ADF) โดยเครื่องชุดวิเคราะห์

เยื่อใย นอกจากนี้ วิเคราะห์หาลิกนิน โดยวิธี Acid detergent lignin (ADL), ไนโตรเจนที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกรด (Acid detergent insoluble nitrogen, ADIN) ไนโตรเจนที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง (Neutral detergent insoluble nitrogen, NDIN) เพื่อหาค่าเยื่อใยที่ปราศจากไนโตรเจน (NDF_N)

3.2. การศึกษาการย่อยสลายโดยวิธีใช้ฝูงในล่อน

3.2.1 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการย่อยสลายในกระเพาะหมักของวัตถุดิบอาหารสัตว์ 3 ชนิด ได้แก่ หญ้าแห้ง อุบลพาสพาลัม ข้าวโพดบด และกากถั่วเหลือง

3.2.2 อุปกรณ์และวิธีการ

3.2.2.1. การเก็บตัวอย่างวัตถุดิบอาหารสัตว์

หญ้าแห้งอุบลพาสพาลัม การทำหญ้าแห้งอุบลพาสพาลัม โดยตัดหญ้าอายุประมาณ 45 วัน ทิ้งผึ่งแดดไว้ในแปลงนาน 3-5 วัน จนแห้งและให้มีความชื้นเหลืออยู่ไม่เกินกว่า 12-15 เปอร์เซ็นต์ แล้วเก็บอัดมัดเป็นฟ่อน น้ำหนักฟ่อนละประมาณ 15 กิโลกรัม เก็บในโรงเก็บหญ้าแห้งคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จากนั้นสุมเก็บตัวอย่างหญ้าแห้งจากหลายๆ ฟ่อน มาสับด้วยเครื่องสับหญ้า เป็นชิ้นขนาด 5-10 เซนติเมตร นำมาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง เพื่อหาวัตถุแห้ง หลังจากนั้นนำตัวอย่างมาบดด้วยเครื่องบดผ่านตะแกรงขนาด 1.0 มิลลิเมตร ให้ได้ตัวอย่างมากเพียงพอสำหรับเก็บไว้วิเคราะห์ Proximate analysis และอื่นๆ ต่อไป

ข้าวโพดบด เป็นข้าวโพดที่บดและบรรจุใส่กระสอบมาแล้วจากร้านขายวัตถุดิบอาหารสัตว์ สุ่มเก็บตัวอย่างจากกระสอบข้าวโพดบดหลายๆ กระสอบมาผสมให้เข้ากันดีแล้วสุ่มเก็บตัวอย่างอีกครั้งหนึ่ง นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง เพื่อหาวัตถุแห้ง จากนั้นนำตัวอย่างไปบดด้วยเครื่องบดผ่านตะแกรงขนาด 1.0 มิลลิเมตร ให้ได้ตัวอย่างมากเพียงพอสำหรับเก็บไว้วิเคราะห์ Proximate analysis และอื่นๆ ต่อไป

กากถั่วเหลือง สุ่มเก็บตัวอย่างจากหลายกระสอบ นำมาผสมให้เข้ากันดี และสุ่มเก็บตัวอย่างอีกครั้งหนึ่ง นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง เพื่อหาวัตถุแห้ง จากนั้นนำตัวอย่างดังกล่าวไปบดด้วยเครื่องบดผ่านตะแกรงขนาด 1.0 มิลลิเมตร ให้ได้ตัวอย่างมากเพียงพอสำหรับเก็บไว้วิเคราะห์ Proximate analysis และอื่นๆ ต่อไป

3.2.2.2 สัตว์ทดลอง

โดยใช้โคนมเพศผู้ตอนลูกผสมพันธุ์โฮลสไตส์ ฟรีเซียน (Crossbred Holstein Friesian steer) เลือดประมาณ 87 เปอร์เซ็นต์ เจาะกระเพาะจำนวน 3 ตัว มีอายุเฉลี่ยประมาณ

27 ± 2.5 เดือน มีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 425 ± 60 กิโลกรัม เลี้ยงแบบปล่อยในคอก มีน้ำสะอาดให้กินตลอดเวลา และให้อาหารชั้นที่มีระดับโปรตีน 17 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 2 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน ให้อาหารแห้งเป็นอาหารหยาบ อย่างเพียงพอ

3.2.2.3 ถูงในลอนที่ใช้มีขนาด 7 X 14 เซนติเมตร มีรูปทรงขนาดประมาณ 40 ไมครอน (μm) จำนวน 117 ถูง นำถูงในลอนไปล้างทำความสะอาด และอบที่อุณหภูมิ 60 ° ซ. เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และชั่งบันทึกน้ำหนักถูง และเขียนหมายเลขถูงให้เรียบร้อย

3.2.2.4 ชั่งตัวอย่างหญ้าแห้งอุบลพาสพาลัมประมาณ 3 กรัม ตัวอย่างข้าวโพดและกากถั่วเหลืองประมาณ 5 กรัม ใส่ในถูงในลอนมัดปากถูงให้แน่น ตัวอย่างละ 36 ถูง รวมเป็นจำนวน 108 ถูง และชั่งตัวอย่างอาหารอีก ตัวอย่างละ 3 กรัม ใส่ในถูงในลอนเพื่อหาการละลายได้ ที่เวลา 0 ชั่วโมง (Washing loss) โดยการแช่ในน้ำอุ่นอุณหภูมิ 39 ° ซ. เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนนำมาล้างพร้อมถูงอื่นๆ จะทำการทดลอง 6 ครั้ง ในโคเจาะกระเพาะ 3 ตัว โดยให้ถูงที่ใส่ในกระเพาะแต่ละตัวแต่ละช่วงเวลาเป็น 1 ชั่วโมง ดังนั้นใช้ตัวอย่างละ 2 กรัม ในโคเจาะกระเพาะแต่ละตัวแต่ละเวลา

3.2.2.5 นำถูงในลอนที่ใส่ตัวอย่างหญ้าแห้งอุบลพาสพาลัม ข้าวโพดและกากถั่วเหลือง อย่างละ 2 ถูง ใส่ในถูงตาข่ายเขียวขนาด 15 X 20 เซนติเมตร ใช้เชือกฟางผูกติดกับปลาย (ข้อแรก) ของโซ่ซึ่งยาวประมาณ 50 เซนติเมตร แล้วนำไปใส่ในกระเพาะหมักของโคเจาะกระเพาะให้ลึกที่สุด ซึ่งที่โซ่ข้อสุดท้ายมีเชือกฟางผูกอีกทีหนึ่งทำให้โซ่สามารถหย่อนลงลึกได้ และระยะเวลาต่อมาก็นำมาผูกที่โซ่ข้อต่อขึ้นมาเรื่อยๆ จนหมด โดยให้แต่ละถูงมีระยะเวลาแช่อยู่ในกระเพาะหมักต่างกัน คือ 4, 8, 12, 24, 48 และ 72 ชั่วโมง ทำเหมือนกันทั้ง 3 ตัว

3.2.2.6 เมื่อแช่ถูงในกระเพาะหมักครบตามเวลาที่กำหนดแล้ว นำถูงตัวอย่างทั้งหมดออกจากกระเพาะหมักพร้อมกัน นำมาล้างในน้ำอาเสชอาหารที่ติดมาจากกระเพาะหมักออกให้หมด และลวกด้วยน้ำอุ่น เพื่อหยุดการทำงานของจุลินทรีย์ที่ติดมากับอาหาร และล้างต่อโดยปล่อยให้น้ำไหลผ่านตลอดเวลา นานจนน้ำล้างใสและถูงสะอาด นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 ° ซ. เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และชั่งบันทึกน้ำหนักหลังอบ นำไปคำนวณหาการย่อยสลายของวัตถุแห้ง ดังนี้

$$\% \text{ DM Loss} = [(\text{นน.ตัวอย่างแห้งก่อนอบ} - \text{นน.ตัวอย่างหลังอบ}) / \text{นน.ตัวอย่างแห้งก่อนอบ}] \times 100$$

นำตัวอย่างที่เหลือในถุงไปวิเคราะห์หาโปรตีนโดยเครื่องวิเคราะห์โปรตีนเพื่อ
คำนวณหาการย่อยสลายของโปรตีนที่เวลาต่างๆ ที่แช่ในกระเพาะหมัก ดังนี้

$$\% \text{ CP Loss} = [(\text{นน.โปรตีนตัวอย่างแห้งก่อนอบ} - \text{นน.โปรตีนตัวอย่างหลังอบ}) / \text{นน.โปรตีนตัว} \\ \text{อย่างแห้งก่อนอบ}] \times 100$$

นำสัดส่วนที่สูญหายไปในแต่ละเวลาต่างๆ กันมาคำนวณหาอัตราการย่อยสลาย
ของตัวอย่างอาหารโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป NEWAY EXCEL (Ørskov, 1995) จะได้ค่า a, b และ
c โดยที่ค่า a+b ที่คำนวณได้จะต้องไม่เกิน 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำค่า Fractional outflow rate (k)
ของ Digesta ที่ไหลผ่านกระเพาะหมักมาพิจารณาด้วย จะสามารถคำนวณค่า Effective rumen
degradability (ED) ซึ่งมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ จากสมการ

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

เมื่อได้ค่า ED ของโปรตีนแล้ว ก็นำไปประเมินค่าโปรตีนที่ย่อยสลายในกระเพาะ
หมัก (Rumen degradable protein, RDP) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (Rumen
undegradable protein, RUP) นำไปใช้ในการคำนวณความต้องการโปรตีนต่อไป

3. 3. การศึกษาการย่อยสลายโดยวิธีวัดปริมาณก๊าซ (Gas production)

3.3.1 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุและพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบอาหารสัตว์
3 ชนิด คือ หญ้าแห้งอุบลพาสพาล์ม ข้าวโพด และกากถั่วเหลือง

3.3.2 อุปกรณ์และวิธีการ

3.3.2.1 การเตรียมตัวอย่าง เหมือนกันกับการศึกษาการย่อยได้ในกระเพาะหมักโดย
วิธีใช้ถุงไนลอน

3.3.2.2 สัตว์ที่จะเก็บน้ำย่อยจากกระเพาะหมัก เหมือนกันกับการศึกษาการย่อยได้
ในกระเพาะหมักโดยวิธีใช้ถุงไนลอน ปรับสัตว์ก่อนเก็บตัวอย่าง 3 วัน ให้อาหารในปริมาณและ
เวลาปกติ เพื่อป้องกันความแปรปรวนระหว่างวัน

3.3.2.3 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ตู้อบ (Oven) ที่ปรับอุณหภูมิให้คงที่ 39 ± 0.5 องศาเซลเซียส ที่ใหญ่พอที่จะติดตั้ง
ตั้งเครื่องหมุนหรือจานหมุน (Rotator) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 เซนติเมตร ซึ่งมีรูขนาดเส้นผ่าน

ศูนย์กลาง 38 มิลลิเมตร มีประมาณ 60 รู เป็นช่องสำหรับเสียบหลอดตัวอย่าง ที่ฐานจะมีสายพานติดมอเตอร์ไฟฟ้าให้จานหมุนได้ด้วยความเร็ว 1-2 รอบต่อนาที

2. หลอดตัวอย่างอาหาร (Glass syringes) มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 36 มม. ภายใน 23 มม. ยาว 200 มม. และมีความจุ 150 มิลลิลิตร มีขีดบอกปริมาตรถึง 100 มล. อ่านได้ละเอียด 1 มม. (ลักษณะคล้ายกับหลอดฉีดยาขนาดใหญ่มาก) ปลายหลอดมีคลิปหนีบพลาสติก เพื่อปิดเปิดให้ก๊าซออกได้ จำนวน 36 หลอด ล้างให้สะอาดและอบให้แห้ง

3. อุปกรณ์สำหรับเก็บน้ำจากกระเพาะหมักของสัตว์ (Rumen fluid) ภาชนะสำหรับใส่น้ำจากกระเพาะหมักมีความจุประมาณ 1 ลิตร ฝาครอบ กรวยกรอง

4. อุปกรณ์อื่นๆ เช่น ปิเปตอัตโนมัติ ขนาด 50 มล. อ่านละเอียด 1 มล. ตั้งปริมาตรไว้ที่ 40 มล. ขวดขนาดบรรจุ 2-3 ลิตร เครื่องกวนสารละลายระบบแม่เหล็ก (Magnetic stirrer) อ่างน้ำอุ่น (Water bath) ปรับอุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส ถึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กระบอกตวง

3.3.2.4. สารเคมี และการเตรียมสารละลายต่างๆ

1. Micromineral solution ประกอบด้วย $13.2 \text{ g CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 10 \text{ g MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} + 1.0 \text{ g CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + 0.8 \text{ g FeCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ละลายทั้งหมดเข้าด้วยกันด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มล.
2. Buffer solution ประกอบด้วย $4 \text{ g NH}_4\text{HCO}_3 + 35 \text{ g NaHCO}_3$ ปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น
3. Macromineral solution ประกอบด้วย $5.7 \text{ g NaHPO}_4 \text{ (Anhydrous)} + 6.2 \text{ g KH}_2\text{PO}_4 \text{ (Anhydrous)} + 0.6 \text{ g MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น
4. Resazurine solution, 0.1 % (w/v) ชั่ง 100 มก. ของ Resazurine ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 มล.
5. Reduction solution ต้องเตรียมใหม่ ๆ ทุกครั้งที่ทำและเตรียมก่อนเก็บ Rumen fluid เพียงเล็กน้อยประกอบด้วย $2 \text{ ml } 1 \text{ N NaOH} + 312 \text{ mg Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ใส่ลงในน้ำ 47.5 มล.

3.3.2.5 วิธีการ

ทดสอบหลอดแก้ว (Glass syringe) และแกนดัน (Piston) แต่ละคู่ให้ใส่ได้พอดี ไม่คับและหลวมมากเกินไปเพราะจะมีปัญหาหลอดฝืด ทำให้ก๊าซดันออกไม่ได้หรือหลอดหลวมน้ำไหลออกทำให้ค่าผิด ซึ่งตัวอย่าง ประมาณ 500 มิลลิกรัม ใส่ในหลอดแก้ว ใช้วาสลีนทาแกนดัน แล้วสอดเข้าในหลอดแก้ว ทำตัวอย่างละ 8 ซ้ำ นำหลอดตัวอย่างไปใส่ในจานหมุนในตู้อบ อุณหภูมิ

39°ซ จนกว่าจะนำมาใช้และชั่งตัวอย่าง Standard hay และ Concentrate อย่างละ 3 ช้ำ ทำ Blank ด้วย 6 ช้ำ

การเก็บ Rumen fluid โดยเก็บก่อนให้สัตว์กินอาหารมื้อเช้า เก็บจากทั้ง 3 ตัว ผสมกันเพื่อลดความแปรปรวนของปริมาณจุลินทรีย์และให้ได้ตัวอย่างที่ดี ด้วยขวดขนาด 1 ลิตร ที่ปราศจากออกซิเจน โดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป่าลงไป และลวกขวดด้วยน้ำอุ่น บีบอาหารจากกระเพาะหมักผ่านผ้ากรองตาหาลงในขวดให้เต็มขวดเพื่อป้องกันไม่ให้มีออกซิเจน และปิดฝาไม่ให้ออกซิเจนเข้าได้ นำมาที่ห้องปฏิบัติการ รักษาอุณหภูมิของขวดให้อยู่ประมาณ 39° ซ. โดยแช่ในอ่างน้ำอุ่น ผ่านก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อไล่ออกซิเจนออก

การเตรียม Medium เดิมสารละลายต่อไปนี้ตามลำดับ

ปริมาณ (มล.) ต่อหลอดตัวอย่าง

1. น้ำ	14
2. Buffer solution	10
3. Macromineral solution	5
4. Resazurine solution	0.025
5. Micromineral solution	0.0025
6. Reduction solution	1
7. Rumen fluid	10
รวม	40.0275

เตรียมสารละลายเพื่อปริมาณที่ต้องการด้วยเพื่อสะดวกในการปิเปต ผสมสารละลาย 1-5 ก่อนที่จะเก็บน้ำจากกระเพาะหมัก แช่สารละลายในอ่างอุ่น 39°ซ ทำให้สภาพไร้ออกซิเจนโดยผ่านก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงไปตลอดเวลาและคนด้วย Magnetic stirrer เมื่อเก็บน้ำจากกระเพาะหมักมาแล้วให้เติม Reduction solution ลงไป สีของสารละลายจะค่อยๆ เปลี่ยนจากฟ้า เป็นชมพู และไม่มีสีตามลำดับ แสดงว่าเกิด Reduction อย่างสมบูรณ์ แล้วจึงค่อยเติมน้ำจากกระเพาะหมักลงไป คนให้เข้ากันตลอดเวลา ด้วย Magnetic stirrer ขณะเดียวกันผ่านก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงในสารละลายโดยจุ่มสายยางลงในขวด

ป้อนสารละลาย Medium ผ่านท่อเข้าในหลอดตัวอย่างที่เตรียมไว้แล้ว โดยปิเปตอัตโนมัติ จับหลอดตัวอย่างชุดด้านปลายขึ้นให้อยู่ในแนวตั้งในระดับสายตา ไล่ฟองก๊าซที่มีในหลอดออกให้หมด ปิดท่ออย่างปลายหลอดด้วยคลิปหนีบ บันทึกปริมาตรส่วนผสมทั้งหมดในหลอดตัวอย่าง ให้ได้ค่าประมาณ 40 มล. และควรเขย่าหลอดไม่ให้ตัวอย่างจับตัวเป็นก้อน นำหลอดไปใส่ในจานหมุนเพื่อ Incubate ในตู้บ่มที่อุณหภูมิ 39°ซ Blank ก็ทำเหมือนกัน

อ่านค่าก๊าซที่เกิดขึ้นเป็นระยะ ๆ เช่น ที่เวลา 4, 6, 8, 12 และ 24 ชั่วโมง หาปริมาณก๊าซสุทธิที่เกิดขึ้นที่ 24 ชั่วโมง นำไปคำนวณหาก๊าซที่ผลิตได้น้ำหนักตัวอย่างแห้ง 200 มก. และนำไปเข้าสู่สูตรคำนวณหาการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุ และพลังงานใช้ประโยชน์ได้

3.3.2.6 การคำนวณผล

การตรวจสอบกิจกรรมของจุลินทรีย์ และหรือ ความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในการทำ โดยคำนวณ Factor ซึ่งจะต้องได้ไม่เกิน 0.9 – 1.1 (Menke and Steingass, 1988) เมื่อ Gas production (GP) คือค่าของก๊าซที่เกิดจากการวัดตัวอย่างมาตรฐาน และ Blank จริงๆ ค่า Factor ที่ได้อยู่นอกเหนือจาก 0.9 – 1.1 ต้องทำใหม่ การทำ Standard ช่วยทำให้ทราบสาเหตุของความแปรปรวน เช่น ถ้าค่า Fh สูงเกิน 1 และ Fc อยู่ต่ำกว่า 0.9 แสดงว่ามี Cellulolytic activity น้อยจะต้องปรับโดยเพิ่มสัดส่วนของหญ้าแห้งในอาหารของสัตว์เจาะกระเพาะ

นำค่าก๊าซที่เกิดขึ้นในหลอด Blank (GPo) ไปหักออกจากค่าก๊าซของตัวอย่างมาตรฐานและตัวอย่างที่ต้องการศึกษา ต้องปรับน้ำหนักให้มี วัตถุแห้ง 200 มก. พอได้ค่า (GP) ดังสมการ

$$GP \text{ (ml/200 mg DM,24h)} = [(V24 - Gpo) \times 200 \times (Fh + Fc) / 2] / W$$

เมื่อ GP = ปริมาตรก๊าซสุทธิของตัวอย่าง

V24 = ค่าที่อ่านได้เมื่อ Incubate เวลา 24 ชั่วโมง

GPo = ค่าเฉลี่ยของก๊าซที่เกิดขึ้นในหลอด Blank อ่านที่ 24 ชั่วโมง ประมาณ 6-12 มล.

Fh = $44.16 / (GPh - Gho)$; Roughage correction factor

Fc = $62.6 / (GPc - Gho)$; Concentrate correction factor

W = น้ำหนักตัวอย่างเป็น มก. ของวัตถุแห้ง

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้ General linear model (GLM) โปรแกรม SAS (SAS, 1985)

3.5 สถานที่ทำการทดลอง

ฟาร์มทดลอง และห้องปฏิบัติการกลาง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
อ.วารินชำราบ จ. อุบลราชธานี

3.6 ระยะเวลาทำการทดลอง

เริ่มทำการทดลองตั้งแต่วันที่ 20 เมษายน พ.ศ. 2543 ถึง 30 ตุลาคม พ.ศ. 2543

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง

จากตารางที่ 4.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของหญ้าแห้งอุบลพาสพาล์ม ข้าวโพด และกากถั่วเหลือง จะเห็นว่า หญ้าแห้งอุบลพาสพาล์มมีพลังงานโภชนาที่ย่อยได้ทั้งหมด, โปรตีน และ NFC มีค่าเท่ากับ 61.9, 10.6 และ 29.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเชื้อใยพวก NDF, ADF และ ADL มีค่าเท่ากับ 54.1, 28.4 และ 3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาพลังงานและโปรตีนจะเห็นว่าเป็นหญ้าที่มีคุณภาพสูง แต่อย่างไรก็ตาม ในกระบวนการทำหญ้าแห้งก็ทำให้โปรตีนถูกทำลายไปบางส่วน ทำให้สัตว์ไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งจะคิดไปกับเชื้อใยมีค่าประมาณ 4.6 เปอร์เซ็นต์ ($NDF - NDF_N$) และมีค่าไนโตรเจนที่ไม่ละลายในกรด (ADIN) 0.15 เปอร์เซ็นต์

ข้าวโพดมีโปรตีน พลังงานโภชนาที่ย่อยได้ทั้งหมด, ไขมัน, NDF, ADF และ NFC มีค่าเท่ากับ 8.8, 88.1, 4.2, 15.8, 2.9 และ 70.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

กากถั่วเหลืองมีโปรตีน พลังงานโภชนาที่ย่อยได้ทั้งหมด, NDF, ADF, ADL และ NFC มีค่าเท่ากับ 47, 80.6, 9.7, 7.4, 0.79 และ 36.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนไขมันมีค่าต่ำคือ 0.72 เปอร์เซ็นต์

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองที่โคได้รับในแต่ละกลุ่ม ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.2 โดยพบว่า โคในกลุ่มที่ 1, 2, 3 และ 4 ได้รับอาหารที่มีโปรตีนเท่ากับ 12.2, 14.4, 10.71 และ 12.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในโคกลุ่มที่ได้รับพลังงาน 1.0 เท่าของ NRC (1988) ได้รับสารประกอบเชื้อใยพวก NDF และ ADF มีค่าประมาณ 34 และ 15.8 เปอร์เซ็นต์ สำหรับโคในกลุ่มที่ได้รับพลังงาน 1.2 เท่าของ NRC (1988) จะได้รับสารประกอบเชื้อใยพวก NDF และ ADF ซึ่งมีค่าประมาณ 30 และ 13 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพลังงานพบว่าได้รับพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ พลังงานเพื่อการดำรงชีพ และพลังงานเพื่อการเจริญเติบโต ประมาณ 2.65, 1.73 และ 1.12 เมกะแคลอรีต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง ในโคกลุ่มที่ได้รับพลังงาน 1.0 เท่าของ NRC (1988) และ ประมาณ 2.77, 1.84 และ 1.21 เมกะแคลอรีต่อกิโลกรัมวัตถุแห้งในโคกลุ่มที่ได้รับพลังงาน 1.2 เท่าของ NRC (1988)

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของหญ้าแห้งอุบลพาสพาล์ม ข้าวโพด และกากถั่วเหลือง (% วัตถุแห้ง)

Nutrient (%)	หญ้าแห้งอุบลพาสพาล์ม	ข้าวโพด	กากถั่วเหลือง
Dry matter (DM)	87.3	87.1	88.4
Ash	9.5	2.04	6.8
Crude protein (CP)	10.6	8.8	47
Crude fat (EE)	1.15	4.2	0.72
Neutral detergent fibre (NDF)	54.1	15.8	9.7
Acid detergent fibre (ADF)	28.4	2.9	7.4
Acid detergent lignin (ADL)	3	0.24	0.79
Neutral detergent fibre free nitrogen (NDF _N)	49.5	14.6	9.2
Acid detergent insoluble nitrogen (ADIN)	0.15	0.05	0.16
Non fibre carbohydrate (NFC) ^{1/}	29.2	70.4	36.3
Total digestible nutrient (TDN) ^{2/}	61.9	88.1	80.6

