

การประเมินคุณค่าทางอาหารของหญ้าอาหารสัตว์เขตร้อนบางชนิด
เพื่อทำนายผลผลิตของโคนม

นายกังวาน ธรรมแสง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2546
ISBN 974-533-299-2

**EVALUATION OF NUTRITIVE VALUE OF SELECTED
TROPICAL GRASSES FOR THE PREDICTION OF
MILK PRODUCTION IN DAIRY COWS**

Mr.Kungwan Thummasaeng

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of

Doctor of Philosophy in Animal Production Technology

Suranaree University of Technology

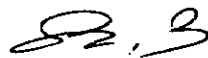
Academic Year 2003

ISBN 974-533-299-2

การประเมินคุณค่าทางอาหารของหน่วยอาหารสัตว์เขตร้อนบางชนิด
เพื่อทำนายผลผลิตของโคนม

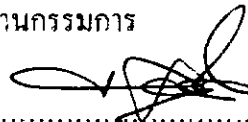
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาคุณวุฒิปบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



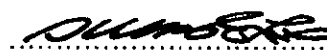
(รศ.ดร.พงษ์ชาญ ณ ลำปาง)

ประธานกรรมการ



(รศ.ดร.วิศิษฐ์พร สุขสมบัติ)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(รศ.ดร.วรพงษ์ สุริยภัทร)

กรรมการ



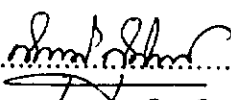
(รศ.ดร.ฉลอง วชิราภากร)

กรรมการ



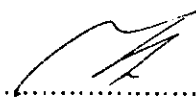
(ผศ.น.สพ.ดร.บุญชร ลิขิตเดชาโรจน์)

กรรมการ



(รศ.น.ท.ดร.สราวุฒิ สุจิตจง)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ



(รศ.ดร.กนก ผลารักษ์)

คณบดีสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

นายกั๊วาน ธรรมแสง: การประเมินคุณค่าทางอาหารของหญ้าอาหารสัตว์เขตร้อนบางชนิดเพื่อทำนายผลผลิตของโคนม

EVALUATION OF NUTRITIVE VALUE OF SELECTED TROPICAL GRASSES FOR THE PREDICTION OF MILK PRODUCTION IN DAIRY COWS

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.วิศิษฐ์พร สุขสมบัติ 141 หน้า ISBN 974-533-299-2

งานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาคุณค่าทางอาหารของหญ้าอาหารสัตว์เขตร้อน 4 ชนิดได้แก่ หญ้าพาสพาลัมอุบล (*Paspalum atratum* cv. Ubon), หญ้าจาร์ราดิจิต (*Digitaria milaniana* CV. Jarra), หญ้ากินนีสีม่วง (*Panicum maximum* cv. Purple) และหญ้ารูซี่ (*Brachiaria ruziziensis*, Ruzi) โดยหญ้าทั้ง 4 ชนิดดังกล่าวตัดทำหญ้าแห้งเมื่ออายุ 30, 45 และ 60 วัน นอกจากนั้นยังได้ทำการศึกษาคุณค่าทางอาหารของหญ้าหมัก ซึ่งทำจากหญ้าพาสพาลัมอุบลที่ตัดเมื่ออายุประมาณ 45 วัน พร้อมทั้งนำหญ้าหมักไปทดสอบเลี้ยงโคนม โดยมีวัตถุประสงค์หลักของการวิจัยครั้งนี้เพื่อ 1) ทราบถึงส่วนประกอบทางเคมีและคุณค่าทางอาหารของหญ้าอาหารสัตว์เขตร้อน 4 ชนิดดังกล่าวข้างต้น ทั้งในรูปหญ้าแห้งและหญ้าหมัก 2) ทราบถึงความสัมพันธ์ของส่วนประกอบทางเคมีและคุณค่าทางอาหารของหญ้า ที่ตอบสนองต่อผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบในน้ำนม เมื่อนำไปเลี้ยงโคนม และ 3) ทราบระดับที่เหมาะสมของพลังงานและโปรตีนในสูตรอาหารรวม (complete ration) สำหรับโคนมที่ให้ผลผลิตน้ำนมปานกลางในประเทศไทย

ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของหญ้าแห้งเฉพาะโภชนะส่วนที่สำคัญพบว่า หญ้าจาร์ราดิจิตมีค่าเฉลี่ยของโปรตีนจากอายุการตัดทั้ง 3 ระยะสูงสุด (11.1%) ส่วนหญ้าพาสพาลัมอุบลมีโปรตีนต่ำที่สุด (8.4%) และพบว่ามีปฏิสัมพันธ์ (interaction) ระหว่างชนิดหญ้าและอายุการตัด โดยเฉพาะหญ้าที่มีโปรตีนสูง คือ หญ้าจาร์ราดิจิต และหญ้ารูซี่ โปรตีนจะลดลงมากเมื่อเพิ่มอายุการตัดจาก 30 เป็น 45 วัน แต่จากอายุ 45 ไป 60 วัน โปรตีนจะลดลงไม่มากนัก สำหรับระดับเยื่อใย (crude fiber, CF และ acid detergent fiber, ADF) พบว่า หญ้ากินนีสีม่วงมีเยื่อใยดังกล่าวสูงที่สุด (33.5 และ 44.2%) และในหญ้าทุกชนิดมีปริมาณเยื่อใยเพิ่มขึ้นตามอายุการตัดหญ้าที่เพิ่มขึ้น ยกเว้นหญ้าพาสพาลัมอุบลที่เยื่อใยดังกล่าวไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงตามอายุการตัด

จากการทดสอบหาปริมาณการกินได้ และการย่อยได้ของโภชนะในหญ้าแห้ง ซึ่งใช้โคนมสาว เป็นสัตว์ทดลอง ด้วยวิธีเก็บตัวอย่างทั้งหมด (*In vivo*, total collection) โดยมีข้อกำหนดว่า ถ้าหญ้าที่ทดสอบมีโปรตีนต่ำกว่า 8% จะทำการเสริมกากถั่วเหลืองเพื่อยกระดับโปรตีนในอาหารรวมขึ้นเป็น 10% แล้วทำการทดลองอีกงานทดลองหนึ่ง เพื่อหาค่าการย่อยได้ของกากถั่วเหลือง แล้วนำมาหักลบออกจากหญ้าที่มีการเสริมกากถั่วเหลืองในงานทดลองแรก โดยวิธีการคำนวณที่

เรียกว่า by difference method นอกจากนั้น ยังได้ทำการทดสอบหาอัตราการย่อยสลายของอาหาร ในกระเพาะรูเมน โดยวิธีการย่อยในถุงไนลอน (*In sacco*, nylon bag) และประเมินค่าพลังงาน ME (metabolizable energy) โดยวิธีการผลิตก๊าซ (*In vitro*, gas test)

ผลการทดลองพบว่า มีหญ้าจาร์ราดิจิตเพียงชนิดเดียวที่ไม่ต้องมีการเสริมกากถั่วเหลืองเลย ในทุกอายุการตัด เนื่องจากเป็นหญ้าที่มีโปรตีนสูง การย่อยได้ของโปรตีนจะลดลงตามอายุของหญ้าที่เพิ่มขึ้น ในโกษณะอื่นๆ พบว่า การย่อยได้ของหญ้าแห้งที่ตัดเมื่ออายุ 30 และ 45 วันส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียงกัน แต่หญ้าแห้งที่ตัดเมื่ออายุ 60 วัน จะมีการย่อยได้ของโกษณะที่ต่ำ อีกทั้งมีพลังงานที่ย่อยได้รวม (total digestible nutrient, TDN) ต่ำกว่า ($P < 0.05$) หญ้าอายุ 30 และ 45 วัน ด้วย สำหรับหญ้าชนิดอื่นๆ ที่เหลือ ไม่มีการเสริมกากถั่วในหญ้าอายุ 30 วัน แต่ต้องเสริมในหญ้าทุกชนิดที่ตัดเมื่ออายุ 60 วัน สำหรับหญ้าที่ตัดเมื่ออายุ 45 วัน และต้องเสริมกากถั่วเหลือง ได้แก่ หญ้ากินนีสีม่วง และหญ้าพาสพาลัมอุบล ผลของการเสริมกากถั่วเหลืองในโคที่กินหญ้าแห้งอายุ 60 วัน ทำให้ปริมาณการกินได้ของหญ้า และการย่อยได้ของโกษณะรวม (ทั้งจากหญ้าและกากถั่วเหลือง) เพิ่มขึ้น จนทำให้ส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียงหรือสูงกว่าโคกลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริมกากถั่วเหลือง ในการทดสอบหาค่าการย่อยได้ของกากถั่วเหลืองผลปรากฏว่า การเสริมกากถั่วเหลืองทำให้การย่อยได้ของหญ้าไม่คงที่ หรือเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างอาหาร (associative effect) ขึ้น ซึ่งผิดไปจากข้อกำหนดของการคำนวณด้วยวิธี by difference อีกทั้งการทำนายค่าการย่อยได้ของกากถั่วเหลืองโดยใช้สมการรีเกรสชั่นเส้นตรง (linear regression) ก็พบว่ากากถั่วเหลืองมีค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งสูงกว่า 100% เช่นกัน ดังนั้นจึงไม่สามารถนำไปประมาณค่าการย่อยได้ของโกษณะของหญ้าแห้งในกรณีที่มีการเสริมกากถั่วเหลืองได้