^{1/} $NFC = 100 - (CP + Ash + EE + NDF_N) *$

^{2/} $TDN = (E_{CP} + E_{FA} + E_{NDF} + E_{NFC}) - 7 *$

* ให้ความหมายของคำย่อในบทที่ 2 หัวข้อ 2.7.6

4.2 ปริมาณการกินได้

จากผลการทดลองที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 พบว่าโคกลุ่มที่ได้รับพลังงาน 1.2 เท่าของ NRC (1988) จะกินวัตถุแห้ง (กิโลกรัมต่อวัน) เปอร์เซ็นต์การกินได้ของวัตถุแห้งต่อน้ำหนักตัว และการกินได้ของวัตถุแห้ง (กรัม) ต่อน้ำหนักเมตาบอลิก (Metabolic body weight, $W^{0.75}$) มีค่าสูงกว่าโคในกลุ่มที่ได้รับพลังงาน 1.0 เท่าของ NRC (1988) ($P < 0.05$) คือมีค่าเท่ากับ 6.98, 2.7 และ 109 ต่อ 6.3, 2.5 และ 100 ตามลำดับ ส่วนโคกลุ่มที่ได้รับโปรตีนระดับ 1.0 และ 1.2 เท่าของ NRC (1988) การกินได้ของวัตถุแห้ง เปอร์เซ็นต์การกินได้ของวัตถุแห้งต่อน้ำหนักตัว และการกินได้ของวัตถุแห้งต่อน้ำหนักเมตาบอลิกไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) และพบว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ระหว่างพลังงานและโปรตีนต่อการกินได้ของวัตถุแห้ง และเปอร์เซ็นต์การกินได้ของวัตถุแห้งต่อน้ำหนักตัวของโคทดลอง

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีในสูตรอาหารที่โคทดลองได้รับในแต่ละสูตรอาหาร (% วัตถุแห้ง)

กลุ่ม (Treatment)	1	2	3	4
พลังงาน (เท่าของ NRC, 1988) (E)	1.0	1.0	1.2	1.2
โปรตีน (เท่าของ NRC, 1988) (P)	1.0	1.2	1.0	1.2
Ash	6.1	6.3	5.2	5.3
Crude protein (CP)	12.2	14.4	10.7	12.7
Crude fat (EE)	2.4	2.2	2.8	2.6
Neutral detergent fibre (NDF)	34.3	33.7	30.9	29.8
Acid detergent fibre (ADF)	15.8	15.9	13.1	12.7
Acid detergent lignin (ADL)	1.55	1.6	1.14	1.03
Neutral detergent fibre free nitrogen(NDF _N)	31.4	30.9	28.3	27.3
Acid detergent insoluble nitrogen (ADIN)	0.11	0.11	0.09	0.09
Non fibre carbohydrate (NFC)	46.4	44.7	51	50.6
Total digestible nutrient (TDN)	73.1	72.8	76.3	76.5
Metabolisable energy (ME, Mcal/Kg DM) ^{1/, 2/}	2.65	2.64	2.76	2.77
Net energy for miantenance (NE _M , Mcal/ kg DM) ^{2/}	1.73	1.74	1.83	1.84
Net energy for gain (NE _G , Mcal/ kg DM) ^{2/}	1.12	1.11	1.20	1.21
CP/ME (g/Mcal)	46.4	54.8	39.3	46.0

^{1/} ME = 0.0362 * (%TDN)

^{2/} การคำนวณแสดงในภาคผนวก (ก)

การกินได้ของพลังงาน โคกลุ่มที่ได้รับพลังงาน 1.0 เท่าของ NRC (1988) ได้รับโปรตีน 1.0 หรือ 1.2 เท่าของ NRC (1988) จะกินพลังงานคิดในหน่วยของโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (Total digestible nutrient, TDN) ได้เท่ากับ 4.7 หรือ 4.5 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน คิดเป็น 1.04 หรือ 1.03 เท่าของ NRC (1988) ส่วนโคในกลุ่มที่ได้รับพลังงาน 1.2 เท่าของ NRC (1988) ได้รับโปรตีน 1.0 หรือ 1.2 เท่าของ NRC (1988) กินพลังงาน (TDN) เท่ากับ 5.3 หรือ 5.3 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน คิดเป็น 1.18 หรือ 1.18 เท่าของ NRC (1988) (ตารางที่ 4.3) การกินได้ของพลังงานในโคกลุ่มที่ได้รับพลังงาน 1.0 และ 1.2 เท่าของ NRC (1988) มีค่าแตกต่างกัน ($P < 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.6 และ 5.3 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน

ตารางที่ 4.3 การกินได้ของวัตถุดิบ พลังงาน โปรตีน ประสิทธิภาพการใช้อาหารและการเปรียบเทียบ
การกินได้กับ NRC (1988)

กลุ่ม (Treatment)	1	2	3	4				
พลังงาน (เท่าของ NRC, 1988) (E)	1.0	1.0	1.2	1.2	SEM			
โปรตีน (เท่าของ NRC, 1988) (P)	1.0	1.2	1.0	1.2		E	P	E*P
						-----	<i>P</i>	-----
DMI (kg/cow/day) ^{1/}	6.38	6.23	6.98	6.97	0.31	0.008	0.72	0.75
% BW	2.5	2.5	2.7	2.7	0.05	0.0001	0.98	0.91
DMI (g/W ^{0.75}) ^{2/}	100	99	108	109	2.24	0.0001	0.86	0.76
TDN (kg/cow/day)	4.68	4.54	5.33	5.33	0.24	0.001	0.69	0.69
(เท่าของ NRC, 1988)	1.04	1.03	1.18	1.18				
CP (g/cow/day)	785	901	756	888	39.84	0.48	0.001	0.78
(เท่าของ NRC, 1988)	1.02	1.20	0.97	1.15				
ประสิทธิภาพการใช้อาหาร								
DMI/ADG (kg/kg)	7.7	8.0	8.1	7.0	0.26	0.55	0.39	0.13
ADG/DMI (g/kg)	133	129	127	148	11.72	0.45	0.33	0.15

^{1/} DMI คือ Dry matter intake

^{2/} W คือ น้ำหนักของอาหารเฉลี่ยตลอดการทดลอง

ส่วนระดับของโปรตีน 1.0 และ 1.2 เท่าของ NRC (1988) ไม่มีผลทำให้การกินได้ของพลังงานแตกต่างกัน ($P>0.05$) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.0 และ 4.9 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ

การกินได้ของโปรตีนหยาบ โคทคลองกลุ่มที่ได้รับโปรตีน 1.0 เท่าของ NRC (1988) และได้รับพลังงาน 1.0 หรือ 1.2 เท่าของ NRC (1988) กินโปรตีนหยาบได้มีค่าเท่ากับ 785 หรือ 756 กรัมต่อตัวต่อวัน คิดเป็น 1.02 หรือ 0.97 เท่าของ NRC (1988) สำหรับโคในกลุ่มที่ได้รับโปรตีน 1.2 เท่าของ NRC (1988) และได้รับพลังงาน 1.0 หรือ 1.2 เท่าของ NRC (1988) กินโปรตีนหยาบได้มีค่าเท่ากับ 901 หรือ 888 กรัมต่อตัวต่อวัน คิดเป็น 1.20 หรือ 1.15 เท่าของ NRC (1988) (ตารางที่ 4.3) ทั้งนี้การกินได้ของโปรตีนหยาบในโคกลุ่มที่ได้รับโปรตีน 1.0 และ 1.2 เท่าของ NRC (1988) มีปริมาณแตกต่างกัน ($P<0.05$) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 771 และ 895 กรัมต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ ส่วนระดับของพลังงาน 1.0 และ

1.2 เท่าของ NRC (1988) ไม่มีผลทำให้การกินได้ของโปรตีนหยาบแตกต่างกัน ($P>0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 843 และ 822 กรัมต่อตัวต่อวัน

ประสิทธิภาพการใช้อาหารในการเปลี่ยนน้ำหนักตัวต่อวัน พบว่า ระดับของพลังงานและระดับของโปรตีนในอาหารไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้อาหารในการทดลองครั้งนี้ และโคในกลุ่มที่ได้รับพลังงาน 1.2 และโปรตีน 1.2 เท่าของ NRC (1988) มีแนวโน้มที่มีประสิทธิภาพการใช้อาหารสูงที่สุดคือ มีการเจริญเติบโต 148 กรัมต่อการกินอาหาร 1 กิโลกรัมวัตถุดิบแห้ง หรือ กินอาหาร 7 กิโลกรัมวัตถุดิบแห้งในการเพิ่มน้ำหนัก 1 กิโลกรัมต่อวัน รองลงมาคือ โคกลุ่มที่ได้รับพลังงาน 1.0 และโปรตีน 1.0 เท่าของ NRC (1988) คือมีอัตราการเจริญเติบโต 133 กรัมต่อการกินอาหาร 1 กิโลกรัมวัตถุดิบแห้ง หรือ กินอาหาร 7.7 กิโลกรัมวัตถุดิบแห้งต่อการเพิ่มน้ำหนัก 1 กิโลกรัมต่อวัน

4.3 การเจริญเติบโต

น้ำหนักตัวเริ่มต้นการทดลองของโคที่ได้รับอาหารทั้ง 4 กลุ่ม มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) และเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีน้ำหนักตัวเฉลี่ยที่ได้ก็ไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) ซึ่งมีน้ำหนักตัวเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลองเรียงตาม Treatment 1 ถึง 4 ดังนี้ 276, 268, 277 และ 280 กิโลกรัม โดยระดับของพลังงานและโปรตีนไม่มีผลต่อน้ำหนักตัวเฉลี่ยตลอดการทดลองของโค (ตารางที่ 4.4) แต่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตต่อวัน โดยโคกลุ่มที่ได้รับพลังงาน 1.2 เท่าของ NRC (1988) มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยสูงกว่าโคในกลุ่มที่ได้รับพลังงาน 1.0 เท่าของ NRC (1988) ($P<0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.93 และ 0.80 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ ส่วนระดับของโปรตีน 1.0 และ 1.2 เท่าของ NRC (1988) มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันของโคทดลองไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 0.85 และ 0.90 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ ส่วนโคกลุ่มที่ได้รับพลังงาน 1.2 และโปรตีน 1.2 เท่าของ NRC (1988) มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยสูงที่สุดคือ 1.0 กิโลกรัมต่อวัน และโคกลุ่มที่มีการเจริญเติบโตต่ำที่สุดคือกลุ่มที่ได้รับพลังงาน 1.0 และโปรตีน 1.2 มีค่าเท่ากับ 0.79 กิโลกรัมต่อวัน

ตารางที่ 4.4 น้ำหนักและอัตราการเจริญเติบโตของโคทดลองที่ได้รับพลังงาน และโปรตีนในระดับต่างๆ

กลุ่ม (Treatment)	1	2	3	4				
พลังงาน (เท่า NRC, 1988) (E)	1.0	1.0	1.2	1.2	SEM			
โปรตีน (เท่า NRC, 1988) (P)	1.0	1.2	1.0	1.2		E	P	E*P
----- P -----								
น้ำหนักเริ่มทดลอง ^{1/}	238	232	239	235	10.53	0.85	0.51	0.89
น้ำหนักสิ้นสุดการทดลอง ^{1/}	276	268	277	280	11.45	0.46	0.74	0.54
น้ำหนักเฉลี่ยตลอดการทดลอง ^{1/}	257	250	258	257	10.91	0.61	0.62	0.70
น้ำหนักเมทาบอลิก (กก.) ^{0.75}	64	63	64	64	1.99	0.68	0.62	0.66
การเจริญเติบโตต่อวัน (กก./วัน)	0.83	0.79	0.86	1.00	0.06	0.021	0.27	0.066

^{1/} น้ำหนัก (กิโลกรัม) ซึ่งเมื่อโคคอดอาหารประมาณ 16 ชั่วโมง

4.4 การวัดการย่อยสลายโดยใช้เทคนิคถุงในล่อน

การย่อยสลายของวัตถุแห้ง พบว่าการย่อยสลายของหญ้าแห้งอุบลพาสพาล์มเป็นไปอย่างช้าๆ ในทุกระยะเวลา เมื่อเปรียบเทียบกับกากถั่วเหลืองและข้าวโพด ซึ่งมีการย่อยสลายอย่างรวดเร็วและใกล้เคียงกัน โดยเฉพาะหลังเวลา 24 ชั่วโมงไปแล้ว จะมีการย่อยสลายดังแสดงในตารางที่ 4.5 เมื่อนำค่าวัตถุแห้งที่ย่อยสลายได้ในชั่วโมงต่างๆ ไปหาค่า a, b และ c โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป NEWAY เพื่อหาการย่อยสลายในกระเพาะหมัก โดยพิจารณาจากอัตราการไหลของอาหารผ่านกระเพาะหมัก (Fractional outflow rate, k) ด้วยจะสามารถคำนวณหาการย่อยสลายในกระเพาะหมัก (Effective rumen degradability, ED) ได้ ซึ่งถ้าสัตว์ได้รับอาหารในระดับดำรงชีพปกติใช้ค่า k เป็น 0.05 ต่อชั่วโมง จากการทดลองพบว่าหญ้าอุบลพาสพาล์ม กากถั่วเหลือง และข้าวโพดมีค่าประสิทธิภาพการย่อยสลายของวัตถุแห้งในกระเพาะหมักเป็น 47.09, 57.79 และ 55.95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.5

การย่อยสลายของโปรตีน พบว่าข้าวโพดมีการละลายได้ในน้ำสูงสุด หญ้าแห้งอุบลพาสพาล์ม รองลงมา และกากถั่วเหลืองมีการละลายได้ต่ำสุด แต่เมื่อนำไปแช่ในกระเพาะหมักที่เวลาต่างๆ พบว่ากากถั่วเหลืองมีอัตราการย่อยสลายอย่างช้าๆ ในชั่วโมงต้นๆ และมีอัตราการย่อยสลายอย่างรวดเร็วหลังจากเช้านานกว่า 12 ชั่วโมงขึ้นไป ส่วนหญ้าแห้งอุบลพาสพาล์ม และข้าวโพด มีการละลายได้สูงใน

ชั่วโมงแรกๆ แต่อัตราการละลายเป็นไปอย่างช้า ๆ และเริ่มละลายได้สูงขึ้นหลังจากแช่ในกระเพาะหมัก นานกว่า 24 ชั่วโมงขึ้นไป ดังแสดงในตารางที่ 4.5 เมื่อทำการคำนวณหาค่าการย่อยสลายได้ของโปรตีน ในกระเพาะหมัก (ED) พบว่าข้าวโพดมีค่าสูงสุด รองลงมาคือ กากถั่วเหลือง และต่ำสุดคือ หญ้าแห้ง อุบลพาสพาล์ม ซึ่งมีค่าเป็น 56.94, 52.26 และ 50.5 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 4.5)

ตารางที่ 4.5 การย่อยสลายของวัตถุแห้งและโปรตีนของหญ้าแห้งอุบลพาสพาล์ม กากถั่วเหลืองและข้าวโพด ในกระเพาะหมักที่แช่ในเวลาต่างๆ

เวลาที่แช่ในกระเพาะหมัก (ชั่วโมง)	หญ้าแห้งอุบลพาสพาล์ม	กากถั่วเหลือง	ข้าวโพด
การย่อยได้ของวัตถุแห้ง			
ชั่วโมงที่ 0	25.6	30.3	33.8
ชั่วโมงที่ 4	28.4	38.7	40.5
ชั่วโมงที่ 8	34.8	49.8	50.6
ชั่วโมงที่ 12	39.4	57.9	54.4
ชั่วโมงที่ 24	57.6	79.0	69.2
ชั่วโมงที่ 48	77.9	98.5	89.9
ชั่วโมงที่ 72	82.5		
Effective degradability ,ED ^{1/} (%)	47.09	57.79	55.95
การย่อยสลายของโปรตีน			
ชั่วโมงที่ 0	28.4	8.7	30.5
ชั่วโมงที่ 4	34.4	21.3	37.3
ชั่วโมงที่ 8	40.5	30.4	41.8
ชั่วโมงที่ 12	42.6	37.4	43.2
ชั่วโมงที่ 24	63.9	69.5	52.3
ชั่วโมงที่ 48	72.0	98.9	68.2
ชั่วโมงที่ 72	82.2		
Effective degradability ,ED ^{1/} (%)	50.5	52.26	56.94

^{1/} การคำนวณแสดงในภาคผนวก ก

4.5 การวัดการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุและพลังงานโดยวิธีวัดปริมาณก๊าซ

จากการนำตัวอย่างหญ้าแห้งอุบลพาสพาลัม ข้าวโพด และกากถั่วเหลือง มาหมักบ่มกับ Rumen fluid buffer ในหลอด Syringe ขนาดใหญ่เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้ววัดปริมาณก๊าซที่ผลิตได้ (GP) เพื่อนำมาคำนวณหาการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ (OMD) และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (ME) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.6 จะเห็นว่าหลังจากการหมักบ่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าข้าวโพดสามารถผลิตก๊าซได้สูงสุด รองลงมาคือ กากถั่วเหลือง และหญ้าแห้งอุบลพาสพาลัม ซึ่งมีค่าเท่ากับ 66.1, 45.9 และ 33.8 มิลลิลิตร ตามลำดับ ส่วนการย่อยสลายได้ของอินทรีย์วัตถุของหญ้าแห้งอุบลพาสพาลัม ข้าวโพด และกากถั่วเหลืองที่ได้จากการคำนวณ คือ 55.94, 81.54 และ 84.81 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่ได้จากการคำนวณพบว่าข้าวโพดมีพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้สูงสุด รองลงมาคือ กากถั่วเหลือง และหญ้าแห้งอุบลพาสพาลัม โดยมีค่าเท่ากับ 3.08, 2.82 และ 1.76 เมกะแคลอรีต่อกิโลกรัมของวัตถุแห้ง ตามลำดับ ส่วนพลังงานสุทธิในอาหารสำหรับโคให้นม (NEL) พบว่าข้าวโพดมีพลังงานสุทธิสูงสุด รองลงมาคือ กากถั่วเหลือง และหญ้าแห้งอุบลพาสพาลัม ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.94, 1.71 และ 1.03 เมกะแคลอรีต่อกิโลกรัมของวัตถุแห้ง

ตารางที่ 4.6 ปริมาณก๊าซ การย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุและพลังงานที่คำนวณได้จากปริมาณก๊าซที่ผลิตได้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ของตัวอย่างที่มีน้ำหนักแห้ง 200 มก.

ตัวอย่าง	GP ^{2/} (ml)	OMD ^{1, 2/} (%)	ME ^{1, 2/} (Mcal/kg DM)	NEL ^{1, 2/} (Mcal/kg DM)
หญ้าแห้งอุบล				
พาสพาลัม	33.80	55.94	1.76	1.03
ข้าวโพด	66.10	81.54	3.08	1.94
กากถั่วเหลือง	45.90	84.81	2.82	1.71

^{1/} การคำนวณแสดงในภาคผนวก ก

^{2/} GP คือ Gas production, OMD คือ Organic matter digestibility, ME คือ Metabolisable energy, NEL คือ Net energy

จะเห็นว่าหญ้าแห้งอุบลพาสฟาล์ม การผลิตก๊าซและการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุมีค่าต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพดและกากถั่วเหลือง ซึ่งน่าจะเกิดจากหญ้าแห้งมีส่วนของโกษนะที่จุลินทรีย์นำไปใช้แล้วทำให้เกิดก๊าซนั้นมีปริมาณน้อย โดยเฉพาะ ส่วนที่ละลายได้ง่ายที่เป็นแหล่งของพลังงานและแหล่งของโปรตีน สำหรับจุลินทรีย์ เช่น แป้ง, น้ำตาล และโปรตีน เป็นต้น (ตารางที่ 4.1)

4.6 ความต้องการพลังงานของโคสาว

ความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (NE_M) ของโคเฉลี่ยตลอดการทดลองมีค่าเท่ากับ 5.81, 5.66, 5.76 และ 5.79 เมกะแคลอรีต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ Treatment และมีความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการเจริญเติบโต (NE_G) เฉลี่ยตลอดการทดลองมีค่าเท่ากับ 3.33, 3.19, 3.45 และ 4.39 เมกะแคลอรีต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ Treatment (ตารางที่ 4.7) ขณะที่โคทดลองกินพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.86, 5.74, 6.68 และ 5.94 เมกะแคลอรีต่อตัวต่อวัน และกินพลังงานสุทธิเพื่อการเจริญเติบโตมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.35, 3.23, 4.00 และ 4.51 เมกะแคลอรีต่อตัวต่อวัน (ตารางที่ 4.7)

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.7 พบว่าโคทดลองมีความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการเจริญเติบโตและเพื่อการดำรงชีพสูงกว่า NRC (1988) แนะนำ นั่นแสดงว่า Factors ที่ใช้ในการคำนวณหาค่าพลังงานสุทธิต้องสูงกว่าด้วย ซึ่งค่า Factors ที่ NRC (1988) แนะนำ สำหรับคำนวณหาค่าพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ มีค่าเท่ากับ 0.086 แต่จากการทดลองพบว่าสามารถปรับค่า Factors ของโคในแต่ละกลุ่มมีค่าเท่ากับ 0.0862, 0.0869, 0.0997 และ 0.0887 ตามลำดับ Treatment (ตารางที่ 4.7) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0904 ส่วนค่า Factors สำหรับคำนวณหาค่าพลังงานสุทธิเพื่อการเจริญเติบโตที่ NRC (1988) แนะนำ คือ 0.045 สำหรับโคสาว Small breeds แต่จากการทดลองพบว่าสามารถปรับค่า Factors ของโคในแต่ละกลุ่มมีค่าเท่ากับ 0.0458, 0.0456, 0.0543 และ 0.0469 ตามลำดับ Treatment (ตารางที่ 4.7) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0482 นอกจากนี้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานพบว่า โคกลุ่มที่ได้รับพลังงาน 1.0 เท่าของ NRC (1988) จะมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงกว่าโคกลุ่มที่ได้รับพลังงาน 1.2 เท่าของ NRC (1988) โดยมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานเป็น 0.99 เปรียบเทียบกับ 0.92 จากการทดลองการกินได้จริงของพลังงานของโคทดลอง พบว่าโคกินไม่ได้ตามที่กำหนดให้ โดยกินพลังงานโกษนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (TDN) เท่ากับ 1.03 และ 1.18 เท่าของ NRC (1988) (ตารางที่ 4.3) ดังนั้นความต้องการพลังงาน (TDN) ของโคทดลอง มีความต้องการสูงกว่า 1.0 เท่าของ NRC (1988) แต่ต่ำกว่า 1.2 เท่าของ NRC (1988)

ตารางที่ 4.7 การประเมินความต้องการพลังงานในอาหารและในโค การปรับ Factors สำหรับการคำนวณหาพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพและการเจริญเติบโตของโคทดลองที่ได้รับพลังงานและโปรตีนในระดับต่างๆ

กลุ่ม (Treatment)	1	2	3	4
พลังงาน (เท่าของ NRC, 1988) (E)	1.0	1.0	1.2	1.2
โปรตีน (เท่าของ NRC, 1988) (P)	1.0	1.2	1.0	1.2
การกินได้ (Mcal/ d) ^{1/, 2/}				
พลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (NE _M)	5.86	5.74	6.68	5.94
พลังงานสุทธิเพื่อการเจริญเติบโต (NE _G)	3.35	3.23	4.00	4.51
ความต้องการ (Mcal/ d) ^{1/, 2/}				
พลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (NE _M)	5.81	5.66	5.76	5.79
พลังงานสุทธิเพื่อการเจริญเติบโต (NE _G)	3.33	3.19	3.45	4.39
Factors ^{1/}				
พลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (NE _M)	0.0862	0.0869	0.0997	0.887
พลังงานสุทธิเพื่อการเจริญเติบโต (NE _G)	0.0458	0.0456	0.0543	0.0469
พลังงานขาด / เกิน ^{3/}				
พลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (NE _M)	0.05	0.08	0.92	0.15
พลังงานสุทธิเพื่อการเจริญเติบโต (NE _G)	0.02	0.04	0.55	0.12
ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ^{4/}	0.99	0.99	0.86	0.97

^{1/} การคำนวณแสดงในภาคผนวก (ก)

^{2/} NE_M คือ Net energy for maintenance, NE_G คือ Net energy for gain

^{3/} พลังงานสุทธิกินได้ในอาหาร - ความต้องการพลังงานสุทธิ

^{4/} ความต้องการพลังงานสุทธิ / พลังงานสุทธิที่กินได้

4.7 ความต้องการโปรตีนของโคสาว

จากตารางที่ 4.8 พบว่าความต้องการโปรตีนหยาบของโคทดลองทั้ง 4 กลุ่ม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 616, 628, 583 และ 575 กรัมต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ ในขณะที่โคทดลองกินอาหารโปรตีนหยาบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 785, 901, 756 และ 888 กรัมต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ Treatment ซึ่งจะสูงกว่าความต้องการของโค ประมาณ 169, 273, 173 และ 313 กรัมต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ โดยมีความต้องการโปรตีนดูดซึมเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 473, 471, 446 และ 423 กรัมต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ ส่วนโปรตีนดูดซึมที่โคทดลองได้รับจากอาหารมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 437, 535, 396 และ 502 กรัมต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ Treatment จะเห็นว่าโคกลุ่มที่ได้รับโปรตีนสูงจะกินโปรตีนดูดซึมได้สูงกว่ากลุ่มที่ได้รับโปรตีนต่ำ และมีแนวโน้มว่า กลุ่มได้รับพลังงานต่ำจะกินโปรตีนได้สูงขึ้นด้วย และ โปรตีนดูดซึมที่กินได้จะไม่เพียงพอต่อความต้องการของโคในกลุ่มที่ได้รับโปรตีน 1.0 เท่าของ NRC (1988) แต่จะเกินความต้องการในโคกลุ่มที่ได้รับโปรตีน 1.2 เท่าของ NRC (1988) ซึ่งขาดประมาณ 43 กรัมต่อตัวต่อวัน และ เกินประมาณ 72 กรัมต่อตัวต่อวัน

ส่วนโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก ทั้ง 4 กลุ่ม พบว่าโคทุกกลุ่มทดลองมีความต้องการโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายต่ำกว่าที่กินได้ในอาหารมาก โดยโคจะกิน โปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมักสูงกว่าความต้องการซึ่งมีค่าประมาณ 195, 314, 199 และ 360 กรัมต่อวันตามลำดับ Treatment (ตารางที่ 4.8) และโคกลุ่มได้รับโปรตีน 1.2 และพลังงาน 1.2 เท่าของ NRC (1988) จะต้องการโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายต่ำที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 188 กรัมต่อตัวต่อวัน และสูงที่สุด โคในกลุ่มได้รับโปรตีน 1.0 และพลังงาน 1.0 เท่าของ NRC (1988) มีค่าเท่ากับ 292 กรัมต่อตัวต่อวัน

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า โคมีความต้องการโปรตีนหยาบสูงกว่าที่ NRC (1988) แนะนำ โดยจะเห็นได้จากการให้โปรตีน 1.0 เท่าของ NRC (1988) จะทำให้โคได้รับโปรตีนดูดซึมไม่เพียงพอ นอกจากนี้พบว่าระดับของพลังงานมีผลต่อความต้องการโปรตีน โดยที่พลังงานสูงจะทำให้การกินได้ของโปรตีนทุกชนิดมีแนวโน้มลดลง ส่วนระดับโปรตีนที่ให้โคมีผลต่อ การกินได้ของโปรตีนทุกชนิด โดยให้โปรตีนสูงจะทำให้กินโปรตีนได้สูงขึ้น จากการกินได้ของโปรตีนเมื่อเปรียบเทียบกับ NRC (1988) ซึ่งกินได้เท่ากับ 1.00 และ 1.18 เท่าของ NRC (1988) นั้นแสดงว่า โคต้องการโปรตีนสูงกว่า 1.0 แต่ต่ำกว่า 1.2 เท่าของ NRC (1988)

ตารางที่ 4.8 การประเมินความต้องการโปรตีนในอาหาร และในโคของโคทดลองที่ได้รับพลังงานและโปรตีนในระดับต่างๆ

กลุ่ม (Treatment)	1	2	3	4
พลังงาน (เท่าของ NRC, 1988) (E)	1.0	1.0	1.2	1.2
โปรตีน (เท่าของ NRC, 1988) (P)	1.0	1.2	1.0	1.2
การกินได้ (g/d) ^{1/, 2/}				
โปรตีนหยาบ (CP)	785	901	756	888
โปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP)	416	475	402	473
โปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP)	487	561	467	548
โปรตีนดูดซึม (AP)	437	535	396	502
ความต้องการ (g/d) ^{1/, 2/}				
โปรตีนหยาบ (CP)	616	628	583	575
โปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP)	416	475	402	473
โปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP)	292	247	268	188
โปรตีนดูดซึม (AP)	473	471	446	423
ขาด / เกิน (g/d) ^{3/}				
โปรตีนหยาบ (CP)	169	273	173	313
โปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP)	0	0	0	0
โปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP)	195	314	199	360
โปรตีนดูดซึม (AP)	-36	64	-50	79

^{1/} การคำนวณแสดงในภาคผนวก ก

^{2/} CP คือ Crude protein, RDP คือ Rumen degradable protein, RUP คือ Rumen undegradable protein, AP คือ

Absorbed protein

^{3/} Intake – Requirement

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1. ส่วนประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง

หญ้าแห้งอุบลพาสพาล์ม ที่ใช้เป็นอาหารหยาบในการทดลองนี้มีคุณภาพค่อนข้างสูง เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบทางเคมี จะเห็นได้ว่าโปรตีน และ โภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (TDN) มีค่าประมาณ 10.6 และ 61.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยค่าโปรตีนหยาบที่วิเคราะห์ได้นี้มีค่าสูงกว่าที่มีรายงานในการทดลองอื่นๆ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 5.0 - 6.5 เปอร์เซ็นต์ (ไมเคิล แฮร์ และคณะ 2540, 2543b ; Hare et al., 1997) ทั้งนี้คุณภาพหญ้าอาหารสัตว์มีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น อายุ ฤดูกาลการเก็บเกี่ยว การจัดการให้ปุ๋ย น้ำ และความอุดมสมบูรณ์ของดิน เป็นต้น หญ้าแห้งอุบลพาสพาล์มที่ใช้ในการทดลองนี้ตัดทำหญ้าแห้งที่อายุประมาณ 40-45 วัน ใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 จำนวน 25 กก.ต่อไร่ และตัดทำหญ้าแห้งในช่วงปลายฤดูฝน ประมาณเดือน ตุลาคมถึง ธันวาคม ซึ่งช่วงนี้หญ้าจะมีการเจริญเติบโตต่ำ ขณะที่ไมเคิล แฮร์ และคณะ (2540, 2543b) และ Hare et al. (1997) รายงานไว้นั้น ตัดที่อายุประมาณ 55 วันขึ้นไป และขณะเก็บเกี่ยวนั้นมีน้ำท่วมขังบ้างอาจเป็นสาเหตุทำให้โปรตีนต่ำได้ การจัดการและการให้ปุ๋ยมีผลต่อคุณภาพของโปรตีนหยาบโดยเฉพาะปุ๋ยไนโตรเจน ซึ่งเมื่อระดับของปุ๋ยไนโตรเจนที่ให้กับหญ้าอุบลพาสพาล์มสูงขึ้น จะมีผลทำให้มีปริมาณโปรตีนหยาบสูงขึ้นตามไปด้วย (Hare et al., 1999) จากการทดลองให้ปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณตั้งแต่ 0 – 80 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกตาร์ พบว่าหญ้าแห้งอุบลพาสพาล์มตัดที่อายุ 30 วัน มีปริมาณโปรตีนหยาบตั้งแต่ 5.6 – 8.1 เปอร์เซ็นต์ และถ้าอายุของการตัดเก็บเกี่ยวสูงขึ้นจะทำให้มีค่าโปรตีนลดลงตามอายุที่เพิ่มขึ้น จากการศึกษาตัดเก็บเกี่ยวหญ้าอุบลพาสพาล์มตั้งแต่อายุ 20, 30, 40 และ 60 วัน พบว่าปริมาณโปรตีนหยาบมีค่าลดลงจาก 9.2 ถึง 5.4 เปอร์เซ็นต์ (ไมเคิล แฮร์ และคณะ 2543a) ขณะที่ อาร์ริคีน ลุนฟา (2543) ตัดเก็บเกี่ยวหญ้าอุบลพาสพาล์มที่อายุ 30, 45 และ 60 วัน ก็พบว่าโปรตีนหยาบมีค่าลดลงจาก 10.9 ถึง 6.9 เปอร์เซ็นต์ ความอุดมสมบูรณ์ของดินมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของพืชอาหารสัตว์ จากการศึกษาการปลูกหญ้าอุบลพาสพาล์มที่สถานที่ต่างๆ กัน

เช่น ที่มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี สหกรณ์โคนม อ.เดชอุดม จ.อุบลราชธานี และสถานีพืชอาหารสัตว์ มุกดาหาร จ.มุกดาหาร โดยมีการจัดการเหมือนกันทุกประการ พบว่า ที่สถานีพืชอาหารสัตว์มุกดาหาร ให้ผลผลิตและคุณภาพสูงกว่า โดยมีค่าโปรตีนหยาบที่ตัดที่อายุ 70 วัน หลังปลูกมีค่าเท่ากับ 9.8 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่อีกสองแหล่งมีค่าเท่ากับ 4.9 และ 5.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ไมเคิล แฮร์ และคณะ 2540) สำหรับสารเชื้อใยในการทดลองนี้พบว่า NDF มีปริมาณต่ำกว่าที่มีรายงานไว้ในงานทดลองอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 54.1 เปรียบเทียบกับ 65.7 และ 63.8 เปอร์เซ็นต์ (เมตตา แสงคำ, 2543 ; อารีรัตน์ ลุนพา, 2543) ส่วนปริมาณของ ADF ก็พบว่ามีค่าต่ำกว่าที่รายงานไว้ในงานทดลองของ เมตตา แสงคำ (2543) เช่นเดียวกัน โดยมีค่าเท่ากับ 28.4 เปรียบเทียบกับ 38.0 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ปริมาณของ NDF และ ADF จะขึ้นอยู่กับอายุของพืช ถ้าพืชมีอายุสูงขึ้นจะทำให้มีการสะสมของ NDF และ ADF สูงขึ้นเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของพืช ดังจะเห็นได้จากปริมาณของ NDF และ ADF จากลำต้นของหญ้าอุบลพาสพาล์มจะสูงกว่าในใบ (เมตตา แสงคำ, 2543)

ข้าวโพดบด ที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นข้าวโพดบดละเอียด และพบว่าปริมาณ TDN ที่วิเคราะห์ได้นี้มีค่าสอดคล้องกับที่มีรายงานไว้ในงานทดลองอื่นๆ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 79.8 - 88.7 เปอร์เซ็นต์ (Chava-Isarakul and Promma, 2541 ; Promma et al., 2541 ; NRC, 1988 ; สมชาย จันทรพ้องแสง, 2541 ; จินดา สนิทวงศ์ และคณะ, 2543) สำหรับโปรตีนหยาบก็มีปริมาณใกล้เคียงกับรายงานในงานทดลองอื่นๆ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 8.1 - 10.0 เปอร์เซ็นต์ (จินดา สนิทวงศ์ และคณะ 2543 ; Chava-Isarakul and Promma, 2541 ; Lamchuan et al., 2541 ; Promma et al., 2541 ; สมชาย จันทรพ้องแสง, 2541 ; Mourits et al., 2000 ; NRC, 1988) ส่วนไขมันที่วิเคราะห์ได้ในการทดลองนี้ ก็มีปริมาณอยู่ในช่วงที่มีรายงานไว้ในงานทดลองอื่นๆ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 3.7 - 4.8 เปอร์เซ็นต์ (Chava-Isarakul and Promma, 2541 ; NRC, 1988 ; สมชาย จันทรพ้องแสง, 2541) สำหรับปริมาณของ NDF ที่ได้ในงานทดลองนี้มีปริมาณสูงกว่าที่เคยมีรายงานไว้ในงานทดลองอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 15.8 เปรียบเทียบกับ 9.0 เปอร์เซ็นต์ (NRC, 1988 ; Mourits et al., 2000) แต่ในขณะที่ปริมาณของ ADF นั้นพบว่ามีค่าต่ำกว่าที่มีรายงานไว้ โดยมีค่าเท่ากับ 2.9 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับงานทดลองอื่นๆ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 3.0 - 10.0 เปอร์เซ็นต์ (NRC, 1988 ; Lamchuan et al., 2541 ; สมชาย จันทรพ้องแสง, 2541 ; Chava-Isarakul and Promma, 2541 ; Promma et al., 2541) ทั้งนี้องค์ประกอบทางเคมีของข้าวโพดที่ต่างกันนั้นขึ้นอยู่กับ ขบวนการบด การเก็บรักษา อายุการเก็บรักษา สายพันธุ์ ความสะอาดบริสุทธิ์ไม่มีสิ่งเจือปน การปลูกในสภาพแวดล้อมที่ต่างๆ หรือแม้แต่การผ่านขบวนการต่างกันในการแปรรูปของเมล็ดข้าวโพด เหล่านี้เป็นต้น

กากถั่วเหลือง จากการวิเคราะห์ปริมาณพลังงานในรูปของ TDN พบว่ามีค่าสอดคล้องกับที่รายงานไว้ในงานทดลองอื่นๆ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 74.7 - 88.2 เปอร์เซ็นต์ (สุรชัย ชาคริยรัตน์, 2541 ; จินดา สนิทวงศ์ และคณะ 2543 ; NRC 1988 ; Promma et al., 2541) สำหรับปริมาณโปรตีนหยาบของกากถั่วเหลืองมีค่าต่ำกว่าจากที่มีรายงานไว้ในงานทดลองอื่นๆ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 47.0 เปรียบเทียบกับรายงานอื่นๆ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 48.1 - 58.4 เปอร์เซ็นต์ (Promma et al., 2541 ; จินดา สนิทวงศ์ และคณะ 2543 ; NRC, 1988 ; สมชาย จันทร์ฟ่องแสง, 2541 ; Mourits et al., 2000 ; Hongerholt and Muller, 1998) ในขณะที่ปริมาณของ NDF มีค่าใกล้เคียงกับที่เคยมีรายงานไว้โดยมีค่าอยู่ในช่วง 8 - 9 เปอร์เซ็นต์ (Hongerholt and Muller, 1998 ; Mourits et al., 2000) ส่วนปริมาณของ ADF นั้นก็มีค่าใกล้เคียงกับที่รายงานไว้โดย Hongerholt and Muller (1998) แต่มีค่าต่ำกว่าที่รายงานไว้โดย NRC (1988) ทั้งนี้คุณภาพของกากถั่วเหลืองจะขึ้นอยู่กับ กรรมวิธีในการผลิต การเก็บรักษา อายุการเก็บรักษา หรือแม้กระทั่งสภาพแวดล้อมการปลูกการเก็บเกี่ยว เป็นต้น

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองที่โคได้รับในแต่ละกลุ่มอาหารนั้นพบว่า ปริมาณโปรตีนหยาบจะมีค่าเพียงพอเมื่อเปรียบเทียบกับที่ NRC (1988) แนะนำไว้ (12 เปอร์เซ็นต์) สำหรับโคสาวที่มีอายุประมาณ 12 เดือน สำหรับโคในกลุ่มที่ 2 จะได้รับโปรตีนสูงกว่าที่ NRC (1988) แนะนำ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าเป็นกลุ่มที่กำหนดให้อาหารมีโปรตีนสูงกว่า NRC (1988) นอกจากนี้ยังได้รับอาหารที่มีพลังงานต่ำด้วย ส่วนโคในกลุ่มที่ 3 ได้รับโปรตีนต่ำกว่า NRC (1988) แนะนำ อาจเป็นเพราะว่าพลังงานมีผลต่อความต้องการและปริมาณการกินได้ของโปรตีน โดยจะเห็นว่าปริมาณการกินได้ของโปรตีนมีแนวโน้มต่ำลงถ้าได้รับอาหารพลังงานสูงขึ้น สำหรับไขมันจะเห็นว่าในโคแต่ละกลุ่มได้รับไขมันต่ำกว่าที่ NRC (1988) แนะนำไว้ (3 เปอร์เซ็นต์) อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้ใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงาน ดังนั้นถึงแม้ว่าไขมันจะต่ำแต่พลังงานก็ยังเพียงพอ เพราะถ้าพิจารณาจากพลังงานในหน่วยของโกชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (TDN) และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (ME) แล้วพบว่า ในโคทุกกลุ่มอาหารได้รับพลังงานสูงกว่าที่ NRC (1988) แนะนำไว้ (66 เปอร์เซ็นต์ และ 2.47 เมกะแคลอรีต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าใช้วัตถุดิบที่มีพลังงานสูงในการประกอบสูตรอาหารและในการทดลองนี้ก็ให้อาหารพลังงานสูงกว่า NRC (1988) อยู่แล้ว สารเชื้อใยพวก NDF และ ADF พบว่าโคได้รับปริมาณของ NDF สูงกว่าที่แนะนำโดย NRC (1988) (25 เปอร์เซ็นต์) เมื่อเปรียบเทียบกับที่โคได้รับซึ่งมีค่าเท่ากับ 32.2 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ปริมาณของ ADF ที่โคได้รับนั้นมีค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ NRC (1988) (19.0 เปอร์เซ็นต์) เมื่อเปรียบเทียบกับที่โคได้รับมีค่าเท่ากับ 14.4 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ในการทดลองนี้ศึกษาความต้องการพลังงานและโปรตีน ซึ่งจะต้องปรับค่าทั้ง 2 ให้ได้ตามความต้องการ

ของโคและต้องใช้อัตราคอก เช่น ข้าวโพดและกากถั่วเหลืองในปริมาณสูง ซึ่งมีค่าสารเชื้อย ADF ก่อนข้างต่ำ อาจเป็นผลให้ได้ปริมาณของ ADF ในอาหารต่ำได้ ซึ่งจะเห็นว่าแนวโน้มลดลงเมื่ออาหารชั้นเพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร เช่น โคกลุ่มที่ได้รับพลังงาน 1.0 เท่าของ NRC (1988) จะได้รับ ADF เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 12.9 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่โคกลุ่มที่ได้รับพลังงาน 1.2 เท่าของ NRC (1988) ได้รับ ADF เฉลี่ยเป็น 15.9 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามปริมาณของ NDF ที่ได้มีค่าสูงกว่า NRC ก็ไม่น่าจะเกิดผลกระทบต่อขบวนการหมักในกระเพาะหมักของสัตว์ทดลอง

5.2 การกินได้ของโคทดลอง

จากผลการทดลองพบว่าระดับของอาหารพลังงานที่สูงขึ้น ทำให้ปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบสูงกว่าระดับของอาหารพลังงานต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบ ปริมาณการกินได้ต่อน้ำหนักตัว และการกินได้ต่อน้ำหนักเมตาบอลิกของโคจะสูงกว่าประมาณ 11, 9 และ 8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งก็สอดคล้องกับงานทดลองของ Waldo et al. (1997) ซึ่งรายงานว่าระดับของพลังงานมีผลต่อปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบ ในขณะที่ระดับของโปรตีนไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบ โดยพบว่าระดับของโปรตีนที่เพิ่มขึ้นในอาหารไม่ทำให้ปริมาณการกินได้ของโคเพิ่มขึ้น (Bagg et al., 1985 ; Lana et al., 1997 ; Devant et al., 2000) ส่วนระดับของพลังงานและโปรตีนไม่มีปฏิสัมพันธ์ต่อปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบ และการกินได้ของพลังงานต่อโปรตีน (Amos, 1986) ในการทดลองครั้งนี้เป็นการให้กินแบบเต็มที การกินได้จึงขึ้นอยู่กับความต้องการพลังงานของร่างกาย โดยเฉพาะสัตว์ที่กำลังเจริญเติบโตจะต้องการพลังงานสูงกว่าสัตว์ที่โตเต็มวัยแล้ว (NRC, 1996) สัตว์จะกินอาหารเพื่อปรับสมดุลของพลังงานภายในร่างกายให้สอดคล้องกับสภาพแวดล้อม และความต้องการพลังงานของตัวเอง เพราะในสภาพอากาศที่ร้อนสัตว์จะกินอาหารได้ลดลง (Brenabucci et al., 1999) อาจทำให้สัตว์ได้รับพลังงานไม่เพียงพอ ดังนั้นในสภาพอากาศร้อนอย่างในประเทศไทย การให้อาหารพลังงานสูงจึงทำให้การกินได้สูงตามไปด้วย และอาจเป็นเพราะว่าสัตว์ต้องการพลังงานบางส่วนเพื่อใช้สำหรับการระบายความร้อนที่เกิดขึ้นภายในร่างกาย จากขบวนการหมักย่อยอาหารในทางเดินอาหาร ซึ่งมักจะมีความสูงเพราะคุณภาพอาหารในประเทศเรามักมีคุณภาพต่ำ ทำให้อาหารย่อยสลายยาก ส่งผลให้เกิดความร้อนสูงตามไปด้วย และเมื่อสภาพแวดล้อมภายนอกก็มีอุณหภูมิสูงอยู่แล้ว ทำให้การระบายความร้อนยากขึ้น นอกจากนี้การกินได้ยังขึ้นอยู่กับลักษณะและคุณภาพอาหารด้วย ในการทดลองนี้ใช้ข้าวโพดในการปรับปริมาณพลังงานและใช้กากถั่วเหลืองในการปรับปริมาณโปรตีน ซึ่งทั้งข้าวโพด

และกากถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบที่ย่อยสลายได้ง่าย และอาหารสูตรที่ให้พลังงานสูงจะมีสัดส่วนของอาหารชั้นต่ออาหารหยาบสูงกว่า 60 : 40 ในขณะที่อาหารสูตรให้พลังงานต่ำ จะมีสัดส่วนของอาหารชั้นต่ออาหารหยาบต่ำกว่า 60 : 40 ทั้งนี้เมื่อมีอาหารชั้นสูงก็ย่อมมีส่วนที่ย่อยสลายได้ง่ายประกอบอยู่สูงด้วยเช่นกัน ด้วยเหตุนี้จึงทำให้จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักสามารถย่อยสลายอาหารได้ดี เพิ่มกิจกรรมและจำนวนประชากรได้เร็ว ส่งผลให้อัตราการไหลผ่านของอาหารเร็วขึ้น ซึ่งเป็นผลโดยตรงต่อปริมาณการกินได้ของอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้อง และการที่มีอาหารหยาบสูงในสูตรอาหารก็จะทำให้มีส่วนของเยื่อใยประกอบอยู่สูงด้วย ซึ่งมีผลต่อการย่อยได้ (Dado and Allen, 1996) และทำให้อาหารเต็มกระเพาะเร็ว อาหารย่อยได้ช้าเพราะว่าจุลินทรีย์เพิ่มจำนวนประชากรช้า เนื่องจากมีอาหารที่ย่อยสลายได้ง่ายอยู่น้อย ทำให้อัตราการไหลผ่านช้าลงตามไปด้วย และความจุของกระเพาะเป็นปัจจัยหลักของโคต่อการกินได้ เพราะเหตุนี้จึงทำให้ปริมาณการกินได้ต่ำลง

หากพิจารณาสัดส่วนของโปรตีนต่อพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ในอาหาร จากการทดลอง (ตารางที่ 4.2) พบว่า สัดส่วนของโปรตีนไม่มีผลต่อการกินได้ แต่จากการทดลองของ Lammers and Heinrichs (2000) พบว่าการให้อาหารที่มีโปรตีนต่อพลังงานสูงขึ้น จาก 46 : 1 ถึง 61 : 1 (g/ Mcal) จะทำให้การกินได้เพิ่มขึ้น จาก 6.42 เป็น 6.59 กรัมต่อวัน และการเพิ่มปริมาณพลังงานเป็นการเพิ่มสมดุลไนโตรเจน (Moorby et al., 2000) ในโคสาวก่อนคลอดการเพิ่มสัดส่วนของอาหารที่มีโปรตีนต่อพลังงานสูงขึ้นจะทำให้การกินได้เพิ่มขึ้น (Vandehaar et al., 1999) อาจเป็นเพราะว่าเป็นการเพิ่มความสมดุลทำให้เพิ่มการใช้ของไนโตรเจนและพลังงานในกระเพาะหมัก (Dewhurst et al., 2000) เป็นเหตุให้มีการเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ เพราะสภาพในกระเพาะหมักมีความเหมาะสมต่อการทำงาน ทำให้การย่อยได้ของอาหารดีขึ้น ในโคเล็กการกินได้จะสูงกว่าโคสาวเมื่อเปรียบเทียบกับกรกินได้ต่อน้ำหนักตัว (Deccarett et al., 1993)

ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งของโคในกลุ่มที่ได้รับพลังงาน 1.0 และโปรตีน 1.0 เท่าของ NRC (1988) มีค่าสอดคล้องกับที่มีรายงานไว้ในงานทดลองอื่นๆ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 6.2 - 6.5 กิโลกรัมต่อวัน แต่ปริมาณการกินได้ของโคในกลุ่มที่ได้รับพลังงาน 1.0 และโปรตีน 1.2 เท่าของ NRC (1988) มีค่าต่ำกว่าที่มีรายงานในงานทดลองอื่นๆ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.2 เปรียบเทียบกับ 6.6 กิโลกรัมต่อวัน (Bagg et al., 1985 ; Lammers and Heinrichs, 2000) ในขณะที่ปริมาณการกินได้ต่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวของโคกลุ่มที่ได้รับพลังงาน 1.0 และโปรตีน 1.0 หรือ 1.2 เท่าของ NRC (1988) พบว่าใกล้เคียงกับที่มีรายงานไว้ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 2.4 - 3.2 เปอร์เซ็นต์ (Bagg et al., 1985 ; Lammers and Heinrichs, 2000)