การประเมินคุณค่าของหญ้าแห้งโดยวิธี nylon bag พบว่า ค่าศักยภาพการย่อยสลายได้สูงสุด (potential degradability, PD) มีค่าเฉลี่ยจากการตัดทั้ง 3 อายุของหญ้าจาร์ราดิจิต หญ้ากินนี หญ้ารัฐ และหญ้าพาสพาลัมอุบล เท่ากับ 80.9, 77.9, 75.8 และ 86.6% ตามลำดับ ส่วนค่า Index value มีค่าเท่ากับ 47.5, 47.7, 45.7 และ 51.8 โดยหญ้าทุกชนิดมีค่ามากกว่า 30 ซึ่งถือว่ามีความสูงกวาระดับความต้องการเพื่อการดำรงชีพของโค สำหรับการประเมินคุณค่าของหญ้าแห้งโดยวิธีการผลิตก๊าซ (gas production) พบว่า ค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุจากหญ้าทั้ง 4 ชนิดข้างต้น มีค่าเท่ากับ 54.0, 46.4, 51.9 และ 49.0% และค่าพลังงาน ME เท่ากับ 8.09, 6.93, 7.74 และ 7.32 MJ/kg DM ตามลำดับ

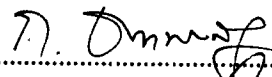
จากการศึกษาหญ้าหมักที่ทำจากหญ้าพาสพาลัมอุบล โดยหมักร่วมกับมันสำปะหลังบดในอัตราส่วน 5% โดยน้ำหนักหญ้าสด แล้วใช้เป็นอาหารหยาบหลักผสมกับกากถั่วเหลืองและข้าวโพดบด แล้วนำไปให้โครีดนมกินในรูปของอาหารผสมครบส่วน (total mixed ration, TMR) โดยผันแปรพลังงาน (TDN) และโปรตีน (CP) ที่ระดับ 1.0 และ 1.2 จากคำแนะนำของ NRC (1988) ทำ

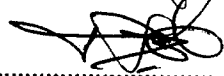
การทดลอง 2 ครั้ง (trial 1-2) ผลการทดลองพบว่า การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวของโคเป็นลักษณะที่มีความแปรปรวนของข้อมูลสูงมาก ($\%CV > 60$) ผลผลิตน้ำนมที่ปรับค่ามาตรฐานไขมันที่ 4% (fat corrected milk, 4% FCM) ของการทดลองครั้งที่ 1 มีค่าอยู่ในช่วง 10.5-11.9 กก./ตัว/วัน และ % ไขมันในนม 4.05-4.43% ส่วนการทดลองครั้งที่ 2 มีค่า 4% FCM และ % ไขมันในนมอยู่ในช่วง 13.5-14.0 กก./ตัว/วัน และ 4.2-4.9% ตามลำดับ ทั้งนี้ไม่พบว่าระดับพลังงานหรือโปรตีนมีอิทธิพลต่อลักษณะดังกล่าว รวมทั้งไม่พบว่าระดับพลังงานและโปรตีนมีปฏิสัมพันธ์ (interaction) ต่อลักษณะเหล่านี้เช่นกัน ($P>0.05$) ในอีกการทดลองหนึ่ง (trial 3) ได้ลดระดับพลังงานลงเหลือ 0.9 แต่ยังคงระดับโปรตีนเท่ากับคำแนะนำของ NRC (1988) โดยมีพลังงาน : โปรตีน ในสูตรอาหารที่ 1 และ 2 เท่ากับ 0.9:1.0 และ 1.0:1.0 ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า ค่าเฉลี่ยการเพิ่มน้ำหนักตัวต่อวัน (0.57 และ 0.36 กก.) และ % ไขมันในนม (4.95 และ 4.89%) ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) แต่โคที่ได้รับอาหารพลังงานที่ระดับ 0.9 จะให้ผลผลิตน้ำนมที่ 4% FCM (12.87 และ 11.94 กก.) น้ำตาลแลคโตส (5.13 และ 4.87%) และของแข็งไม่รวมไขมัน (solid not fat, 9.43 และ 9.34%) ต่ำกว่า ($P<0.05$) โคที่ได้รับอาหารพลังงานและโปรตีนเท่ากับระดับที่แนะนำโดย NRC ยกเว้นเพียง % โปรตีนในนมเท่านั้นที่โคที่ได้รับอาหารพลังงานที่ระดับ 0.9 มีค่าเฉลี่ย (3.58 และ 3.72%) ที่สูงกว่า ($P<0.05$) โคที่ได้รับอาหารพลังงานที่ระดับปกติ