จากผลการทดลองพบว่าระดับของพลังงานและโปรตีนไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้อาหาร ทั้งนี้สอดคล้องกับงานทดลองของ Bagg et al. (1985) ที่พบว่าระดับของโปรตีนไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้อาหาร และจากการศึกษาในโคกำลังเจริญเติบโต โดยการให้อาหารที่มีโปรตีนจาก 13.5 – 17 เปอร์เซ็นต์ พบว่าไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้อาหาร (Lana et al., 1997 ; Devant et al., 2000) แต่ในขณะที่ Lammers and Heinrichs (2000) พบว่าการเพิ่มระดับของโปรตีนในอาหารทำให้ประสิทธิภาพการใช้อาหารดีขึ้น จากผลการทดลองนี้พบว่าประสิทธิภาพการใช้อาหารในโคกลุ่มที่ได้รับพลังงาน 1.0 และได้รับโปรตีน 1.0 หรือ 1.2 เท่าของ NRC (1988) มีค่าต่ำกว่าที่เคยมีรายงานในงานทดลองอื่นๆ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 6.0 – 6.7 กิโลกรัมวัตถุดิบแห้งอาหารต่อกิโลกรัมการเจริญเติบโต (Bagg et al., 1985 ; Lammers and Heinrichs, 2000)

5.3 การเจริญเติบโต

จากผลการทดลองพบว่าระดับของพลังงานและระดับของโปรตีนมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตต่อวันของโคทดลอง โดยพลังงานสูงขึ้นทำให้อัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้น (Daccarett et al., 1993) ระดับของพลังงาน 1.0 และ 1.2 เท่าของ NRC (1988) มีอัตราการเจริญเติบโตเท่ากับ 0.81 และ 0.93 กิโลกรัมต่อวัน ซึ่งมีค่าแตกต่างกันประมาณ 14.8 เปอร์เซ็นต์ ส่วนระดับของโปรตีนในอาหารไม่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของโคสาว (Devant et al., 2000 ; Lana et al., 1997) โดยระดับของโปรตีน 1.0 และ 1.2 เท่าของ NRC (1988) ไม่มีผลทำให้การเจริญเติบโตต่อวันต่างกัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.85 และ 0.9 กิโลกรัมต่อวัน โดยมีค่าแตกต่างกันประมาณ 5.9 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากโคสาวที่กำลังเจริญเติบโตจะต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตของกล้ามเนื้อและขนาดของโครงร่างกาย อาหารที่มีโปรตีนและพลังงานที่สูงขึ้นทำให้อัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้น เพราะทำให้มีการสะสมไขมันร่างกาย (Waldo et al., 1997) การที่โคกินอาหารที่มีพลังงานสูงกว่าการนำไปใช้เพื่อการดำรงชีพนั้นส่วนหนึ่งก็จะมีการเก็บสะสมเป็นไขมันในร่างกาย (Van Amburgh et al., 1998a) ส่วนหนึ่งนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและขนาดของโครงร่างกาย (Lammers et al., 1999a) ไขมันใช้เป็นพลังงานของเนื้อเยื่อ ซึ่งในเนื้อเยื่อร่างกายจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นไขมัน และส่วนที่ไม่ใช่ไขมัน เช่น โปรตีน น้ำ และ เกลือ เป็นต้น และส่วนที่เป็นไขมันนี้จะเพิ่มตามอัตราการเจริญเติบโต แต่ส่วนที่ไม่ใช่ไขมันจะมีสัดส่วนคงที่ตามอายุของสัตว์ จะไม่เพิ่มตามอัตราการเจริญเติบโต เพราะฉะนั้นโคทดลองที่กินอาหารที่องค์ประกอบของพลังงานอยู่สูงจึงทำให้เพิ่มอัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้นด้วย

5.4 การย่อยสลายของอาหารทดลองโดยวิธีใช้ถุงในลอน

การย่อยสลายวัตถุแห้งของหญ้าแห้งอุบลพาสพาล์มในการทดลองในครั้งนี้มีค่าใกล้เคียงกับการย่อยสลายของหญ้ารัฐที่มีรายงานไว้ในงานทดลองของ Boonlom cheva-Isarakul et al., 2541 (47.1 เปอร์เซ็นต์) แต่การย่อยสลายของโปรตีนในกระเพาะหมักมีค่าต่ำกว่าที่รายงานโดย พิมพาพร พลเสน และคณะ (2543) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 50.5 เปอร์เซ็นต์ เทียบกับ 65.9 เปอร์เซ็นต์ ทั้งที่คุณภาพของหญ้ารัฐก็ใกล้เคียงกับหญ้าอุบลพาสพาล์ม อาริรัตน์ ลุนผา (2542) ก็ได้มีการศึกษาการย่อยสลายได้ของหญ้าแห้งอุบลพาสพาล์มที่อายุ 45 วัน พบว่าทั้งการย่อยสลายของโปรตีนและวัตถุแห้งมีค่าสูงกว่าในงานทดลองครั้งนี้ (52.8 และ 59.3 เปอร์เซ็นต์)

การย่อยสลายของวัตถุแห้งและโปรตีนของกากถั่วเหลืองที่ได้ในงานทดลองนี้มีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับงานทดลองของ Hongerholt and Muller (1998) และ Kalscheur et al. (1999) ซึ่งมีค่าการย่อยสลายของวัตถุแห้งเท่ากับ 57.8 เปอร์เซ็นต์ เทียบกับ 72.9 และ 73.5 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าการย่อยสลายของโปรตีนเท่ากับ 52.3 เปอร์เซ็นต์ เทียบกับ 67.7 และ 67.6 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากว่ากากถั่วเหลืองเป็นอาหารแหล่งโปรตีนคุณภาพดีจากพืช หากการย่อยสลายในกระเพาะหมักต่ำก็จะเป็นแหล่งโปรตีนไหลผ่านให้กับสัตว์เป็นการเพิ่มโปรตีนดูดซึมที่ลำไส้เล็ก ทั้งนี้การย่อยสลายของอาหารคุณภาพดีโดยเฉพาะแหล่งโปรตีน เช่น ปลาป่น หรืออาหารที่ผ่านขบวนการปรับปรุงคุณภาพ เช่น corn gluten meal จะมีอัตราการย่อยสลายในกระเพาะหมักต่ำมาก (Kalscheur et al., 1998)

การย่อยสลายของวัตถุแห้งของข้าวโพดบดในการทดลองนี้มีค่าที่ต่ำกว่าที่ศึกษาโดย Kalscheur et al. (1998) แต่การย่อยสลายของโปรตีนนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน (55.9 เปอร์เซ็นต์ เทียบกับ 60.8 เปอร์เซ็นต์ และ 56.9 เปอร์เซ็นต์ เทียบกับ 56.2 เปอร์เซ็นต์)

ค่าการย่อยสลายที่ได้แตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่น คุณภาพตัวอย่างอาหาร ชนิดของอาหารที่ให้เลี้ยงโคทดลอง ปริมาณอาหาร ระยะเวลา ขนาดถุง รูปทรงถุง ตำแหน่งที่ถุงแช่ในกระเพาะหมัก การล้างถุง เป็นต้น (วิศิษฐพร สุขสมบัติ, 2541) ทั้งนี้ตัวอย่างอาหารที่มีคุณภาพสูงจะมีส่วนประกอบที่ย่อยสลายได้ง่ายอยู่สูง ก็จะส่งผลให้การย่อยสลายในกระเพาะหมักสูงตามไปด้วย (Chava-Isarakul et al., 2541) อาจเป็นเพราะว่าจุลินทรีย์มีแหล่งอาหารที่ใช้เป็นพลังงานและทำให้ขยายเพิ่มจำนวนประชากรสูงขึ้น และเพิ่มกิจกรรมการทำงานได้ดี ดังจะเห็นได้จากพืชตระกูลถั่วจะมีการย่อยสลายได้สูงกว่าพืชตระกูลหญ้า (พิมพาพร พลเสน และคณะ, 2543) เพราะพืชตระกูลถั่วจะมีส่วนที่ละลายได้ง่ายอยู่สูงกว่า และมีส่วนที่เป็นสารเยื่อใยต่ำกว่าพืชตระกูลหญ้า นอกจากนี้อายุของพืชที่เพิ่ม

ขึ้นจะทำให้พืชมีการสะสม ลิกนินเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเป็นส่วนที่จุลินทรีย์ย่อยสลายไม่ได้ และยังไม่มียาลดการย่อยได้ของสารเยื่อใยในพืชด้วย (วรพงษ์ สุริยจันทร์ทอง, 2535) ดังนั้นการย่อยได้ของอาหารหยาบจึงต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารข้น อาหารที่ใช้เลี้ยงโคเจาะกระเพาะมีผลต่อการย่อยสลายอาหารในกระเพาะหมัก ถ้าหากทำให้อาหารหยาบและอาหารข้นในสัดส่วนที่เหมาะสมแก่การทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก มีแหล่งไนโตรเจนและคาร์โบไฮเดรตที่ละลายง่ายอย่างเพียงพอ ก็จะเพิ่มขยายจำนวนจุลินทรีย์ เป็นผลให้เพิ่มการย่อยสลายอาหารได้สูงขึ้น ขนาดถุงหรือรูปทรงของถุงที่ใช้ทดลอง ถ้าถุงขนาดใหญ่ก็จะทำให้มีพื้นที่ให้จุลินทรีย์เข้าทำงานได้สะดวก และถ้าหากว่าถุงมีรูปทรงใหญ่ไปอาจจะทำให้อนุภาคอาหารหลุดลอดออกมานอกถุงได้ อนุภาคอาหารที่บดละเอียดก็จะทำให้ย่อยสลายได้สูงขึ้นเพราะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวให้จุลินทรีย์เข้าจับเกาะยึดได้ดีขึ้น

5.5 การย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุและพลังงานโดยวิธีวัดปริมาณก๊าซ

หญ้าแห้งอุบลพาสฟาล์มมีการผลิตก๊าซต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับกากถั่วเหลืองและข้าวโพด ซึ่งน่าจะเป็นเพราะว่ากากถั่วเหลืองและข้าวโพดมีโภชนะที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดีกว่าหญ้าแห้งอุบลพาสฟาล์ม โดยเฉพาะส่วนประกอบที่ละลายง่าย เช่น แป้งและน้ำตาลอยู่สูง นอกจากนี้ยังมีสารเยื่อใยต่ำกว่าด้วย และเมื่อมีปริมาณก๊าซที่ผลิตได้สูงก็จะทำให้ทำนายค่าพลังงานได้สูงตามไปด้วย

การย่อยสลายได้ของอินทรีย์วัตถุของหญ้าแห้งอุบลพาสฟาล์ม มีค่าใกล้เคียงกับการย่อยสลายได้ของพืชอาหารหยาบที่มีรายงานไว้ในงานทดลองอื่นๆ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 55.9 เปรียบเทียบกับ 56.8 และ 61 เปอร์เซ็นต์ (พิมพาพร พลเสน และคณะ, 2543 ; บุญเสริม ชีวะอิสระกุล, 2543) ส่วนพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ก็มีค่าใกล้เคียงกับงานทดลองของ พิมพาพร พลเสน และคณะ (2543) ที่ศึกษาในหญ้ารัฐซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.76 เปรียบเทียบกับ 1.91 เมกะแคลอรีต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง พลังงานสุทธิสำหรับโคให้นมที่ได้มีค่าที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารหยาบที่มีการศึกษาโดย บุญเสริม ชีวะอิสระกุล (2543) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.03 เปรียบเทียบกับ 1.5 เมกะแคลอรีต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง

พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของกากถั่วเหลือง จากงานทดลองนี้พบว่า มีค่าต่ำกว่าที่มีรายงานไว้โดย NRC (1988) (2.82 เปรียบเทียบกับ 3.29 เมกะแคลอรีต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง) และพลังงานสุทธิสำหรับโคให้นมมีค่าต่ำกว่าที่มีรายงานไว้ โดยมีค่าเท่ากับ 1.71 เปรียบเทียบกับ 1.94 และ 1.91 เมกะแคลอรีต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง (NRC, 1988 ; สมชาย จันทร์ผ่องแสง, 2541)

สำหรับข้าวโพดจากการทดลองพบว่า พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้มีค่าต่ำกว่าที่มีรายงานไว้โดย NRC (1988) คือมีค่าเท่ากับ 3.08 เปรียบเทียบกับ 3.34 เมกะแคลอรีต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง ส่วนพลังงานสุทธิสำหรับโคให้นมมีค่าใกล้เคียงกับที่มีรายงานไว้ โดยมีค่าเท่ากับ 1.94 เปรียบเทียบกับ 1.96 และ 1.87 เมกะแคลอรีต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง (NRC, 1988 ; สมชาย จันทร์ผ่องแสง, 2541) ทั้งนี้ค่าพลังงานที่ได้ต่างกันนี้อาจจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของวัตถุดิบหรือองค์ประกอบทางเคมีเป็นหลัก และเนื่องจากโดยทั่วไปแล้ววัตถุดิบอาหารสัตว์ในต่างประเทศมักจะมีคุณภาพดีกว่า อาจจะเป็นผลให้จุลินทรีย์ใช้ประโยชน์ได้สูงมีการผลิตก๊าซได้สูงทำให้ค่าที่ประเมินได้สูงตามไปด้วย

หากเมื่อนำปริมาณพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้จากการประเมินได้ในแต่ละวัตถุดิบอาหารสัตว์ทั้ง 3 ชนิดนี้มาคำนวณหาพลังงานในสูตรอาหารทดลองทั้ง 4 กลุ่มอาหารที่โคได้รับ (ตารางที่ 5.1) พบว่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ ที่โคได้รับจะมีค่าต่ำกว่าการประเมินจากโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (TDN) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.2 แต่อย่างไรก็ตามค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ พลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ และเพื่อการเจริญเติบโตที่ประเมินได้โดยวิธีวัดปริมาณก๊าซนี้ก็มีค่าสอดคล้องกับความต้องการของโคสาวที่อายุประมาณ 12 เดือน ซึ่งแนะนำโดย NRC (1988) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.47, 1.58 และ 0.98 เมกะแคลอรีต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง ตามลำดับ อาจเป็นเพราะว่าค่าหรือ Factors ที่ใช้ในการประเมินพลังงานโดยวิธีวัดปริมาณก๊าซนั้นเป็นค่าที่พัฒนาขึ้นโดยชาวต่างประเทศซึ่งพบว่าโดยส่วนใหญ่แล้ววัตถุดิบอาหารสัตว์มักจะมีคุณภาพสูงกว่าในประเทศไทย จึงทำให้ค่าที่ประเมินได้ต่ำกว่าที่ควรจะเป็น และเมื่อนำมาคำนวณประกอบสูตรอาหารได้ค่าพลังงานที่ต่ำกว่าการประเมินโดยวิธีคำนวณจากโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด

5.6 ความต้องการพลังงานของโคสาว

ความต้องการพลังงานสุทธิของโคสาวนั้น สามารถแยกออกได้ 2 อย่าง คือพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ และพลังงานสุทธิเพื่อการเจริญเติบโต ความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพของสัตว์เคี้ยวเอื้อง ส่วนใหญ่จะนำไปใช้ในการทำงานของเซลล์และกิจกรรมต่างๆ ภายในร่างกาย เช่น การกินอาหาร การนอน การหายใจ การเดิน และพฤติกรรมต่างๆ ของสัตว์ รวมทั้งใช้ในกระบวนการหมักย่อยอาหารในกระเพาะหมัก ซึ่งกิจกรรมต่างๆ เหล่านี้ล้วนต้องใช้พลังงานทั้งนั้น และผลที่ได้จากการใช้พลังงานในร่างกาย แล้วจะกลายเป็นความร้อน และร่างกายก็ต้องการพลังงานส่วนหนึ่งที่จะต้องใช้ในการระบายความร้อนที่เกิดขึ้นนี้ออกนอกร่างกายอยู่อย่างสม่ำเสมอ เพื่อรักษาอุณหภูมิของร่างกายให้

คงที่ โดยปกติทั่วไปแล้วพลังงานที่สัตว์ได้รับนั้นจะถูกใช้เพื่อการดำรงชีพก่อนแล้วที่เหลือก็จะเป็นพลังงานที่เก็บกักหรือสำรองไว้ในร่างกายหรือที่เรียกว่า พลังงานสุทธิเพื่อการเจริญเติบโต ซึ่งสัตว์ต้องการใช้เพื่อเพิ่มขนาดของโครงร่างกาย น้ำหนักตัว และอัตราการเจริญเติบโต ถ้าหากว่าสัตว์ได้รับพลังงานสูงกว่าการดำรงชีพมากๆ แล้วสัตว์จะเก็บกักพลังงานไว้ในรูปของไขมันร่างกาย (Fox et al., 1999) และจะถูกนำมาใช้เมื่อจำเป็นในกรณีที่สัตว์ขาดพลังงาน หรือขาดอาหาร

ตารางที่ 5.1 การคำนวณพลังงานในอาหารทดลองที่โคได้รับ โดยการใช้ปริมาณพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบอาหารสัตว์แต่ละชนิดในสูตรอาหารที่ได้จากการประเมินพลังงานโดยวิธีวัดปริมาณก๊าซ

กลุ่ม (Treatment)	1	2	3	4
พลังงาน (เท่าของ NRC, 1988) (E)	1.0	1.0	1.2	1.2
โปรตีน (เท่าของ NRC, 1988) (P)	1.0	1.2	1.0	1.2
การกินได้ (Mcal/ kg DM)^{1/}				
พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (ME)	2.37	2.38	2.48	2.48
พลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (NE _M)	1.49	1.50	1.59	1.59
พลังงานสุทธิเพื่อการเจริญเติบโต (NE _G)	0.90	0.91	0.99	0.99

^{1/} การคำนวณแสดงในภาคผนวก (ก)

จากผลการทดลอง พบว่าความต้องการพลังงานของโคทดลองในกลุ่มที่ศึกษานี้สูงกว่า NRC (1988) แนะนำในทุก Treatment จากผลการประเมินพบว่าพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพที่กินได้สูงกว่า NRC (1988) อาจเป็นเพราะว่า ในประเทศเรามีสภาพอากาศที่ร้อน สัตว์จะต้องมีการปรับตัว ปรับอุณหภูมิของร่างกายให้คงที่อยู่เสมอ และความร้อนที่เกิดขึ้นจากการทำงานของร่างกายต้องเป็นภาระให้กับร่างกายที่จะต้องกำจัดออกไป และอาจต้องการพลังงานสูงกว่าเพื่อระบายความร้อนออกจากร่างกายเมื่อสภาพแวดล้อมมีอุณหภูมิสูงอยู่แล้ว ในขณะที่ในประเทศที่อากาศหนาวสัตว์ก็ต้องการพลังงานเพื่อสร้างความอบอุ่นแก่ร่างกาย ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นจากการทำงานภายในร่างกาย ก็ไม่จำเป็นต้องระบายออก ด้วยเหตุนี้จึงอาจเป็นสาเหตุให้โคที่เลี้ยงในเขตร้อนต้องใช้พลังงานเพื่อการดำรงชีพสูงกว่าโคที่เลี้ยงในเขตอบอุ่น นอกจากนี้อาหารที่ให้เลี้ยงโคก็มีผลเพราะโดยปกติแล้วอาหารสัตว์ในเขตร้อนจะมีคุณภาพต่ำกว่าในประเทศเขตอบอุ่น (Minson, 1980) โดยเฉพาะพืชอาหารสัตว์ จะมีสารเยื่อใยที่ย่อยได้ยาก

เป็นองค์ประกอบอยู่สูงกว่า เป็นเหตุให้สัตว์ต้องใช้พลังงานในการหมักย่อยสูงกว่า และในขบวนการหมักย่อยจะทำให้เกิด ความร้อนสูง และ เกิดก๊าซมีเทนสูงด้วย จะทำให้มีการสูญเสียพลังงานส่วนนี้ไปสูงกว่า ในส่วนของพลังงานสุทธิเพื่อการเจริญเติบโตที่ต้องการสูงกว่า NRC (1988) นั้นอาจเป็นเพราะโคทดลองที่ใช้เป็นโคลูกผสม และมีอัตราการเจริญเมื่อเปรียบเทียบกับโคพันธุ์แท้ที่เลี้ยงในต่างประเทศแล้วมักจะเจริญเติบโตต่ำกว่าและน้ำหนักโตเต็มวัยก็น้อยกว่าด้วย จึงทำให้ต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการเจริญเติบโตที่สูงกว่า (NRC, 1996) และสัตว์ที่เจริญเติบโตสูงจะต้องการพลังงานสูงด้วย

ในการทดลองนี้ ในการประเมินพลังงานโดยเชื่อว่าโคทดลองต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพและเพื่อการเจริญเติบโตไม่เท่ากับที่แนะนำโดย NRC (1988) ดังนั้นความต้องการวัตถุดิบสำหรับการดำรงชีพและสำหรับการเจริญเติบโตก็ต้องไม่เท่ากับ NRC (1988) ด้วย แต่ในขณะที่ NRC (1996) พบว่าโคสาวที่มีน้ำหนักตัวโตเต็มวัยสูงจะต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการเจริญเติบโตต่ำกว่าโคสาวที่มีน้ำหนักโตเต็มวัยต่ำ แต่ความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพไม่ต่างกัน นั่นแสดงว่าโคทดลองซึ่งเป็นโคลูกผสมและมีน้ำหนักโตเต็มวัยต่ำกว่าโคในต่างประเทศก็น่าจะมีความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการเจริญเติบโตไม่เท่ากับ NRC (1988) ดังได้กล่าวมาแล้ว แต่ถ้าพิจารณาในอีกแง่ก็เชื่อว่าพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพของโคในเขตร้อนน่าจะสูงกว่าโคในเขตอบอุ่นดังได้กล่าวมาแล้ว ในขณะที่พลังงานสุทธิเพื่อการเจริญเติบโตของโคน่าจะเท่ากัน เพราะว่าจะใช้พลังงานเท่ากันในการใช้เพื่อเพิ่มน้ำหนัก 1 กิโลกรัม (Australian Agricultural Council; AAC, 1990) ดังนั้นในการคำนวณหาความต้องการพลังงานในอาหารที่โคได้รับจึงน่าจะพิจารณาแยกออกเป็น 3 กรณี คือ 1) เชื่อว่าโคต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพและเพื่อการเจริญเติบโตไม่เท่ากับ NRC (1988), 2) เชื่อว่าโคต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการเจริญเติบโตเท่ากับ NRC (1988) แต่ต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพไม่เท่ากับ NRC (1988), 3) เชื่อว่าโคต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพเท่ากับ NRC (1988) แต่ต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการเจริญเติบโตไม่เท่ากับ NRC (1988) ผลที่ได้ปรากฏในตารางที่ 5.2

จะเห็นได้ว่าความต้องการพลังงานที่ได้สูงกว่า NRC (1988) ทั้ง 2 กรณี โดยกรณีที่ให้พลังงานสุทธิเพื่อการเจริญเติบโตเท่ากับ NRC (1988) จะพบว่าโคมีความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพสูงกว่า ซึ่งสามารถปรับค่า Factors สำหรับคำนวณหาพลังงานได้ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0946 ซึ่งสูงกว่า NRC (1988) ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ในกรณีที่ให้พลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพเท่ากับ NRC (1988) จะได้ว่าโคมีความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการเจริญเติบโตสูงกว่า ซึ่งสามารถปรับค่า Factors ที่ใช้สำหรับการคำนวณหาพลังงานสุทธิเพื่อการเจริญเติบโตได้ และมีค่าเฉลี่ยเท่า 0.0516 ซึ่งสูงกว่า NRC (1988) ประมาณ 14.7 เปอร์เซ็นต์ ค่า Factors สำหรับคำนวณหาพลังงานสุทธิเพื่อการเจริญเติบโต ที่สูง

กว่า NRC (1988) นี้ สอดคล้องกับงานทดลองของ Chava-Isarakul and Promma (2541) ที่ได้ศึกษาความต้องการพลังงานของโคสาวลูกผสม น้ำหนักประมาณ 175 กิโลกรัม ก็พบว่าโคสาวมีความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการเจริญเติบโตสูงกว่า NRC (1988) โดยได้ค่า Factors เฉลี่ยเท่า 0.0767

ตารางที่ 5.2 การประเมินพลังงานในอาหารของโคทั้ง 4 กลุ่ม และความต้องการปริมาณวัตถุดิบสำหรับการดำรงชีพและสำหรับการเจริญเติบโต ของโคที่ได้รับพลังงานและโปรตีนในระดับต่างๆ

กลุ่ม (Treatment)	1	2	3	4
พลังงาน (เท่าของ NRC, 1988) (E)	1.0	1.0	1.2	1.2
โปรตีน (เท่าของ NRC, 1988) (P)	1.0	1.2	1.0	1.2
กรณีที่ 1 ^{1/2/}				
การกินได้วัตถุดิบสำหรับการดำรงชีพ (kg/d)	3.39	3.32	3.65	3.24
การกินได้วัตถุดิบสำหรับการเจริญเติบโต (kg/d)	2.99	2.91	3.33	3.73
กรณีที่ 2 ^{1/}				
การกินได้วัตถุดิบสำหรับการดำรงชีพ (kg/d)	3.41	3.36	4.10	3.34
การกินได้วัตถุดิบสำหรับการเจริญเติบโต (kg/d)	2.97	2.87	2.88	3.63
พลังงานสุทธิเพื่อการเจริญเติบโต (NE _G)	5.90	5.81	7.5	6.15
Factors	0.0868	0.0880	0.1119	0.0918
กรณีที่ 3 ^{1/}				
การกินได้วัตถุดิบสำหรับการดำรงชีพ (kg/d)	3.36	3.27	3.15	3.15
การกินได้วัตถุดิบสำหรับการเจริญเติบโต (kg/d)	3.02	2.96	3.83	3.82
พลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (NE _M)	3.38	3.29	4.60	4.62
Factors	0.0463	0.0468	0.0647	0.0485

^{1/} การคำนวณแสดงในภาคผนวก (ก)

^{2/} การกินได้ของพลังงานแสดงในตารางที่ 4.7

5.7 ความต้องการโปรตีนของโคสาว

จากผลการทดลอง พบว่าความต้องการโปรตีนสูงกว่า NRC (1988) แนะนำ ในทุกกลุ่มทดลอง เพราะโคทดลองกินอาหารที่มีโปรตีนได้สูงกว่าความต้องการของตัวโคเองที่คำนวณได้จาก NRC (1988) ประมาณ 38.6 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผลอันนี้สอดคล้องกับงานทดลองของ Chava-Isarakul and Promma (2541) ที่ได้มีการศึกษาในโคสาวลูกผสม พบว่ามีความต้องการโปรตีนสูงกว่า NRC (1988) แนะนำประมาณ 28 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เพราะโคสาวยังต้องมีการเจริญเติบโตของกล้ามเนื้อทำให้ต้องการโปรตีนสูง ในโคกลุ่มที่ 2 และ 4 กินโปรตีนได้สูงกว่ามาก อาจเป็นเพราะว่าได้รับอาหารที่มีโปรตีนสูง 1.2 เท่าของ NRC (1988) แต่จากการทดลองกินได้จริงเพียง 1.18 เท่าของ NRC (1988) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเกินความต้องการของโค และความต้องการของโปรตีนขึ้นอยู่กับพลังงานด้วย ดังจะเห็นได้จากเมื่อระดับพลังงานสูงขึ้นการกินได้ของโปรตีนทุกชนิดมีแนวโน้มลดลง ในกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนในระดับเดียวกัน

หากพิจารณาความต้องการโปรตีนหยาบและโปรตีนดูดซึมที่คำนวณตาม NRC (1988) พบว่าระดับของพลังงานมีผลต่อความต้องการโปรตีน โดยที่พลังงาน 1.0 เท่าของ NRC (1988) จะต้องการโปรตีนหยาบ และโปรตีนดูดซึมเป็น 622 และ 472 กรัมต่อวัน ถ้าโคได้รับพลังงาน 1.2 เท่าของ NRC (1988) มีค่าเท่ากับ 579 และ 435 กรัมต่อวัน ตามลำดับ เพราะเมื่อโคได้รับอาหารที่มีพลังงานสูงโคจะมีการสะสมเป็นไขมันสูงขึ้นด้วย ทำให้มีการสะสมโปรตีนต่ำลง (Fox et al., 1999) ในขณะเดียวกันกลุ่มโคทดลองที่ได้รับโปรตีนต่ำจะทำให้โคได้รับโปรตีนดูดซึมไม่เพียงพอกับความต้องการซึ่งขาดประมาณ 10.4 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่โคกลุ่มได้รับอาหารที่มีโปรตีนสูงกลับได้รับโปรตีนดูดซึมเกินความต้องการประมาณ 16.2 เปอร์เซ็นต์ อาจเป็นเพราะว่าโปรตีนดูดซึมของสัตว์มาจาก 2 แหล่ง คือ จากโปรตีนไหลผ่าน และจากจุลินทรีย์ที่ผ่านลงไปที่ลำไส้เล็ก และโคทดลองกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนต่ำ จะมีโปรตีนไหลผ่านน้อยกว่าโคกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนสูง

ถ้าระดับพลังงานคงที่ระดับโปรตีนที่กินได้มีผลกระทบต่อการเมตาบอลิซึมของพลังงานกล่าวคือ ถ้าโปรตีนในอาหารต่ำจะทำให้การกินได้ถูกจำกัด เพราะกิจกรรมของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักลดลง อัตราความเร็วในการย่อยสลายอาหารจึงลดลง ถ้าสัตว์กินอาหารที่มีองค์ประกอบของโปรตีนสูงเกินความเหมาะสมแล้ว จะมีผลทำให้ความสมดุลพลังงานลดลง จุลินทรีย์ก็จะนำเอาแอมโมเนียไปใช้ประโยชน์ได้ไม่หมด และการมีโปรตีนที่ละลายได้ต่ำในกระเพาะหมัก จะทำให้การย่อยสลายของวัตถุแห้ง และแข็งในกระเพาะหมักลดลง (Amos, 1986)

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองในโคนมสาวลูกผสมที่ให้อาหารที่มีพลังงานและโปรตีนเท่ากับ และสูงเกินกว่าที่ NRC (1988) แนะนำ คือ 1.0 และ 1.2 เท่าของ NRC (1988) พบว่า ระดับพลังงานที่ให้ให้มีผลต่อปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบและ อัตราการเจริญเติบโตของโคทดลอง ส่วนระดับโปรตีนที่ให้ให้มีผลทำให้ปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบและอัตราการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่าระดับของพลังงานและโปรตีนไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้อาหาร และไม่ทำให้โคนมมีน้ำหนักเฉลี่ยตลอดการทดลองแตกต่างกันแต่อย่างใด ทั้งนี้พบว่า ไม่มีปฏิสัมพันธ์ของระดับของพลังงานและระดับของโปรตีนต่ออัตราการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร น้ำหนักโค และปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบในโคทดลอง แต่อย่างไรก็ตาม จากผลการทดลองปริมาณการกินได้จริงของพลังงานและโปรตีนของโคในการทดลองนี้ พบว่าโคในกลุ่มที่ได้รับโภชนะสูงกว่า NRC (1988) จะกินโภชนะในรูปของพลังงานและโปรตีนได้ต่ำกว่าที่กำหนดไว้ในสูตรอาหาร โดยจะเห็นได้จากโคในการทดลองนี้ จะกินพลังงานได้เท่ากับ 1.04 และ 1.18 เท่าของ NRC (1988) ส่วนโปรตีนโคจะกินได้เท่ากับ 1.00 และ 1.18 เท่าของ NRC (1988) จากผลการทดลองการกินได้ของพลังงานและโปรตีนสรุปได้ว่า โคที่ได้รับพลังงาน 1.18 และได้รับโปรตีน 1.00 หรือ 1.18 เท่าของ NRC (1988) จะให้อัตราการเจริญเติบโตสูง แต่เนื่องจากการให้อาหารที่มีโปรตีน 1.18 เท่าของ NRC (1988) จะเป็นการเพิ่มต้นทุนการเลี้ยงโคสาว เพราะอัตราการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกันกับการให้อาหารที่มีโปรตีน 1.00 เท่าของ NRC (1988)

ความต้องการพลังงานของโคสาว จากผลการทดลองพบว่า โคมีความต้องการพลังงานสูงกว่า NRC (1988) แนะนำไว้ เนื่องจากว่าโคกินอาหารที่มีพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพและเพื่อการเจริญเติบโตสูงกว่า ความต้องการในตัวของโคที่คำนวณได้จาก NRC (1988) โดยโคกลุ่มที่ได้รับพลังงาน 1.04 และ 1.18 NRC (1988) จะทำให้โคได้รับพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพสูงเกินความต้องการประมาณ 1.14 และ 9.28 เปอร์เซ็นต์ สำหรับพลังงานสุทธิเพื่อการเจริญเติบโตโคกินได้สูงกว่าความต้องการที่คำนวณได้จาก NRC (1988) แนะนำประมาณ 0.93 และ 9.34 เปอร์เซ็นต์

ส่วนประสิทธิภาพการใช้พลังงานพบว่า จะมีประสิทธิภาพสูงในโคกลุ่มที่ได้รับพลังงาน 1.04 เท่าของ NRC (1988) ซึ่งมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานมีค่าเท่ากับ 0.99 และในขณะเดียวกันโคกลุ่มที่ได้รับพลังงาน 1.18 เท่าของ NRC (1988) จะมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพียง 0.92

เนื่องจากผลการทดลองที่ได้พบว่าโคกินพลังงานได้สูงกว่าความต้องการของโคที่คำนวณได้จากที่ NRC (1988) แนะนำไว้ นั่นแสดงว่า Factors ที่ใช้ในการคำนวณหาพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพและเพื่อการเจริญเติบโต สำหรับโคทดลองกลุ่มนี้ก็ต้องสูงกว่า NRC (1988) แนะนำ โดยจากผลการทดลองได้ค่า Factors ที่ใช้คำนวณพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.0904 และสำหรับพลังงานสุทธิเพื่อการเจริญเติบโตมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0482

ความต้องการพลังงานของโคสาวลูกผสมในการทดลองนี้สรุปได้ว่าโคสาวลูกผสมมีความต้องการพลังงานสูงกว่า 1.0 แต่ต่ำกว่า 1.2 เท่าของ NRC (1988) แนะนำ

ความต้องการโปรตีนของโคสาว จากผลการทดลองพบว่า โคมีความต้องการโปรตีนหยาบและโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมักจะมีค่าสูงกว่าที่ NRC (1988) แนะนำไว้ เพราะโคทดลองกินอาหารที่มีโปรตีนดังกล่าวสูงกว่าความต้องการโปรตีนของตัวโคที่คำนวณได้จาก NRC (1988) ทั้งนี้ในโคกลุ่มที่ได้รับโปรตีน 1.00 และ 1.18 เท่าของ NRC (1988) จะได้รับโปรตีนหยาบเกินความต้องการของโค ประมาณ 28.6 และ 49 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมักได้รับจากอาหารสูงเกินความต้องการประมาณ 55.7 และ 135 เปอร์เซ็นต์ ของโคที่ได้รับโปรตีน 1.00 และ 1.18 NRC (1988) ตามลำดับ สำหรับโปรตีนดูดซึม พบว่าในโคกลุ่มที่ได้รับโปรตีน 1.18 เท่าของ NRC (1988) จะได้รับโปรตีนดูดซึมสูงเกินกว่าความต้องการของโคประมาณ 16.2 เปอร์เซ็นต์ แต่ในขณะเดียวกันโคกลุ่มที่ได้รับโปรตีนในปริมาณเท่ากับ NRC (1988) แนะนำ จะได้รับโปรตีนดูดซึมต่ำกว่าที่โคต้องการประมาณ 9.4 เปอร์เซ็นต์ นั่นแสดงว่าโคสาวกลุ่มที่ใช้ในการทดลองนี้ต้องการโปรตีนหยาบสูงกว่า NRC (1988) แนะนำ แต่ต้องการต่ำกว่า 1.2 เท่า NRC (1988) ที่แนะนำ

พลังงานมีแนวโน้มว่าจะมีผลต่อความต้องการโปรตีนของโคทดลอง พบว่า ระดับพลังงานสูงขึ้นทำให้ความต้องการโปรตีนมีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับระดับโปรตีนที่ให้ในระดับเท่ากัน

ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาหาความต้องการพลังงานและโปรตีนของโคสาวลูกผสม ในการทดลองครั้งนี้จำเป็นต้องแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ช่วง เพราะเนื่องจากว่าสัตว์ทดลองมีจำนวนจำกัด ซึ่งอาจจะทำให้ผลการทดลองที่ได้เกิดความแตกต่างกันบ้างในการทดลองแต่ละครั้ง ถึงแม้ว่าในการทดลองนี้ความแตกต่างที่เกิดขึ้นจะไม่สูงพอที่จะทำให้ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเกิดความแตกต่างกันก็ตาม ทั้งนี้การทดลองในเวลาที่แตกต่างกัน ก็มีผลทำให้สภาพแวดล้อมต่างกัน โดยเฉพาะอุณหภูมิ ซึ่งมีผลโดยตรงต่อปริมาณการกินได้ของสัตว์ทดลอง เพราะฉะนั้นถ้าหากเป็นไปได้การทดลองควรที่จะดำเนินการภายใต้สภาวะแวดล้อมเดียวกันจะได้ลดความแปรปรวนที่อาจเกิดขึ้นจากสภาพแวดล้อม

เนื่องจากว่า การทดลองนี้ศึกษาความต้องการพลังงานและโปรตีน โดยกำหนดให้อาหารที่มีโภชนะสูงกว่า NRC (1988) แนะนำ ดังนั้นจึงทำให้สูตรอาหารทดลองนั้นมีสัดส่วนของอาหารหยาดต่ออาหารข้นต่ำลง และจากการทดลองก็พบว่า ทำให้โคมีอาการกีบอีกเสบถึง 3 ตัว จากการทดลองทั้ง 2 ครั้ง (24 ตัว) ซึ่งมีผลต่อการเก็บข้อมูลการกินของการทดลองได้ เพราะสัตว์ป่วยจะกินอาหารลดลง ดังนั้นหากมีการศึกษาครั้งต่อไปในลักษณะนี้อีก ควรที่จะมีการเสริมสารปรับสภาพในสูตรอาหารด้วย เพื่อป้องกันการเกิดภาวะความเป็นกรดสูงในกระเพาะหมัก และเพื่อปรับสมดุลความเป็นกรด-ด่างภายในกระเพาะหมัก อันจะมีผลต่อสุขภาพของสัตว์ทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้ในครั้งนี้ พบว่า โคสาวลูกผสมมีความต้องการพลังงานและโปรตีนสูงกว่า NRC (1988) แนะนำ และสามารถหาค่า factor สำหรับคำนวณหาพลังงานเพื่อการดำรงชีพและการเจริญเติบโต แต่ในการที่จะนำไปใช้ควรระวังเพราะค่าที่ได้นี้ ได้จากการทดลองของโคในกลุ่มนี้เท่านั้น เพราะฉะนั้นการที่จะนำค่า factor เหล่านี้ไปใช้ควรจะมีการศึกษาทดลองในลักษณะนี้หลายๆ ครั้ง เพื่อให้ได้ค่า factor ที่เหมาะสมยิ่งขึ้น และในการทดลองครั้งนี้ใช้ระดับการศึกษาเพียง 2 ระดับ คือ 1.0 และ 1.2 เท่าของ NRC (1988) และทราบว่าโคต้องการโภชนะสูงกว่า NRC (1988) แต่ไม่เกิน 1.2 เท่าของ NRC (1988) แต่ไม่ทราบว่าต้องการจริงๆ เท่าไหร่ อาจจะเป็น 1.5 หรือ 1.6 เท่าของ NRC (1988) แต่เราไม่ได้ศึกษา ดังนั้นการทดลองหาความต้องการของพลังงานและโปรตีนควรจะมีการศึกษาให้มากกว่านี้ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องและสามารถนำมาใช้ได้จริงกับโคสาวลูกผสมในประเทศไทยต่อไป เพื่อให้ได้ผลผลิตที่ดีและประหยัดอาหารในส่วนที่ให้เกิดความต้องการของโค ซึ่งน่าจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งกับเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมในบ้านเรา

เอกสารอ้างอิง

กรมปศุสัตว์. (2542). สถิติข้อมูลการปศุสัตว์ปี 2542, ข้อมูลพื้นฐานการปศุสัตว์ (ออนไลน์) ได้จาก :

[http:// WWW.dld.go.th/DLD_Web/yearly/stat_dat.html](http://WWW.dld.go.th/DLD_Web/yearly/stat_dat.html).

จินดา สนิทวงศ์ฯ, เฉลิมพล บุญเจือ และสมจิตร อินทรมณี. (2543). การใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มเป็นแหล่งโปรตีน ในสูตรอาหารสำหรับโครีดนม. ใน รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2543 หน้า 120-129. กรุงเทพฯ : กองอาหารสัตว์.

ดำรง ลีนาบุญ. (2541). รากปัญหาของการพัฒนาการเลี้ยงโคนม. วารสารโคนม. มกราคม ถึง กุมภาพันธ์

บุญล้อม ชีวะอิสระกุล, เสาวลักษณ์ เข้มหมื่นอาจ, จันทนา น่วมนวล และไกรสิทธิ์ วสุเพ็ญ. (2541). การทำนายคุณค่าทางอาหารของฟางข้าว หญ้ารูชี และใบกระถินที่นิยมใช้เลี้ยงโคนมด้วยวิธีใช้ถุงไนล่อน. ใน ผลงานวิจัย การหาความต้องการโภชนะของโคนมไทย. โดย สกว. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 1: 1-15.

บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. (2541). โภชนศาสตร์สัตว์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ : ชนบรรณการพิมพ์.

บุญเสริม ชีวะอิสระกุล. (2541). โครงการ การผลิตและใช้ข้าวโพดหมักคุณภาพดีในสูตรอาหารผสมครบส่วน และความต้องการโภชนะของโคให้นมสูง. รายงานความก้าวหน้า ครั้งที่ 3, 1 ตุลาคม ถึง 31 มีนาคม 2543. เสนอต่อสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

พิมพ์พร พลเสน, ราไพ ใจเที่ยง, ทวีศักดิ์ ชื่นปรีชา, โตโมยูกิ คาวาชิมา และ วัชรินทร์ บุญภักดี. (2543). การศึกษาคุณค่าทางโภชนาของพืชตระกูลถั่วยืนต้น 3 ชนิด โดยวิธีการต่างๆ กัน. ใน รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2543. หน้า 167-183. กรมปศุสัตว์ กรุงเทพฯ : กองอาหารสัตว์.

เมตตา แสงคำ. (2543). อิทธิพลของน้ำท่วมขัง วิธีการปลูก ความสูงและความถี่ในการตัดต่อผลผลิต และคุณภาพหญ้าอุบลพาสฟาล์ม. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต(เกษตรศาสตร์). สาขาพืชไร่ ภาควิชาพืชไร่, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 120 หน้า. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- เมธา วรรณพัฒน์. (2533). โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. ภาควิชาสัตวศาสตร์, คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ของแก่น : พันธุ์พืชบลิขซึ่ง.
- เมธา วรรณพัฒน์. (2538). ผลของการใช้โปรตีนและไขมันไม่ย่อยสลายในรูเมนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตน้ำนม. วารสารโคนม. 5 : 43-53.
- ไมเคิล แฮร์, วรพงษ์ สุริยจันทร์ราทอง, กังวาน ธรรมแสง, กิตติ วงศ์พิเชษฐ, ฉายแสง ไข่แก้ว และ ประพนธ์ บุญเจริญ. (2540). พืชอาหารสัตว์สำหรับพื้นที่น้ำท่วมขังในฤดูฝน, พื้นที่แห้งแล้งในฤดูแล้ง, ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ, ลักษณะดินแบบดินร่วนปนทราย, สำหรับฟาร์มโคนม. รายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 5 , ต่อสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 1 มิถุนายน ถึง 30 พฤศจิกายน 2540. 44 หน้า. อุบลราชธานี : คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- ไมเคิล แฮร์, กังวาน ธรรมแสง, วรพงษ์ สุริยจันทร์ราทอง, กิตติ วงศ์พิเชษฐ, สุรัชย์ สุวรรณดี, ประพนธ์ บุญเจริญ, วันชัย อินทิแสง และ ฉายแสง ไข่แก้ว. (2543a). ระบบการจัดการพืชอาหารสัตว์ที่ยั่งยืนสำหรับเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. รายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 1 ต่อสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 1 พฤศจิกายน 2542 ถึง 30 เมษายน 2543. 20 หน้า. อุบลราชธานี : คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- ไมเคิล แฮร์, กังวาน ธรรมแสง, วรพงษ์ สุริยจันทร์ราทอง, กิตติ วงศ์พิเชษฐ, สุรัชย์ สุวรรณดี, ประพนธ์ บุญเจริญ, วันชัย อินทิแสง และ ฉายแสง ไข่แก้ว. (2543b). ระบบการจัดการพืชอาหารสัตว์ที่ยั่งยืนสำหรับเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. รายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 2 ต่อสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 1 พฤษภาคม ถึง 31 ตุลาคม 2543, 30 หน้า. อุบลราชธานี : คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- วรพงษ์ สุริยจันทร์ราทอง. (2535). เชื้อใยในอาหารสัตว์. เอกสารประกอบการสอน วิชาโภชนศาสตร์สัตว์, คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- วิศิษฐ์พร สุขสมบัติ. (2538). การประเมินค่าการย่อยสลายโปรตีนในกระเพาะหมักของสัตว์เคี้ยวเอื้องโดยวิธีการใช้ถุงไนลอน. วารสารเทคโนโลยีสุรนารี. 5 : 38-50.
- วิศิษฐ์พร สุขสมบัติ. (2541). โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. เอกสารประกอบการสอนวิชาโภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- วิศิษฐ์พร สุขสมบัติ. (2542). Energy and protein requirement of dairy cows. เอกสารประกอบการสอนวิชาโภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

- สมคิด พรหมมา ,พัชรินทร์ จินกล้า และ ธวัชชัย อินทรกุล. (2533). การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สัดส่วนอาหาร XRATION สำหรับโคนม. รายงานผลงานวิจัยสาขาผลิตปศุสัตว์ประจำปี 2533 . กรุงเทพฯ : กรมปศุสัตว์.
- สมชาย จันทรผ่องแสง. (2541). การเลี้ยงโคนม. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สหทยา ทรัพย์รอด และ พัชรินทร์ สนธิไพโรจน์. (2543). ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตกับการให้ผลผลิตน้ำนม และปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อลักษณะทางเศรษฐกิจบางลักษณะระยะให้นมครั้งแรกของโคพันธุ์โฮลสไตน์สายเลือดแคนาดา. วารสารวิชาการปศุสัตว์เขต 5. 2 (2) : 25-37.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2542). สถานการณ์สัตว์เศรษฐกิจ, โคนม (ออนไลน์) ได้จาก : http://WWW.Ucomthai.com/benny/06_agriculture/in_agricultural/sub_agricultural.html.
- สุรัช ชาศิริรัตน์. (2541). การผลิตโค – กระบือ. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อารีรัตน์ ลุนหา. (2543). การศึกษาการย่อยได้ของพืชอาหารสัตว์ 4 ชนิด โดยวิธีการใช้ถุงไนลอนปัญหาพิเศษสาขาสัตวศาสตร์. วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เกษตรศาสตร์) คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- Agricultural Research Council. (1980). **The nutrient requirements of ruminant livestock.** Commonwealth Agricultural Bureaux. 351.p Surrey : The Gresham Press.
- Agricultural Research Council. (1984). **The nutrient requirements of ruminant livestock.** (Supplement) Commonwealth Agricultural Bureaux. Surrey : The Gresham Press.
- Amos, H. E. (1986). Influence of dietary protein degradability and energy concentration on growth of heifers and steers and intraruminal protein metabolism. **Journal of Dairy Science.** 69 : 2099-2110.
- Amstrong, D. G. (1964). Evaluation of artificially dried grass as a source of energy for sheep. **Journal of Agricultural Science.** 62 :399-417.
- Andrews, S.M., Tyrrell, H.F., Reynolds, C.K. and Edeman. (1991). Net energy for lactation of calcium soaps of long-chain fatty acids for cows fed silage-based diets. **Journal of Dairy Science.** 74 : 2588.
- AOAC. (1990). **Official Methods of Analysis.** 15th Ed. Virginia, USA : AOAC.
- Australian Agricultural Council (AAC). (1990). **Feeding standards for Australian livestock ruminant.** 266 p. Victoria, Australia : Print Advisory Service Melbourne.

- Bagg, J. G., Grieve, D. G., Burton, J. H. and Stone, J. B. (1985). Effects of protein on growth of Holstein heifers calves at 2 to 10 months. **Journal of Dairy Science**. 68 : 2929-2959.
- Bernabucci, U., Bani, P., Ronchi, B., Lacetera, N. and Nardone, A. (1999). Influence of short- and long-term exposure to a hot environment on rumen passage rate and diet digestibility by Friesian heifers. **Journal of Dairy Science** 82(5) : 967-973.
- Blummel, M. and Ørskov, E.R. (1993). Comparison of *in vitro* gas production and nylon bag degradability of roughages in predicting feed intake in cattle. **Journal of Animal Feed Science and Technology**. 40 : 109-119.
- Blummel, M., Makkar, H. P. S. and Becker, K. (1997). In vitro gas production : a technique revisited. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**. 77: 24-34.
- Bunting, L. D., Fernandez, J. M., Fornea, R. J., White, T. W., Froetsehel, M. A., Stone, J. D. and Ingawa, K. (1996). Seasonal effects of supplemental fat or undegradable protein on the growth and metabolism of Holstein calves. **Journal of Dairy Science**. 79(9) : 1611-1620.
- Butler, W. R. (1998). Effect of ptoein nutrition on ovarian and uterine physiology in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**. 81 : 2533-2539.
- Butterworth, M. H. (1964). The digestible energy content of some tropical forages. **Journal of Agricultural Science**. 63:319.
- Calsamiglia, S., Ferret, S., Plaixats, A.J. and Devant, M. (1999). Effect of pH and pH fluctuations on Microbial fermentation in a continuous culture system. **Journal of Dairy Science**. 82 (Sypp.) : 38 (Abstr.)
- Capuco, A. V., Smith, J. J., Waldo, D. R. and Rexroad, JR. C. (1995). Influence of prepubertal dietary regimen on mammary growth of Holstein heifers. **Journal of Dairy Science**. 78 (12) : 2709-2725.
- Chanpongsaeng, S., Pholdeena, S., Topanurak, S. and Hongpoo, P. (1995). **Feeding Strategies for Dairy Cows in Thailand**. Paper presented at Third RCM in Montevideo Uruguay 11-15 April 1995. Sponsored : International Atomic Energy Agency.

- Chava-Isarakul, B. and Promma, S. (2541). The use of multivitamin block supplemented to urea - treated rice straw base diet for dairy heifers and the preliminary estimation of nutrient requirements. 1: 27-43. ใน ผลงานวิจัยการหาความต้องการโภชนะของโคนมไทย. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- Church, D. C. (1988). **The ruminant animal : Digestive physiology and nutrition** . New Jersey : Prentice Hall, Englewood Cliffs. อ้างโดย บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. (2541). โภชนศาสตร์สัตว์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ : ชนบรรณการพิมพ์.
- Clayton, E. H., Lean, I. J., Rowe, J. B. and Cox, J. W. (1999). Effect of feeding virginiamycin and sodium bicarbonate to grazing lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**. 82(7) : 1545-1554.
- Daccarett, M. G., Bortone, E. J., Isbell, D. E. and Morrill, J. L. (1993). Performance of Holstein heifers fed 100% or more of National Research Council requirements. **Journal of Dairy Science**. 76 : 606-614.
- Dado, R.G. and Allen, M. S. (1996). Enhanced intake and production of cows offered ensiled alfalfa with higher neutral detergent fiber digestibility. **Journal of Dairy Science**. 79 : 418-428.
- Devant, M., Ferret, A., Gasa, J., Calsamiglia, S. and Casals, R. (2000). Effect of protein concentration and degradability on performance, ruminal fermentation and nitrogen metabolism in rapidly growing heifers fed high-concentrate diets from 100 to 230 kg body weight. **Journal of Animal Science**. 78 : 1667-1676.
- Dewhurst, R. J., Moorby, J. M., Dhanoa, M. S., Evans, R.T. and Fisher, W.J. (2000). Effects of altering energy and protein supply to dairy cows during the dry period. 1. Intake, body condition and milk production. **Journal of Dairy Science**. 83(8) : 1782-1794.
- Fonnesbeck, P. V., Warden, M.F. and Harris, L. E. (1984). **Mathematical models for estimating energy and protein utilization of feed stuffs**. No. 508. Bulletin : Utah Agricultural Experiment station.
- Forbes, J. M. (1986). **The Voluntary Food intake of Farm Animals**. London : Butterworth.
- Forbes, J. M. (1995). **Voluntary Food Intake and Diet Selection in Farm Animal**. London : CAB International.

- Fox, D. G., Van Amburgh, M. E. and Tylutki, T. P. (1999). Predicting requirement for growth, maturity, and body reserves in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**. 82(9) : 1968-1977.
- Garcia-Bojalil, C. M., Staples, C. R., Risco, C.A., Savio, J. D. and Thatcher, W. W. (1998). Protein degradability and calcium salts of long-chain fatty acids in the diets of lactating dairy cows : reproductive responses. **Journal of Dairy Science**. 81: 1385-1395.
- Goad, D. W., Goad, C. L. and Nagaraja, T. G. (1998). Ruminal microbial and fermentative changes associated with experimentally induced subacute acidosis in steers . **Journal of Animal Science**. 76 : 234-241.
- Grummer, R. R., Hoffman, P. C., Luck, M. L. and Bertics, S. J. (1995). Effect of prepartum and postpartum dietary energy on growth and lactation of primiparous cows. **Journal of Dairy Science**. 78(1) : 172-180.
- Hanigan, M. D., Cant, J. P., Weakley, D. C. and Beckett, J. L. (1998). An evaluation of postabsorptive protein and amino acid metabolism in the lactating dairy cow. **Journal of Dairy Science**. 81(12) : 3385-3401.
- Hare, M.D., Saengkham, M., Thummaseang, K., Wongpichet, K., Suriyajantratong, W., Booncharen, P. and Phaikaew, C. (1997). Ubon paspalum (*Paspalum atratum* swallen), a new grass for waterlogged soils in Northeast Thailand. **UBU. Journal**. 1(1) : 1-12.
- Hare, M.D., Suriyajantratong, W., Tatsapong, P., Kaewkunya, C., Wongpichet, K. and Thummasaeng, K. (1999). Effect of nitrogen on production of *Paspalum atratum* on seasonally wet soils in north-east Thailand. **Tropical Grasslands**. 33 : 207-213.
- Hartwell, J. R., Cecava, M. J. and Donkin, S. S. (2000). Impact of dietary rumen undegradable protein and rumen-protected choline on intake, peripartum liver triaglyceride, plasma metabolites and milk production in transition dairy cows. **Journal of Dairy Science**. 83 : 2907-2917.
- Hoffman, P. C., Brehm, N. M., Price, S. G. and Prill-Adams, A. (1996). Effect of accelerated postpubertal growth and early calving on lactation performance of primiparous Holstein heifers. **Journal of Dairy Science**. 79() : 2024-2031.
- Hongerholt, D. D. and Muller, L. D. (1998). Supplementation of rumen-undegradable protein to the diet of early lactation Holstein cows on grass pasture. **Journal of Dairy Science**. 81 (8) : 2204-2214.

- Hungate, R. E. (1966). Physiology of digestion in the ruminant. Butterworths. อ้างโดย เมธา วรรณพัฒน์. (2533). โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. ภาควิชาสัตวศาสตร์, คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ของแก่น : พันธุ์พืชบลิขิง.
- Hurtaud, C., Lemosquet, S. and Rulquin, H. (2000). Effect of graded duodenal infusions of glucose on yield and composition of milk from dairy cows, 2. Diets based on grass silage. **Journal of Dairy Science**. 83 : 2952-2962.
- Johnson, D. E. and Bernal, G. (1998). Diet energy requirement of growth Holsteins. **Journal of Dairy Science**. 81(3) : 840-845.
- Kalscheur, K. F., Vandersall, J. H., Erdman, R. A., Kohn, R. a. and Russek-Cohen, E. (1999). Effects of dietary crude protein concentration and degradability on milk production responses of early, mid and late lactation dairy cows. **Journal of Dairy Science**. 82 (3) : 545-554.
- Kennelly, J. J., Robinson, B. and Khorasani, G. R. (1999). Influence of carbohydrate source and buffer on rumen ferment characteristics, milk yield, and milk composition in early-lactation Holstein cows. **Journal of Dairy Science**. 82 (11) : 2486-2496.
- Khorasani, G. R., De Boer, G. and Kennelly, J. J. (1996). Response of early lactation cows to ruminally undegradable protein in the diet. **Journal of Dairy Science**. 79(3) : 446-453.
- Kibon, A. and Ørskov, E. R. (1993). The use of degradation characteristics of browse plants to predict intake and digestibility by goats. อ้างโดย บุญล้อม ชีวะอิสระกุล และคณะ, 2541. การทำนายคุณค่าทางอาหารของฟางข้าว หญ้ารูชี และใบกระถินที่นิยมใช้เลี้ยงโคนมด้วยวิธีใช้ถุงไนลอน ใน ผลงานวิจัย การหาความต้องการโภชนะของโคนมไทย. 1: 1-15. โดย สกว. เชียงใหม่ : คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- Krober, T. F., Kulling, D. R., Menzi, H., Sutter, F. and Kreuzer, M. (2000). Quantitative effects of feed protein reduction and methionine on nitrogen use by cows and nitrogen emission form slurry. **Journal of Dairy Science**. 83 : 2941-2951.
- Lalman, D. L., Williams, J. E., Hess, B. W., Thomas, M. G, and Keisler, D. H. (2000). Effect of dietary energy on milk production and metabolic hormones in thin, primiparous beef heifers. **Journal of Animal Science**. 78 : 530-538.

- Lamchuan, W., Chava-Isarakul, B., Sumasatitkul, N. and Promma, S. (2541). β - carotene concentration dairy feeds and the effects of β - carotene supplement on conception rate of crossbred dairy cows. ใน ผลงานวิจัยการหาความต้องการโภชนะของโคนมไทย. หน้า 1 : 55-68. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- Lammers, B. P. and Heinrichs, A. J. (2000). The response of altering the ratio of dietary protein to energy on growth, feed efficiency, and mammary development in rapidly growing prepubertal heifers. **Journal of Dairy Science**. 83(5) : 977-983.
- Lammers, B. P., Heinrichs, A. J. and Kensing, R. S. (1999). The effects of accelerate growth rates and estrogen implants in prepubertal Holstein heifers on growth, feed efficiency, and blood parameters. **Journal of Dairy Science**. 82(8) : 1746-1752.
- Lammers, B. P., Heinrichs, A. J. and Kensing, R. S. (1999). The effects of accelerate growth rates and estrogen implants in prepubertal Holstein heifers on estimates of mammary development and subsequent reproduction and milk production. **Journal of Dairy Science**. 82 (8) : 1753-1764.
- Lana. R. P., Fox, D. G., Russell, J. B. and Perey, T. C. (1997). Influence of monensin on Holstein steers fed high-concentrate diet containing soybean meal or urea. **Journal of Animal Science**. 75 : 2571-2579.
- Leiva, E., Hall, M. B. and Van Horn, H. H. (2000). Performance of dairy cattle fed citrus pulp of corn products as sources of neutral detergent-soluble carbohydrates. **Journal of Dairy Science**. 83 : 2866-2875.
- Leng, R. A. (1970). Advances in veterinary and comparative medicine. 14 : 209 –260. อ้างโดย เมธา วรรณพัฒน์. (2533). โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. ภาควิชาสัตวศาสตร์, คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ของแก่น : ฟินน์พับบลิชชิ่ง.
- Martin, C., Devillard, E. and Michalet-Doreau, B. (1999). Influence of sampling site on concentrations and carbohydrate - degrading enzyme activities of protozoa and bacteria in the rumen. **Journal of Animal Science**. 77 (4) : 979-987.
- Mayne, C. S. and Wright, I. A. (1988). Herbage intake and utilization by the grazing dairy cows. **In. Nutrition and Lactation in the Dairy cow**. By Garnsworthy, P. C. London : Butterworth.

- McDonald, I. (1981). A revised model for the estimation of protein degradability in the rumen .
Journal of Agricultural Science. 96 : 251-252.
- Menke, K.H and Steingass, H. 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. **Animal Research and Development.** 28 :7-55.
- Menke, K.H., Raab,L., Salewski, A., Steingass, H., Fritz, D. and Schneider, W. (1979). The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feeding stuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor *in vitro*.
Journal of Agricultural Science. Camb. 93:217-222.
- Mercer, J. R. and Annison, E. F. (1976). Protein metabolism and nutrition. London : Butuerworths. อ้างโดย เมธา วรรณพัฒน์. (2533). โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. ภาควิชาสัตวศาสตร์, คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ของแก่น : ฟินนี่พับลิชชิ่ง.
- Minson, D. J. (1980). In : **Grazing Animals.** Ed. F.H.W. Morky. Amsterdam. The Netherlands : Elsevier publishing Company.
- Minson, D. J. and Milford, R. (1966). The energy value and nutritive value indices of *Digitaria decumbens*, *Sorghum almun* and *Phaseolus atropurpureus*. **Australian Journal of Agricultural Research.** 17 : 411.
- Moe, P.W., Flatt, W.P., Tyell, H.F. (1972). Net energy value of feeds for dairy cattle. **Journal of Dairy Science .** 55: 945-958.
- Moir, R. J. (1961). A note on the relationship between the digestible dry matter and digestible energy content of ruminant diets. **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry.** 1 : 24.
- Moorby, J. M., Dewhurst, R. J., Tweed, J. K. S., Dhanoa, M.S. and Beck, N. F. G. (2000). Effects of altering energy and protein supply to dairy cows during the dry period. 2. Method and hormonal responses. **Journal of Dairy Science.** 83(8) : 1795-1805.
- Morgan, D. E. and Barber, W. P. (1979). The advisor's approach to predicting the metabolisable energy value of feeds for ruminants, **In : Recent Advances in Animal Nutrition.** W. Haresign and D.lewis (Eds), Butterworths : London.

- Mourits, M. C. M., Galligan, D. T., Dijkhuizen, A. A. and Huirne, R. B. M. (2000). Optimization of dairy heifer management decisions based on production conditions of Pennsylvania. **Journal of Dairy Science**. 83(9) : 1989-1997.
- Nakamura, T., Klopfenstein, T.J. and Britton, R.A. (1994). Evaluation of acids detergent insoluble nitrogen as an indicator of protein quality in nonforage protein. **Journal of Animal Science**. 72: 1043.
- National Research council. (1985). **Ruminant Nitrogen Usage**. Washington, DC : National Academy press.
- National Research Council. (1988). **Nutrient Requirements of Dairy Cattle**. 6th Ed. 157p. Washington, DC : National Academic Press.
- National Research Council. (1989). **Nutrient Requirement of Dairy Cattle**. 6th Ed. Update. Washington, DC : National Academy Press.
- National Research Council. (1996). **Nutrient Requirement of Beef Cattle**. 7th Ed. Update. Washington, DC : National Academy.
- Nehring, K., 1969. Investigations on the scientific basis for the use of net energy for fattening as a measure of feeding value. *In* : **Energy Metabolism of Farm Animals**. K.L. Blaxter, J. Kielanowski and G. Thorbek (Eds.). EAAP Publication No. 12, Ariel Press, Newcastle upon Tyne, England.
- Ørskov, E. R. (1986). **Protein nutrition in ruminant**. 2nd Ed. London : Academic press.
- Ørskov, E. R. , Reid, G. W. and Kay, M. (1988). Prediction of intake of cattle from degradation characteristics of roughages. **Animal Production**. 46 : 29-34.
- Ørskov, E. R. and McDonald, I. (1979). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. **Journal Agricultural Science. Camb**. 92 : 499-503.
- Palmquist, D. L. (1991). Influence of source and amount of dietary fat on digestibility in lactating cows. **Journal of Dairy Science**. 74: 1354.
- Pereira, M. N. and Armentano, L. E. (2000). Partial replacement of forage with nonforage fiber sources in lactating cow diets, II. Digestion and rumen function. **Journal of Dairy Science**. 83 : 2876-2887.

- Plaizier, J. C., Martin, A., Duffield, T., Bagg, R., Dick, P. and McBride, B. W. (2000). Effect of a prepartum administration of monensin in a controlled-release capsule on apparent digestibility and nitrogen utilization in transition dairy cows. **Journal of Dairy Science**. 83 : 2918-2925.
- Promma, S., Jeenklum, P. and Indratula, T. (2541). Production responses of crossbred Holstein milking cows fed urea-treated rice straw at three different fibre levels and the preliminary estimation of nutrient requirements. 1: 43-55. **ใน ผลงานวิจัยการหาความต้องการโภชนะของโคนมไทย. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.**
- Promma, S., Tuikumpee, S., Jeenklum, P. and Indratula, T. (1993). Effects of varying dietary levels of total digestible nutrients, protein and fibre on the growth of crossbred Holstein heifers fed urea-treated rice straw under two feeding system. **AJAS**. 6: 91-97.
- Radcliff, R. P., Vandehaar, M. J., Skidmore, A. L., Chapin, L. T., Radket, B. R. Lloyd, J. W., Stanisiewski, E. P. and Tucler, H. A. (1997). Effect of diet ad bovine somatotropin on heifers growth and mammary development. **Journal of Dairy Science**. 80(9) : 1996-2003.
- Reis, R. B. and Combs, D. K. (2000). Effects of increasing levels of grain supplementation on rumen environment and lactation performance of dairy cows grazing grass-legume pastuer. **Journal of Dairy Science**. 83 : 2888-2898.
- San Emeterio, F., Reis, R. B., Campos, W. E. and Satter, L. D. (2000). Effect of coarse or fine grinding on utilization of dry or ensiled corn by lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**. 83 : 2839-2848.
- SAS. (1985). **SAS User's Guid : statistics**. Version 5 edition. Cary, NC : SAS institute Inc.
- Schroeder, G. F. and Gagliostro, G. A. (2000). Fishmeal supplementation to grazing dairy cows in early lactation. **Journal of Dairy Science**. 83 : 2899-2906.
- Sejrsen, K. and Purup, S. (1997). Influence of prepubertal feeding level on milk yield potential of dairy heifers : A review. **Journal of Dairy Science**. 75 : 828-855.
- Shem, M. N., Ørskov, E. R. and Kimanbo, A. E. (1995). Prediction of voluntary dry-matter intake, digestible dry-matter intake and growth rate of cattle from the degradation characteristics of tropical foods. **Journal of Animal Science**. 60 :65-74.

- Staples, C. R., Burke, J. M. and Thatcher, W. W. (1998). Influence of supplemental fats on reproductive tissues and performance of lactating cows. **Journal of Dairy Science**. 81(3) : 856-871.
- Stelwagen, K. and Grieve, D. G. (1990). Effect of plane of nutrition on growth and mammary gland development in Holstein heifers. **Journal of Dairy Science**. 73 : 2333-2341.
- Studer, E. (1998). A veterinary perspective of on farm evaluation of nutrition and reproduction. **Journal of Dairy Science**. 81(3) : 856-871.
- Tilley, J.M.A. and Terry, R.A. (1963). A two stage technique for *in vitro* digestion of forage crops. **Journal of the British Grassland Society**. 18: 104-111.
- Van Amburgh, M. E., Fox, D. G., Galton, D. M., Bauman, D. E. and Chasel, L. E. (1998a). Evaluation of national research council and cornell net carbohydrate and protein systems for predicting requirement of Holstein heifers. **Journal of Dairy Science** 81(2) : 509-526.
- Van amburgh, M. E., Galton, D. M., Bauman, D. E., Everett, R. W., Fox, Do G., Chase, L. E. and Erb, H. N. (1998b). Effect of three prepubertal body growth rates on performance of Holstein heifers during first lactation. **Journal of Dairy Science** 81(2) : 527-538.
- Van der Honnig, Y. and Anderman, G. (1988). Feed evaluation and nutritional requirements : 2. Ruminants. **Livestock Production Science**. 19: 217-278.
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B. and Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fibre, neutral detergent fibre and nonstarch polysaccharide in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**. 74 (10) : 3583-3597.
- Vandehaar, M. J., Yousif, G., Sharma, B. K., Herdt, T. H., Emery, R. S., Allen, M. S. and Liesman, J. S. (1999). Effect of energy and protein density of prepartum diets on fat and protein metabolism of dairy cattle in the periparturient period. **Journal of Dairy Science**. 82(6) : 1282-1295.
- Vermorel, M. and Coulon, J. B. (1998). Comparison of the national research council energy system for lactating cows with four European system. **Journal of Dairy Science**. 81(3) : 846-855.

- Waldo, D. R., Capuco, A. V. and Rexroad, JR., C. E. (1998). Milk production of Holstein heifers fed either alfalfa or corn silage diets at two rates of daily gain. **Journal of Dairy Science.** 81(3) : 756-764.
- Waldo, D. R., Tyrrell, H. F., Capuco, A. V. and Rexroad, JR, jC. E. (1997). Components of growth on Holstein heifers fed either alfalfa or corn silage diets to produce two dairy gains. **Journal of Dairy Science.** 80(8) : 1674 – 1684.
- Wattiaux, M. A., Combs, D. K, and Shaver, R. D. (1994). Lactational responses to ruminally undegradable protein by dairy cows fed diets based on alfalfa silage. **Journal of Dairy Science.** 77(6) : 1604-1617.
- Weiss, W. P. (1998). Estimating the available energy content of feeds for dairy cattle. **Journal of Dairy Science.** 81 (3) : 830-839.
- Weiss, W. P. and Shockey, W. L. (1991). Value of Orchard grass and alfalfa silage fed with varying amount of concentrates to dairy cows. **Journal of Dairy Science.** 74 : 1933-1943.
- Weiss, W. P., Conrad, H. R. and Shockey, W. L. (1983). Predicting digestible protein using acid detergent insoluble nitrogen. **Journal of Dairy Science.** 66(suppl.1) : 192 (abstr).
- Westwood, C. T., Leant, I. J., Garvin, J. K. and Wynn, P. C. (2000). Effects of genetic merit and varying dietary protein degradability on lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science.** 83 : 2926-2940.
- Wright, T. C., Moscardini, S. Luimes, P. H., Susmel, P. and Me Bride, B, W. (1998). Effect of rumen-undegradable protein and feed intake on nitrogen balance and milk protein production in dairy cows. **Journal of Dairy Science.** 81(3) : 784-793.

ภาคผนวก (ก)

1. การคำนวณหาความต้องการพลังงานสุทธิของโคทั้ง 4 กลุ่มทดลอง

ความต้องการพลังงานสุทธิในโคกำลังเจริญเติบโตมี 2 อย่างคือ พลังงานสุทธิใช้เพื่อการดำรงชีพ และใช้เพื่อการเจริญเติบโต ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$NE_M (\text{Mcal/d}) = 0.086 LW^{0.75}$$

$$NE_G (\text{Mcal/d}) = 0.045 LW^{0.75} * LWG^{1.119} + LWG$$

เมื่อ LW คือน้ำหนักตัวที่ชั่งโดยไม่ได้คอกอาหารเฉลี่ยตลอดการทดลอง และ LWG คือ อัตราการเจริญเติบโตโดยคิดจากน้ำหนักตัวที่ไม่ได้คอกอาหาร ดังแสดงในตารางผนวกที่ 2

กลุ่มที่ 1 โคทดลองได้รับพลังงาน 1.0 และโปรตีน 1.0 เท่าของ NRC (1988)

$$NE_M (\text{Mcal/d}) = 0.086 (275)^{0.75}$$

$$= 5.81$$

$$NE_G (\text{Mcal/d}) = 0.045(275)^{0.75} * (0.83)^{1.119} + 0.83$$

$$= 3.33$$

กลุ่มที่ 2 โคทดลองได้รับพลังงาน 1.0 และโปรตีน 1.2 เท่าของ NRC (1988)

$$NE_M (\text{Mcal/d}) = 0.086 (266)^{0.75}$$

$$= 5.66$$

$$NE_G (\text{Mcal/d}) = 0.045(266)^{0.75} * (0.82)^{1.119} + 0.82$$

$$= 3.19$$

กลุ่มที่ 3 โคทดลองได้รับพลังงาน 1.2 และโปรตีน 1.0 เท่าของ NRC (1988)

$$NE_M (\text{Mcal/d}) = 0.086 (272)^{0.75}$$

$$= 5.76$$

$$NE_G (\text{Mcal/d}) = 0.045(272)^{0.75} * (0.87)^{1.119} + 0.87$$

$$= 3.45$$

กลุ่มที่ 4 โคททดลองได้รับพลังงาน 1.2 และโปรตีน 1.2 เท่าของ NRC (1988)

$$NE_M (\text{Mcal/d}) = 0.086 (274)^{0.75}$$

$$= 5.79$$

$$NE_G (\text{Mcal/d}) = 0.045(274)^{0.75} * (1.08)^{1.119} + 1.08$$

$$= 4.39$$

2. การคำนวณหาพลังงานในอาหารที่โคกินได้ทั้ง 4 กลุ่มทดลอง

เมื่อทราบค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ในอาหารแล้วก็สามารถนำมาคำนวณพลังงานสุทธิในอาหารได้ แต่ในโคกำลังเจริญเติบโตจะมีพลังงานสุทธิในอาหาร 2 อย่างคือ พลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ และเพื่อการเจริญเติบโต ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการ

$$NE_M (\text{Mcal/kg DM}) = -1.12 + 1.37 ME - 0.138 ME^2 + 0.0105 ME^3$$

$$NE_G (\text{Mcal/kg DM}) = -1.65 + 1.42 ME - 0.174 ME^2 + 0.0122 ME^3$$

เมื่อ $ME = 0.0362 * (\%TDN)$

กลุ่มที่ 1 โคททดลองได้รับพลังงาน 1.0 และโปรตีน 1.0 เท่าของ NRC (1988)

แทนค่า $ME = 0.0362 * 73.1 = 2.65 \text{ Mcal/kg DM}$ ได้ดังนี้

$$NE_M (\text{Mcal/kg DM}) = -1.12 + 1.37 (2.65) - 0.138 (2.65)^2 + 0.0105 (2.65)^3 = 1.73$$

$$NE_G (\text{Mcal/kg DM}) = -1.65 + 1.42 (2.65) - 0.174 (2.65)^2 + 0.0122 (2.65)^3 = 1.12$$

กลุ่มที่ 2 โคททดลองได้รับพลังงาน 1.0 และโปรตีน 1.2 เท่าของ NRC (1988)

แทนค่า $ME = 0.0362 * (72.8) = 2.64 \text{ Mcal/kg DM}$ ได้ดังนี้

$$NE_M (\text{Mcal/kg DM}) = -1.12 + 1.37 (2.64) - 0.138 (2.64)^2 + 0.0105 (2.64)^3 = 1.73$$

$$NE_G (\text{Mcal/kg DM}) = -1.65 + 1.42 (2.64) - 0.174 (2.64)^2 + 0.0122 (2.64)^3 = 1.11$$

กลุ่มที่ 3 โคททดลองได้รับพลังงาน 1.2 และโปรตีน 1.0 เท่าของ NRC (1988)

แทนค่า $ME = 0.0362 * (76.3) = 2.76 \text{ Mcal/kg DM}$ ได้ดังนี้

$$NE_M (\text{Mcal/kg DM}) = -1.12 + 1.37 (2.76) - 0.138 (2.76)^2 + 0.0105 (2.76)^3 = 1.83$$

$$NE_G (\text{Mcal/kg DM}) = -1.65 + 1.42 (2.76) - 0.174 (2.76)^2 + 0.0122 (2.76)^3 = 1.20$$

กลุ่มที่ 4 โคททดลองได้รับพลังงาน 1.2 และโปรตีน 1.2 เท่าของ NRC (1988)

แทนค่า $ME = 0.0362 * (76.5) = 2.77 \text{ Mcal/kg DM}$ ได้ดังนี้

$$NE_M (\text{Mcal/kg DM}) = -1.12 + 1.37 (2.77) - 0.138 (2.77)^2 + 0.0105 (2.77)^3 = 1.84$$

$$NE_G (\text{Mcal/kg DM}) = -1.65 + 1.42 (2.77) - 0.174 (2.77)^2 + 0.0122 (2.77)^3 = 1.21$$

3. การคำนวณหาพลังงานสุทธิที่โคทดลองกินได้ในแต่ละวัน

การคำนวณหาพลังงานสุทธิทั้ง 2 ชนิดในโคกำลังเจริญเติบโตนั้นต้องทราบปริมาณการกินได้วัตถุแห้งของพลังงานแต่ละชนิดในแต่ละวัน แล้วนำไปคูณกับปริมาณพลังงานที่มีในอาหารก็จะได้ค่าพลังงานที่กินได้ในแต่ละวัน ซึ่งปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้ของพลังงานแต่ละชนิดคำนวณได้จากความต้องการพลังงานสุทธิในแต่ละวันหารด้วยพลังงานสุทธิที่มีในอาหารที่โคได้รับ แต่ในการทดลองนี้ขอแยกออกเป็น 3 กรณี คือ เชื่อว่าโคทดลองต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตเท่ากับ NRC (1988) หรือ เชื่อว่าโคทดลองมีความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพเท่ากับ NRC (1988) หรือ เชื่อว่าความต้องการพลังงานทั้ง 2 ชนิดของโคทดลองไม่เท่ากับ NRC (1988) สูตรที่ใช้คำนวณคือ ความต้องการ NE_M (Mcal/d)/ NE_M (Mcal/kg DM) ในอาหาร = ปริมาณวัตถุแห้งเพื่อการดำรงชีพ ความต้องการ NE_G (Mcal/d)/ NE_G (Mcal/kg DM) ในอาหาร = ปริมาณวัตถุแห้งเพื่อการเจริญเติบโต

กลุ่มที่ 1 โคทดลองได้รับพลังงาน 1.0 และโปรตีน 1.0 เท่าของ NRC (1988)

กรณีที่ 1 พลังงานทั้ง 2 ไม่เท่า NRC (1988)

ความต้องการวัตถุแห้งสำหรับการดำรงชีพ = $5.81/1.73 = 3.36$ กิโลกรัมต่อวัน

ความต้องการวัตถุแห้งสำหรับการเจริญเติบโต = $3.33/1.12 = 2.97$ กิโลกรัมต่อวัน

ความต้องการวัตถุแห้ง = 6.33 กิโลกรัมต่อวัน แต่กินได้จริง 6.38 กิโลกรัมต่อวัน ดังนั้น

ปริมาณวัตถุแห้งเพื่อการดำรงชีพเป็น $6.38 \times 3.36 / 6.33 = 3.39$ กิโลกรัมต่อวัน

ปริมาณวัตถุแห้งเพื่อการเจริญเติบโตเป็น $6.38 \times 2.97 / 6.33 = 2.99$ กิโลกรัมต่อวัน

ปริมาณพลังงานเพื่อการดำรงชีพที่โคทดลองกินได้เป็น $1.73 \times 3.39 = 5.86$ Mcal/d

ปริมาณพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตที่โคทดลองกินได้เป็น $1.12 \times 2.99 = 3.36$ Mcal/d

กรณีที่ 2 เชื่อว่าพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตเท่ากับ NRC (1988)

ความต้องการวัตถุแห้งสำหรับการเจริญเติบโต = $3.33/1.12 = 2.97$ กิโลกรัมต่อวัน

ความต้องการวัตถุแห้งสำหรับการดำรงชีพ = $6.38 - 2.97 = 3.41$ กิโลกรัมต่อวัน

ปริมาณพลังงานเพื่อการดำรงชีพที่โคทดลองกินได้เป็น $1.73 \times 3.41 = 5.9$ Mcal/d

กรณีที่ 3 เชื่อว่าพลังงานเพื่อการดำรงชีพเท่ากับ NRC (1988)

ความต้องการวัตถุแห้งสำหรับการดำรงชีพ = $5.81/1.73 = 3.36$ กิโลกรัมต่อวัน

ความต้องการวัตถุแห้งสำหรับการเจริญเติบโต = $6.38 - 3.36 = 3.02$ กิโลกรัมต่อวัน

ปริมาณพลังงานเพื่อการดำรงชีพที่โคทดลองกินได้เป็น $1.12 \times 3.02 = 3.38$ Mcal/d

กลุ่มที่ 2 โคทดลองได้รับพลังงาน 1.0 และโปรตีน 1.2 เท่าของ NRC (1988)

กรณีที่ 1 พลังงานทั้ง 2 ไม่เท่า NRC (1988)

ความต้องการวัตถุแห้งสำหรับการดำรงชีพ = $5.66/1.73 = 3.27$ กิโลกรัมต่อวัน

ความต้องการวัตถุดิบสำหรับการเจริญเติบโต = $3.19/1.11 = 2.87$ กิโลกรัมต่อวัน

ความต้องการวัตถุดิบ = 6.14 กิโลกรัมต่อวัน แต่กินได้จริง 6.23 กิโลกรัมต่อวัน ดังนั้น

ปริมาณวัตถุดิบเพื่อการดำรงชีพเป็น $6.23 \times 3.27/6.14 = 3.32$ กิโลกรัมต่อวัน

ปริมาณวัตถุดิบเพื่อการเจริญเติบโตเป็น $6.23 \times 2.87/6.33 = 2.91$ กิโลกรัมต่อวัน

ปริมาณพลังงานเพื่อการดำรงชีพที่โคทดลองกินได้เป็น $1.73 \times 3.32 = 5.74$ Mcal/d

ปริมาณพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตที่โคทดลองกินได้เป็น $1.11 \times 2.91 = 3.23$ Mcal/d

กรณีที่ 2 เชื่อว่าพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตเท่ากับ NRC (1988)

ความต้องการวัตถุดิบสำหรับการเจริญเติบโต = $3.19/1.11 = 2.87$ กิโลกรัมต่อวัน

ความต้องการวัตถุดิบสำหรับการดำรงชีพ = $6.23 - 2.87 = 3.36$ กิโลกรัมต่อวัน

ปริมาณพลังงานเพื่อการดำรงชีพที่โคทดลองกินได้เป็น $1.73 \times 3.36 = 5.81$ Mcal/d

กรณีที่ 3 เชื่อว่าพลังงานเพื่อการดำรงชีพเท่ากับ NRC (1988)

ความต้องการวัตถุดิบสำหรับการดำรงชีพ = $5.66/1.73 = 3.27$ กิโลกรัมต่อวัน

ความต้องการวัตถุดิบสำหรับการเจริญเติบโต = $6.23 - 3.27 = 2.96$ กิโลกรัมต่อวัน

ปริมาณพลังงานเพื่อการดำรงชีพที่โคทดลองกินได้เป็น $1.11 \times 2.96 = 3.29$ Mcal/d

กลุ่มที่ 3 โคทดลองได้รับพลังงาน 1.2 และโปรตีน 1.0 เท่าของ NRC (1988)

กรณีที่ 1 พลังงานทั้ง 2 ไม่เท่า NRC (1988)

ความต้องการวัตถุดิบสำหรับการดำรงชีพ = $5.76/1.83 = 3.15$ กิโลกรัมต่อวัน

ความต้องการวัตถุดิบสำหรับการเจริญเติบโต = $3.45/1.2 = 2.88$ กิโลกรัมต่อวัน

ความต้องการวัตถุดิบ = 6.03 กิโลกรัมต่อวัน แต่กินได้จริง 6.38 กิโลกรัมต่อวัน ดังนั้น

ปริมาณวัตถุดิบเพื่อการดำรงชีพเป็น $6.98 \times 3.15/6.03 = 3.65$ กิโลกรัมต่อวัน

ปริมาณวัตถุดิบเพื่อการเจริญเติบโตเป็น $6.98 \times 2.88/6.03 = 3.33$ กิโลกรัมต่อวัน

ปริมาณพลังงานเพื่อการดำรงชีพที่โคทดลองกินได้เป็น $1.83 \times 3.65 = 6.68$ Mcal/d

ปริมาณพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตที่โคทดลองกินได้เป็น $1.2 \times 3.33 = 4$ Mcal/d

กรณีที่ 2 เชื่อว่าพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตเท่ากับ NRC (1988)

ความต้องการวัตถุดิบสำหรับการเจริญเติบโต = $3.45/1.2 = 2.88$ กิโลกรัมต่อวัน

ความต้องการวัตถุดิบสำหรับการดำรงชีพ = $6.98 - 2.88 = 4.1$ กิโลกรัมต่อวัน

ปริมาณพลังงานเพื่อการดำรงชีพที่โคทดลองกินได้เป็น $1.83 \times 4.1 = 7.5$ Mcal/d

กรณีที่ 3 เชื่อว่าพลังงานเพื่อการดำรงชีพเท่ากับ NRC (1988)

ความต้องการวัตถุดิบสำหรับการดำรงชีพ = $5.76/1.83 = 3.15$ กิโลกรัมต่อวัน

ความต้องการวัตถุดิบสำหรับการเจริญเติบโต = $6.98 - 3.15 = 3.83$ กิโลกรัมต่อวัน

ปริมาณพลังงานเพื่อการดำรงชีพที่โคทดลองกินได้เป็น $1.2 \times 3.83 = 4.6 \text{ Mcal/d}$

กลุ่มที่ 4 โคทดลองได้รับพลังงาน 1.2 และโปรตีน 1.2 เท่าของ NRC (1988)

กรณีที่ 1 พลังงานทั้ง 2 ไม่เท่า NRC (1988)

ความต้องการวัตถุแห้งสำหรับการดำรงชีพ $= 5.79/1.84 = 3.15$ กิโลกรัมต่อวัน

ความต้องการวัตถุแห้งสำหรับการเจริญเติบโต $= 4.39/1.21 = 3.63$ กิโลกรัมต่อวัน

ความต้องการวัตถุแห้ง $= 6.78$ กิโลกรัมต่อวัน แต่กินได้จริง 6.97 กิโลกรัมต่อวัน ดังนั้น

ปริมาณวัตถุแห้งเพื่อการดำรงชีพเป็น $6.97 \times 3.15 / 6.78 = 3.24$ กิโลกรัมต่อวัน

ปริมาณวัตถุแห้งเพื่อการเจริญเติบโตเป็น $6.97 \times 3.63 / 6.78 = 3.73$ กิโลกรัมต่อวัน

ปริมาณพลังงานเพื่อการดำรงชีพที่โคทดลองกินได้เป็น $1.84 \times 3.24 = 5.94 \text{ Mcal/d}$

ปริมาณพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตที่โคทดลองกินได้เป็น $1.21 \times 3.73 = 4.51 \text{ Mcal/d}$

กรณีที่ 2 เชื่อว่าพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตเท่ากับ NRC (1988)

ความต้องการวัตถุแห้งสำหรับการเจริญเติบโต $= 4.39/1.21 = 3.63$ กิโลกรัมต่อวัน

ความต้องการวัตถุแห้งสำหรับการดำรงชีพ $= 6.97 - 3.63 = 3.34$ กิโลกรัมต่อวัน

ปริมาณพลังงานเพื่อการดำรงชีพที่โคทดลองกินได้เป็น $1.84 \times 3.34 = 6.15 \text{ Mcal/d}$

กรณีที่ 3 เชื่อว่าพลังงานเพื่อการดำรงชีพเท่ากับ NRC (1988)

ความต้องการวัตถุแห้งสำหรับการดำรงชีพ $= 5.79/1.84 = 3.15$ กิโลกรัมต่อวัน

ความต้องการวัตถุแห้งสำหรับการเจริญเติบโต $= 6.97 - 3.15 = 3.82$ กิโลกรัมต่อวัน

ปริมาณพลังงานเพื่อการดำรงชีพที่โคทดลองกินได้เป็น $1.21 \times 3.82 = 4.62 \text{ Mcal/d}$

4. การคำนวณหา Factors สำหรับใช้หาความต้องการพลังงานสุทธิในโคทดลองทั้ง 4 กลุ่ม

สำหรับการคำนวณหาพลังงานสุทธิเพื่อการเจริญเติบโตและเพื่อการดำรงชีพ คำนวณได้จากการใช้สมการที่แนะนำโดย NRC (1988) เหมือนกับข้อ 4 แต่เนื่องจากผลการทดลองที่ได้พบว่าพลังงานที่โคทดลองต้องการนั้นไม่เท่ากับที่คำนวณได้ตามสมการข้อ 4 ข้างบน ดังนั้นจึงเชื่อว่า Factors ที่ใช้ ในการคำนวณสำหรับโคทดลองน่าจะไม่เท่ากันด้วย ดังต่อไปนี้

กลุ่มที่ 1 โคทดลองได้รับพลังงาน 1.0 และโปรตีน 1.0 เท่าของ NRC (1988)

Factors สำหรับพลังงานเพื่อการดำรงชีพ

$$5.86 = F (275)^{0.75}$$

$$F = 0.0862$$

Factors สำหรับพลังงานเพื่อการเจริญเติบโต

$$3.35 = F (275)^{0.75} * (0.83)^{1.119} + 0.83$$

$$F = 0.0458$$

กลุ่มที่ 2 โคทดลองได้รับพลังงาน 1.0 และโปรตีน 1.2 เท่าของ NRC (1988)

Factors สำหรับพลังงานเพื่อการดำรงชีพ

$$5.74 = F (266)^{0.75}$$

$$F = 0.08697$$

Factors สำหรับพลังงานเพื่อการเจริญเติบโต

$$3.23 = F (266)^{0.75} * (0.82)^{1.119} + 0.82$$

$$F = 0.0456$$

กลุ่มที่ 3 โคทดลองได้รับพลังงาน 1.2 และโปรตีน 1.0 เท่าของ NRC (1988)

Factors สำหรับพลังงานเพื่อการดำรงชีพ

$$6.68 = F (272)^{0.75}$$

$$F = 0.0997$$

Factors สำหรับพลังงานเพื่อการเจริญเติบโต

$$4 = F (272)^{0.75} * (0.87)^{1.119} + 0.87$$

$$F = 0.0543$$

กลุ่มที่ 4 โคทดลองได้รับพลังงาน 1.2 และโปรตีน 1.2 เท่าของ NRC (1988)

Factors สำหรับพลังงานเพื่อการดำรงชีพ

$$5.94 = F (274)^{0.75}$$

$$F = 0.0887$$

Factors สำหรับพลังงานเพื่อการเจริญเติบโต

$$4.51 = F (274)^{0.75} * (1.08)^{1.119} + 1.08$$

$$F = 0.04697$$

5. การคำนวณพลังงานและการย่อยสลายได้ของอินทรีย์วัตถุ

จากการหาการย่อยสลายโดยวิธีวัดปริมาณก๊าซ การหาค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ พลังงานสุทธิในอาหารสำหรับโคให้นมและการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุของหญ้าแห้งอุบลพาสพาลัม ข้าวโพด และกากถั่วเหลือง จากปริมาณก๊าซที่ผลิตขึ้นจากการหมักบ่มกับของเหลวในกระเพาะหมัก และสารละลายบัฟเฟอร์นาน 24 ชั่วโมง ก๊าซที่ผลิตได้ คิดเทียบที่น้ำหนัก 200 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้ง แล้วนำปริมาณก๊าซที่ได้มาแทนค่าในสมการ ร่วมกับองค์ประกอบทางเคมีบางอย่างของวัตถุดิบ นั้นๆ ซึ่งพลังงานที่ได้มีหน่วยเป็น เมกะจูล (MJ/kg DM) มีองค์ประกอบทางเคมีดังนี้

	โปรตีน (%)	ไขมัน (%)	เถ้า (%)	ก๊าซที่ผลิตได้ (ml)
หญ้าแห้งอุบลพาสพาลัม	10.64	1.15	9.46	33.79
ข้าวโพด	8.77	4.18	2.04	66.12
กากถั่วเหลือง	47.03	0.72	6.83	45.93

สมการสำหรับใช้คำนวณในหญ้าแห้งอุบลพาสพาลัมคือ

$$ME = 2.20 + 0.136 \text{ GP} + 0.057 \%CP + 0.0029\% EE^2$$

$$NEL = 0.54 + 0.0959 \text{ GP} + 0.038 \%CP + 0.0017 EE^2$$

$$OMD = 16.49 + 0.9042 \text{ GP} + 0.492 \%CP + 0.387 \%ash$$

สมการสำหรับใช้ในการคำนวณในข้าวโพดและกากถั่วเหลือง คือ

$$ME = 1.06 + 0.157 \text{ GP} + 0.084 \%CP + 0.22\% EE - 0.081 \%ash$$

$$NEL = -0.36 + 0.1149 \text{ GP} + 0.054 \%CP + 0.139 EE - 0.054 \%ash$$

$$OMD = 11.03 + 0.986 \text{ GP} + 0.606 \%CP$$

หญ้าแห้งอุบลพาสพาลัม แทนค่าต่างๆ ลงในสมการได้ดังนี้

$$ME = 2.20 + 0.136 (33.79) + 0.057 (10.64) + 0.0029 (1.15)^2$$

$$= 7.407 \text{ MJ /kg DM หรือ } 1.76 \text{ Mcal /kgDM}$$

$$NEL = 0.54 + 0.0959 (33.79) + 0.038 (10.64) + 0.0017 (1.15)^2$$

$$= 4.187 \text{ MJ /kg DM หรือ } 0.997 \text{ Mcal /kgDM}$$

$$OMD = 16.49 + 0.9042 (33.79) + 0.492 (10.64) + 0.387 (9.46)$$

$$= 55.94 \%$$

กากถั่วเหลือง แทนค่าต่างๆ ลงในสมการได้ดังนี้

$$ME = 1.06 + 0.157 (45.93) + 0.084 (47.03) + 0.22(0.72) - 0.081 (6.83)$$

$$= 11.83 \text{ MJ /kg DM หรือ } 2.82 \text{ Mcal /kgDM}$$

$$NEL = -0.36 + 0.1149 (45.93) + 0.054 (47.03) + 0.139 EE - 0.054 (6.83)$$

$$= 7.19 \text{ MJ /kg DM หรือ } 1.711 \text{ Mcal /kgDM}$$

$$OMD = 11.03 + 0.986 (45.93) + 0.606 (47.03)$$

$$= 84.81 \%$$

ข้าวโพด แทนค่าต่างๆ ลงในสมการได้ดังนี้

$$ME = 1.06 + 0.157 (66.12) + 0.084 (8.77) + 0.22(4.18) - 0.081 (2.04)$$

$$= 12.93 \text{ MJ /kg DM หรือ } 3.079 \text{ Mcal /kgDM}$$

$$NEL = -0.36 + 0.1149 (66.12) + 0.054 (8.77) + 0.139 (4.18) - 0.054 (2.04)$$

$$= 8.18 \text{ MJ /kg DM หรือ } 1.94 \text{ Mcal /kgDM}$$

$$\text{OMD} = 11.03 + 0.986 (66.12) + 0.606 (8.77)$$

$$= 81.54 \%$$

6. การคำนวณพลังงานจากอาหารที่ใช้เลี้ยงโคทดลอง ทั้ง 4 กลุ่ม จากพลังงานที่มีในวัตถุดิบอาหารทดลองที่ประเมินได้จากการวัดปริมาณก๊าซ

โดยคำนวณจากพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ และคำนวณพลังงานเพื่อการดำรงชีพและเพื่อการเจริญเติบโตตามสูตร ข้อ 2

ในโคกลุ่มที่ 1 พลังงาน 1.0 และโปรตีน 1.0 เท่าของ NRC (1988) ให้หญ้าแห้งอุบลพาสพาลัม 3.85 กิโลกรัม มีวัตถุแห้ง 87.33 เปอร์เซ็นต์ ได้รับข้าวโพด 3.03 กิโลกรัม มีวัตถุแห้ง 87.07 เปอร์เซ็นต์ และได้รับกากถั่วเหลือง 0.52 กิโลกรัม มีวัตถุแห้ง 88.35 เปอร์เซ็นต์

โคจะได้รับวัตถุแห้งจากอาหารที่ให้ทั้งหมดเป็น

$$(3.85 \times 0.873) + (3.03 \times 0.871) + (0.52 \times 0.884) = 6.46 \text{ กิโลกรัม}$$

ได้รับพลังงานจากการให้อาหารทั้งหมดเป็น

$$(1.76 \times 3.85 \times 0.873) + (3.08 \times 3.03 \times 0.871) + (2.82 \times 0.52 \times 0.884) = 15.34 \text{ Mcal}$$

คิดต่อน้ำหนักแห้งเป็น $15.34/6.46 = 2.37 \text{ Mcal kg DM}$

$$\text{ME} = 2.37 \text{ (Mcal/kg DM)}$$

$$\text{NE}_M = 1.49 \text{ (Mcal/kg DM)}$$

$$\text{NE}_G = 0.90 \text{ (Mcal/kg DM)}$$

ในโคกลุ่มที่ 2 พลังงาน 1.0 และโปรตีน 1.2 เท่าของ NRC (1988) ให้หญ้าแห้งอุบลพาสพาลัม 3.66 กิโลกรัม มีวัตถุแห้ง 87.33 เปอร์เซ็นต์ ได้รับข้าวโพด 2.62 กิโลกรัม มีวัตถุแห้ง 87.07 เปอร์เซ็นต์ และได้รับกากถั่วเหลือง 0.91 กิโลกรัม มีวัตถุแห้ง 88.35 เปอร์เซ็นต์

โคจะได้รับวัตถุแห้งจากอาหารที่ให้ทั้งหมดเป็น

$$(3.66 \times 0.873) + (2.62 \times 0.871) + (0.91 \times 0.884) = 6.28 \text{ กิโลกรัม}$$

ได้รับพลังงานจากการให้อาหารทั้งหมดเป็น

$$(1.76 \times 3.66 \times 0.873) + (3.08 \times 2.62 \times 0.871) + (2.82 \times 0.91 \times 0.884) = 14.92 \text{ Mcal}$$

คิดต่อน้ำหนักแห้งเป็น $14.92/6.28 = 2.38 \text{ Mcal kg DM}$

$$\text{ME} = 2.38 \text{ (Mcal/kg DM)}$$

$$\text{NE}_M = 1.50 \text{ (Mcal/kg DM)}$$

$$\text{NE}_G = 0.91 \text{ (Mcal/kg DM)}$$

ในโคกลุ่มที่ 3 พลังงาน 1.2 และโปรตีน 1.0 เท่าของ NRC (1988) ให้หญ้าแห้งอุบลพาสพาลัม 3.82 กิโลกรัม มีวัตถุแห้ง 87.33 เปอร์เซ็นต์ ได้รับข้าวโพด 4.43 กิโลกรัม มีวัตถุแห้ง 87.07 เปอร์เซ็นต์ และได้รับกากถั่วเหลือง 0.29 กิโลกรัม มีวัตถุแห้ง 88.35 เปอร์เซ็นต์

โคจะได้รับวัตถุแห้งจากอาหารที่ให้ทั้งหมดเป็น

$$(3.82 \times 0.873) + (4.43 \times 0.871) + (0.29 \times 0.884) = 7.46 \text{ กิโลกรัม}$$

ได้รับพลังงานจากการให้อาหารทั้งหมดเป็น

$$(1.76 \times 3.82 \times 0.873) + (3.08 \times 4.43 \times 0.871) + (2.82 \times 0.29 \times 0.884) = 18.51 \text{ Mcal}$$

คิดต่อน้ำหนักแห้งเป็น $18.51/7.46 = 2.48 \text{ Mcal kg DM}$

$$\text{ME} = 2.48 \text{ (Mcal/kg DM)}$$

$$\text{NE}_M = 1.59 \text{ (Mcal/kg DM)}$$

$$\text{NE}_G = 0.99 \text{ (Mcal/kg DM)}$$

ในโคกลุ่มที่ 4 พลังงาน 1.2 และโปรตีน 1.2 เท่าของ NRC (1988) ให้หญ้าแห้งอุบลพาสพาลัม 3.76 กิโลกรัม มีวัตถุแห้ง 87.33 เปอร์เซ็นต์ ได้รับข้าวโพด 4.12 กิโลกรัม มีวัตถุแห้ง 87.07 เปอร์เซ็นต์ และได้รับกากถั่วเหลือง 0.71 กิโลกรัม มีวัตถุแห้ง 88.35 เปอร์เซ็นต์

โคจะได้รับวัตถุแห้งจากอาหารที่ให้ทั้งหมดเป็น

$$(3.76 \times 0.873) + (4.12 \times 0.871) + (0.71 \times 0.884) = 7.5 \text{ กิโลกรัม}$$

ได้รับพลังงานจากการให้อาหารทั้งหมดเป็น

$$(1.76 \times 3.76 \times 0.873) + (3.08 \times 4.12 \times 0.871) + (2.82 \times 0.71 \times 0.884) = 18.62 \text{ Mcal}$$

คิดต่อน้ำหนักแห้งเป็น $18.62/7.5 = 2.48 \text{ Mcal kg DM}$

$$\text{ME} = 2.48 \text{ (Mcal/kg DM)}$$

$$\text{NE}_M = 1.59 \text{ (Mcal/kg DM)}$$

$$\text{NE}_G = 0.99 \text{ (Mcal/kg DM)}$$

7. การคำนวณค่า ED หรือ Effective protein degradability ของหญ้าแห้งอุบลพาสพาลัม ข้าวโพด และกากถั่วเหลือง

การหาค่าการย่อยสลายของวัตถุแห้งและโปรตีนในกระเพาะหมักโดยวิธีใช้ถุงในलोंนที่แช่ในกระเพาะหมักที่เวลา 0, 4, 8, 12, 24, 48, และ 72 ชั่วโมงสำหรับหญ้าแห้ง และ 0, 4, 8, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง สำหรับข้าวโพดและกากถั่วเหลือง แล้วนำสัดส่วนที่หายไปในแต่ละเวลามาหาค่าการย่อยสลายโดยใช้โปรแกรม NEWAY EXCELL จะสามารถคำนวณค่า a, b และ c และนำค่าเหล่านี้มาคำนวณค่า Effective rumen degradability โดยใช้ค่า k คือ 0.05 ตามสมการ

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

หญ้าแห้งอุบลพาสพาลัม

$$\text{วัตถุแห้ง ค่า } a = 22.5, b = 73.63, c = 0.0256$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น} \quad ED &= 22.5 + 73.63(0.0256) / (0.0256+0.05) \\ &= 47.09 \end{aligned}$$

$$\text{โปรตีน ค่า } a = 27.35, b = 60.49, c = 0.031$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น} \quad ED &= 27.35 + 60.49(0.031) / (0.031+0.05) \\ &= 50.5 \end{aligned}$$

ข้าวโพด

$$\text{วัตถุแห้ง ค่า } a = 33.93, b = 66.07, c = 0.025$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น} \quad ED &= 33.93 + 66.07(0.025) / (0.025+0.05) \\ &= 55.95 \end{aligned}$$

$$\text{โปรตีน ค่า } a = 32.04, b = 66.41, c = 0.0302$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น} \quad ED &= 32.04 + 66.41(0.0302) / (0.05+0.0302) \\ &= 56.94 \end{aligned}$$

กากถั่วเหลือง

$$\text{วัตถุแห้ง ค่า } a = 29.09, b = 70.9, c = 0.034$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น} \quad ED &= 29.09 + 70.9(0.034) / (0.034+0.05) \\ &= 57.79 \end{aligned}$$

$$\text{โปรตีน ค่า } a = 8.46, b = 87.59, c = 0.05$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น} \quad ED &= 8.46 + 87.59(0.031) / (0.05+0.05) \\ &= 52.26 \end{aligned}$$

8. การคำนวณการกินได้ของ RDP และ RUP จากอาหารที่ใช้เลี้ยงโคทดลองทั้ง 4 กลุ่มทดลอง

การทราบค่า ED ของอาหารจะสามารถคำนวณหาค่า RDPI และ RUP ของอาหารได้จาก

$$\text{สมการ RDPI} = \text{CPI} * \text{ED}_{(\text{fed})} (\text{g}) \text{ และ } \text{RUP} = (\text{CPI} * 1.15) - \text{RDPI} \text{ เมื่อ } \text{ED}_{(\text{fed})} = \text{RDP}_{(\text{fed})} / \text{CP}_{(\text{fed})}$$

$$\text{RDP}_{(\text{fed})} = (\text{ED} * \text{kg DM} * \text{CP}_{(\text{g})})_{\text{หญ้าแห้ง}} + (\text{ED} * \text{kg DM} * \text{CP}_{(\text{g})})_{\text{ข้าวโพด}} + (\text{ED} * \text{kg DM} * \text{CP}_{(\text{g})})_{\text{กากถั่วเหลือง}}$$

$$\text{CP}_{(\text{fed})} = (\text{kg DM} * \text{CP}_{(\text{g})})_{\text{หญ้าแห้ง}} + (\text{kg DM} * \text{CP}_{(\text{g})})_{\text{ข้าวโพด}} + (\text{kg DM} * \text{CP}_{(\text{g})})_{\text{กากถั่วเหลือง}}$$

กลุ่มที่ 1 โคททดลองได้รับพลังงาน 1.0 และโปรตีน 1.0 เท่าของ NRC (1988)

$$\begin{aligned}
 \text{CP}_{(\text{fed})} &= 802 \text{ g}, \text{RDP}_{(\text{fed})} = 424.7 \text{ g และ } \text{CPI} = 785 \text{ g} \\
 \text{ดังนั้น} \quad \text{ED}_{(\text{fed})} &= 425/802 \\
 &= 0.53 \\
 \text{RDPI} &= 785 * 0.53 \\
 &= 416 \text{ g} \\
 \text{RUPI} &= (785 * 1.15) - 416 \\
 &= 487 \text{ g}
 \end{aligned}$$

กลุ่มที่ 2 โคททดลองได้รับพลังงาน 1.0 และโปรตีน 1.2 เท่าของ NRC (1988)

$$\begin{aligned}
 \text{CP}_{(\text{fed})} &= 914 \text{ g}, \text{RDP}_{(\text{fed})} = 482 \text{ g และ } \text{CPI} = 901 \text{ g} \\
 \text{ดังนั้น} \quad \text{ED}_{(\text{fed})} &= 482/914 \\
 &= 0.527 \\
 \text{RDPI} &= 901 * 0.527 \\
 &= 475 \text{ g} \\
 \text{RUPI} &= (901 * 1.15) - 475 \\
 &= 561 \text{ g}
 \end{aligned}$$

กลุ่มที่ 3 โคททดลองได้รับพลังงาน 1.2 และโปรตีน 1.0 เท่าของ NRC (1988)

$$\begin{aligned}
 \text{CP}_{(\text{fed})} &= 819 \text{ g}, \text{RDP}_{(\text{fed})} = 436 \text{ g และ } \text{CPI} = 756 \text{ g} \\
 \text{ดังนั้น} \quad \text{ED}_{(\text{fed})} &= 436/819 \\
 &= 0.534 \\
 \text{RDPI} &= 756 * 0.534 \\
 &= 402 \text{ g} \\
 \text{RUPI} &= (756 * 1.15) - 402 \\
 &= 467 \text{ g}
 \end{aligned}$$

กลุ่มที่ 4 โคททดลองได้รับพลังงาน 1.2 และโปรตีน 1.2 เท่าของ NRC (1988)

$$\begin{aligned}
 \text{CP}_{(\text{fed})} &= 958 \text{ g}, \text{RDP}_{(\text{fed})} = 510 \text{ g และ } \text{CPI} = 888 \text{ g} \\
 \text{ดังนั้น} \quad \text{ED}_{(\text{fed})} &= 510/958 \\
 &= 0.533 \\
 \text{RDPI} &= 888 * 0.533 \\
 &= 473 \text{ g}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{RUPI} &= (888 \times 1.15) - 473 \\ &= 548 \text{ g}\end{aligned}$$

9. การคำนวณหาค่าโปรตีนดูซึมในอาหารที่โคทดลองกินได้ของโคทดลองทั้ง 4 กลุ่ม

การหาค่าโปรตีนดูซึมในอาหารหาได้จากค่า MCP (Microbial crude protein), RUP (Rumen undegradable crude protein) และ FCP (Fecal metabolic crude protein) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{AP} = 0.64 \text{ MCP} + 0.8 \text{ RUP} - \text{FCP}$$

MCP = 0.9RDP, RUP จาก nylon bag และ FCP = 0.03*DMI (g/d)

กลุ่มที่ 1 โคทดลองได้รับพลังงาน 1.0 และโปรตีน 1.0 เท่าของ NRC (1988)

$$\begin{aligned}\text{AP} &= 0.64 (374) + 0.8 (487) - 191.44 \\ &= 437 \text{ g}\end{aligned}$$

กลุ่มที่ 2 โคทดลองได้รับพลังงาน 1.0 และโปรตีน 1.2 เท่าของ NRC (1988)

$$\begin{aligned}\text{AP} &= 0.64 (427.) + 0.8 (561) - 186.87 \\ &= 535 \text{ g}\end{aligned}$$

กลุ่มที่ 3 โคทดลองได้รับพลังงาน 1.2 และโปรตีน 1.0 เท่าของ NRC (1988)

$$\begin{aligned}\text{AP} &= 0.64 (362) + 0.8 (467) - 209.31 \\ &= 396 \text{ g}\end{aligned}$$

กลุ่มที่ 4 โคทดลองได้รับพลังงาน 1.2 และโปรตีน 1.2 เท่าของ NRC (1988)

$$\begin{aligned}\text{AP} &= 0.64 (426) + 0.8 (548) - 208.99 \\ &= 502 \text{ g}\end{aligned}$$

10. การคำนวณหาความต้องการโปรตีนดูซึมของโคทดลองทั้ง 4 กลุ่ม

ความต้องการโปรตีนดูซึมของโคกำลังเจริญเติบโตจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ โปรตีนดูซึมเพื่อการดำรงชีพ และโปรตีนดูซึมเพื่อการสะสมในเนื้อเยื่อเพื่อการเจริญเติบโต และสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\begin{aligned}\text{AP} &= \text{miantenance} + \text{production} \\ &= (\text{FPA} + \text{SPA} + \text{UPA}) + \text{RPA}\end{aligned}$$

เมื่อ $\text{FPA} = 0.03 \times \text{DMI} \text{ (g/d)}$

$$\text{UPA} = (2.75 \text{ LW}^{0.5}) / 0.67$$

$$SPA = (0.2 LW^{0.6}) / 0.67$$

$$RPA = [EBG*(249-(26.2*NEGEGBG))] / 0.5$$

และ LW และ EBG คือน้ำหนักอาหารและอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน ของโคทดลองที่ซึ่งได้เฉลี่ยตลอดการทดลอง มีในตารางภาคผนวกที่ 2 , NEGEGBG คือ ความเข้มข้นของพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตต่ออัตราการเจริญเติบโตต่อวัน

กลุ่มที่ 1 โคทดลองได้รับพลังงาน 1.0 และโปรตีน 1.0 เท่าของ NRC (1988)

$$AP (g/d) = 191.46 + 8.64 + 67.73 + 205$$

$$= 473$$

กลุ่มที่ 2 โคทดลองได้รับพลังงาน 1.0 และโปรตีน 1.2 เท่าของ NRC (1988)

$$AP (g/d) = 186.87 + 8.46 + 66.55 + 209$$

$$= 471$$

กลุ่มที่ 3 โคทดลองได้รับพลังงาน 1.2 และโปรตีน 1.0 เท่าของ NRC (1988)

$$AP (g/d) = 209.31 + 8.54 + 66.99 + 161$$

$$= 446$$

กลุ่มที่ 4 โคทดลองได้รับพลังงาน 1.2 และโปรตีน 1.2 เท่าของ NRC (1988)

$$AP (g/d) = 208.99 + 8.59 + 66.35 + 138$$

$$= 423$$

11. การคำนวณหาความต้องการ CP , RDP และRUP ของโคทดลองทั้ง 4 กลุ่มทดลอง

การคำนวณหาความต้องการ โปรตีนหายา โปรตีนที่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก ของโคทดลองสามารถคำนวณหาได้ดังนี้

$$RDP = MCP / 0.9$$

$$RUP = APRUP / 0.8$$

$$CP = (RDP + RUP) / 1.15$$

เมื่อ $APRUP = AP - APMCP$ และ $APMCP = 0.64 * MCP$

กลุ่มที่ 1 โคทดลองได้รับพลังงาน 1.0 และโปรตีน 1.0 เท่าของ NRC (1988)

$$RDP (g/d) = 374 / 0.9 = 416$$

$$RUP (g/d) = (473 - (0.64 * 374)) / 0.8$$

$$= 292$$

$$CP (g/d) = (416 + 292) / 1.15 = 616$$

กลุ่มที่ 2 โคททดลองได้รับพลังงาน 1.0 และโปรตีน 1.2 เท่าของ NRC (1988)

$$\text{RDP (g/d)} = 427/0.9 = 475$$

$$\begin{aligned}\text{RUP (g/d)} &= (471 - (0.64 * 427)) / 0.8 \\ &= 247\end{aligned}$$

$$\text{CP (g/d)} = (475 + 247) / 1.15 = 628$$

กลุ่มที่ 3 โคททดลองได้รับพลังงาน 1.2 และโปรตีน 1.0 เท่าของ NRC (1988)

$$\text{RDP (g/d)} = 362/0.9 = 402$$

$$\begin{aligned}\text{RUP (g/d)} &= (446 - (0.64 * 362)) / 0.8 \\ &= 268\end{aligned}$$

$$\text{CP (g/d)} = (402 + 268) / 1.15 = 583$$

กลุ่มที่ 4 โคททดลองได้รับพลังงาน 1.2 และโปรตีน 1.2 เท่าของ NRC (1988)

$$\text{RDP (g/d)} = 426/0.9 = 473$$

$$\begin{aligned}\text{RUP (g/d)} &= (423 - (0.64 * 426)) / 0.8 \\ &= 188\end{aligned}$$

$$\text{CP (g/d)} = (473 + 188) / 1.15 = 575$$

ภาคผนวก ข

Model ของการทดลองเรื่องความต้องการพลังงานและโปรตีนของโคนมสาวลูกผสม เป็นดังนี้

$$\gamma_{ijk} = \mu + \beta_i + E_j + P_k + (EP)_{jk} + \epsilon_{ijk}$$

เมื่อ γ_{ijk} = ข้อมูลที่ได้รับอิทธิพลของบล็อกที่ i ปัจจัย E ระดับที่ j และปัจจัย P ระดับที่ k

μ = ค่าเฉลี่ยทั้งหมดของข้อมูล

β_i = อิทธิพลของบล็อกที่ i

E_j = อิทธิพลของพลังงาน ระดับที่ j

P_k = อิทธิพลของโปรตีน ระดับที่ k

$(EP)_{jk}$ = อิทธิพลของปฏิริยาสัมพันธ์ของปัจจัย E ระดับที่ j และปัจจัย P ระดับที่ k

ϵ_{ijk} = ความผิดพลาดที่เกิดจากการสุ่ม

ตารางผนวกที่ 1 ปริมาณหญ้าแห้งอุบลพาสพาล์ม ข้าวโพด และ กากถั่วเหลือง ที่ให้โคทดลองเฉลี่ยในแต่ละวัน

กลุ่ม (Treatment)	1	2	3	4
พลังงาน เท่าของ NRC (E)	1.0	1.0	1.2	1.2
โปรตีน เท่าของ NRC (P)	1.0	1.2	1.0	1.2
Hay (kg)	3.85	3.66	3.82	3.76
Ground corn (kg)	3.03	2.62	4.43	4.12
Soy bean meal (kg)	0.52	0.91	0.29	0.71

ตารางผนวกที่ 2 น้ำหนักเฉลี่ยตลอดการทดลอง อัตราการเจริญเติบโต และน้ำหนัก Metabolic ของ โคทกลองที่ได้รับพลังงาน และโปรตีนในระดับต่างๆ

กลุ่ม (Treatment)	1	2	3	4				
พลังงาน เท่าของ NRC (E)	1.0	1.0	1.2	1.2	SEM			
โปรตีน เท่าของ NRC (P)	1.0	1.2	1.0	1.2		E	P	E*P
						-----	<i>p</i>	-----
Initial Live weight (kg)	256	248	252	249	12.7	0.88	0.54	0.76
Final Live weight (kg)	294	285	291	298	11.82	0.52	0.89	0.36
Average Live weight (kg)	275	266	272	274	12.1	0.81	0.69	0.54
Empty body weight (kg) ^{0.75}	64	63	64	64	1.99	0.68	0.62	0.66
Liveweight gain (kg/d)	0.83	0.82	0.87	1.08	0.1	0.03	0.14	0.10
Empty body weight (kg)	257	250	258	257	10.91	0.61	0.62	0.70

ตารางผนวกที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการกินได้ของพลังงาน (TDN)

Source of variance	df	Sum of squares	Mean squares	F value	Pr > F
Blocks	5	29.45	5.889	33.32	0.0001
Treatment	3	3.157	1.052	5.95	<0.01
E	1	3.10	3.103	17.55	0.0008
P	1	0.029	0.029	0.17	0.69
E*P	1	0.028	0.028	0.16	0.69
Error	15	2.65	0.1768		
Total	23	35.26			
%CV= 8.47	$R^2 = 0.925$	Mean = 4.97			

ตารางผนวกที่ 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการกินได้ของโปรตีน (CP)

Source of variance	df	Sum of squares	Mean squares	F value	Pr > F
Blocks	5	1090968	218193	45.83	0.0001
Treatment	3	95316	31772	6.674	<0.01
E	1	2503.3	2503.3	0.53	0.48
P	1	92411	92411	19.41	0.0005
E*P	1	401.7	401.72	0.08	0.78
Error	15	71408.6	4760.8		
Total	23	1257693			
%CV= 8.29	$R^2 = 0.943$	Mean = 832			

ตารางผนวกที่ 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของเปอร์เซ็นต์การกินได้วัตถุแห้งต่อน้ำหนักตัว (%BW)

Source of variance	df	Sum of squares	Mean squares	F value	Pr > F
Blocks	5	0.55	0.11	14.06	0.0001
Treatment	3	0.3111	0.1037	12.96	<0.01
E	1	0.311	0.311	39.68	0.0001
P	1	0.000004	0.000004	0.00	0.98
E*P	1	0.0001	0.0001	0.01	0.91
Error	15	0.117	0.008		
Total	23	0.978			
%CV= 3.375	$R^2 = 0.8799$	Mean = 2.62			

ตารางผนวกที่ 6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการกินได้ของวัตถุดิบ (DMI)

Source of variance	df	Sum of squares	Mean squares	F value	Pr > F
Blocks	5	50.37	10.07	34.65	0.0001
Treatment	3	2.731	0.91	3.128	>0.05
E	1	2.66	2.66	9.16	0.008
P	1	0.04	0.040	0.14	0.72
E*P	1	0.031	0.031	0.11	0.75
Error	15	4.36	0.291		
Total	23	57.46			
%CV=8.12	$R^2 = 0.92$	Mean = 6.64			

ตารางผนวกที่ 7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการใช้อาหาร (ADG/DMI, g/kg)

Source of variance	df	Sum of squares	Mean squares	F value	Pr > F
Blocks	5	6472.88	1294.57	3.14	0.039
Treatment	3	1637.82	545.94	1.325	>0.05
E	1	250.84	250.84	0.61	0.447
P	1	426.47	426.47	1.03	0.325
E*P	1	960.51	960.51	2.33	0.148
Error	15	6182.14	412.14		
Total	23	14292.85			
%CV= 15.15	$R^2 = 0.567$	Mean = 134			

ตารางผนวกที่ 8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการใช้อาหาร (DMI/ADG, kg/kg)

Source of variance	df	Sum of squares	Mean squares	F value	Pr > F
Blocks	5	24.125	4.82	3.92	0.0179
Treatment	3	4.607	1.536	1.25	>0.05
E	1	0.467	0.467	0.38	0.547
P	1	0.97	0.97	0.79	0.388
E*P	1	3.17	3.17	2.58	0.129
Error	15	18.47	1.23		
Total	23	47.2			
%CV=14.38	$R^2 = 0.6087$	Mean = 7.7			

ตารางผนวกที่ 9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการกินได้ของวัตถุดิบแห้งต่อน้ำหนัก Metabolic

Source of variance	df	Sum of squares	Mean squares	F value	Pr > F
Blocks	5	683.34	136.67	9.10	0.0004
Treatment	3	499.338	166.45	11.07	<0.01
E	1	497.68	497.68	33.12	0.0001
P	1	0.508	0.505	0.03	0.86
E*P	1	1.51	1.51	0.1	0.76
Error	15	225.38	15.03		
Total	23	1408.4			
%CV= 3.73	$R^2 = 0.84$	Mean = 104			

ตารางผนวกที่ 10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำหนักอาหาร (EBW) เมื่อเริ่มต้นทดลอง

Source of variance	df	Sum of squares	Mean squares	F value	Pr > F
Blocks	5	89334.7	17866.9	53.74	0.0001
Treatment	3	174.12	58.04	0.17	>0.05
E	1	12.04	12.04	0.04	0.85
P	1	155.04	155.04	0.47	0.51
E*P	1	7.04	7.04	0.02	0.88
Error	15	4987.1	332.47		
Total	23	94495.9			
%CV= 7.73	$R^2 = 0.947$	Mean = 235			

ตารางผนวกที่ 11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำหนักอาหาร (EBW) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง

Source of variance	df	Sum of squares	Mean squares	F value	Pr > F
Blocks	5	102009	20401	51.84	0.0001
Treatment	3	460.45	153.48	0.39	>0.05
E	1	260.04	260.04	0.66	0.43
P	1	45.37	45.37	0.12	0.74
E*P	1	155.04	155.04	0.39	0.54
Error	15	5906	393.5		
Total	23	108372			
%CV= 7.21	$R^2 = 0.945$	Mean = 275			

ตารางผนวกที่ 12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (น้ำหนักกอดอาหาร , EWG)

Source of variance	df	Sum of squares	Mean squares	F value	Pr > F
Blocks	5	0.441	0.088	7.31	0.001
Treatment	3	0.143	0.0477	3.97	<0.05
E	1	0.079	0.079	6.58	0.02
P	1	0.016	0.016	1.34	0.27
E*P	1	0.048	0.047	3.94	0.06
Error	15	0.181	0.012		
Total	23	0.764			
%CV= 12.58	$R^2 = 0.763$	Mean = 0.87			

ตารางผนวกที่ 13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำหนักไม่อดอาหาร (LW) เฉลี่ยตลอดการทดลอง

Source of variance	df	Sum of squares	Mean squares	F value	Pr > F
Blocks	5	97399	19479	44.35	0.0001
Treatment	3	266.75	88.92	0.2	>0.05
E	1	26.04	26.04	0.06	0.81
P	1	70.04	70.04	0.16	0.69
E*P	1	170.67	170.67	0.39	0.54
Error	15	6587.5	439.17		
Total	23	104253			
%CV= 7.72	$R^2 = 0.936$	Mean = 271			

ตารางผนวกที่ 14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเจริญเติบโตต่อวัน (น้ำหนักไม่อดอาหาร , LWG)

Source of variance	df	Sum of squares	Mean squares	F value	Pr > F
Blocks	5	0.56	0.11	4.65	0.009
Treatment	3	0.27	0.09	4.5	<0.05
E	1	0.14	0.14	5.72	0.03
P	1	0.06	0.06	2.49	0.13
E*P	1	0.07	0.07	3.07	0.10
Error	15	0.36	0.02		
Total	23	1.195			
%CV= 17.26	$R^2 = 0.697$	Mean = 0.9			

ตารางที่ 15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำหนักกอดอาหาร (EBW) เฉลี่ยตลอดการทดลอง

Source of variance	df	Sum of squares	Mean squares	F value	Pr > F
Blocks	5	95448.83	19089.76	53.49	0.0001
Treatment	3	245.08	81.69	0.23	>0.05
E	1	96.00	96.00	0.27	0.61
P	1	92.04	92.04	0.22	0.62
E*P	1	57.04	52.04	0.16	0.69
Error	15	5353.41	356.89		
Total	23	101047			
%CV= 7.396	$R^2 = 0.947$	Mean = 255			