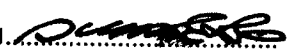
จากผลการวิจัยในครั้งนี้สรุปได้ว่า คุณค่าทางอาหารของหญ้าทุกชนิดจะลดลงตามอายุการตัดที่เพิ่มขึ้น ระยะเวลาการตัดหญ้าที่เหมาะสมคือ ควรตัดเมื่อหญ้ามียุ 30 วัน หรืออย่างมากไม่ควรเกิน 45 วัน สำหรับความต้องการโภชนะของโคนมลูกผสมพันธุ์ขาว-ดำในประเทศไทย ที่ให้ผลผลิตน้ำนมในระดับปานกลาง (10-15 กก./วัน) สรุปได้ว่า โคมีความต้องการพลังงาน (TDN) โปรตีน (CP) และเชื้อใย CF, ADF และ NDF เท่ากับระดับที่แนะนำโดย NRC (1988)

สาขาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์

ปีการศึกษา 2546

ลายมือชื่อนักศึกษา..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... 

**MR. KUNGWAN THUMMASAENG: EVALUATION OF NUTRITIVE VALUE OF
SELECTED TROPICAL FORAGES FOR THE PREDICTION OF MILK YIELD IN
MEDIUM-MILK PRODUCING DAIRY COWS IN THAILAND**

ADVISOR: ASSOC. PROF. WISITIPORN SUKSOMBAT, PH.D. 141 PP.

ISBN 974-533-299-2

The research was conducted to evaluate the nutritive and feeding values of 4 tropical grass species which consisted of 1) Ubon paspalum grass (*Paspalum atratum* cv. Ubon), 2) Jarra digit grass (*Digitaria milaniana* cv. Jarra), 3) Purple Guinea grass (*Panicum maximum* cv. Purple) and 4) Ruzi grass (*Brachiaria ruziziensis*, common Thailand type). The main objectives of this study were; 1) To evaluate the feeding value of 4 tropical grass species in both hay and silage form, 2) To study the relationship between chemical composition, nutritive value and milk production and composition, and 3) To determine the appropriate energy and protein levels for medium milk-producing cows in Thailand. Two experimental were conducted. In experiment 1, the 4 grass species were cut to make hay at 30, 45 and 60 days of age. The hays were analyzed for their chemical composition and evaluated for their feeding value by both *in vivo* and *in vitro* techniques. In experiment 2, Ubon paspalum grass was cut at 45 days of age to make silage, with 5% cassava meal added (as grass fresh weight). The silage was analyzed for its chemical composition and nutritive value. The responses in milk production and milk composition from the silage were determined in the feeding trial.

In experiment 1, the average crude protein (CP) content of hay from 3 cutting ages was highest in Jarra digit grass (11.1%) and lowest in Ubon paspalum (8.4%). There was an interaction between grass species and cutting age, with the CP content in the higher protein grasses (Jarra digit and Ruzi) reduced more significantly from 30 to 45 days than that of the lower protein grasses (Purple guinea and Ubon paspalum). Crude protein levels gradually reduced from 45 to 60 days. The 60 day old hay obtained only half the CP content of the 30 day old hay. The crude fiber (CF) and Acid detergent fiber (ADF) were highest in Purple guinea grass (33.5 and 44.2%). Fiber content in every grass species increased as maturity increased, except for Ubon paspalum grass which was not significantly affected by age of cutting.

In the digestion trial of grass hays, the assumption was, if a grass contained CP levels lower than 8%, then the supplementation of soybean meal (SBM) to raise the CP of total diet to 10% would be practiced in order to maintain good health and normal function of the digestive system of the cows. The soybean meal digestion trial was run parallel with the hay trial and then the estimation of grass hay digestibility was calculated by the difference method. Only Jarra digit grass had a high CP content and did not need supplementation with SBM. The results showed that the digestibility of CP decreased as the maturity of grass increased. Most of other nutrients were similar between the 30 day and 45 day old hay, but the 60 day old hay showed lower ($P < 0.05$) nutrient digestibility and total digestible nutrient (TDN) than the less mature hay. In the other grasses, SBM were supplemented in 60 day and/or 45 day old hay age. The supplementation of SBM enhanced grass intake and total nutrient digestibility (grass and soybean meal). Most of nutrient digestibility values were raised up to similar levels with the non SBM supplemented group. The SBM digestion trial showed the digestibility in several nutrients was over 100% and also the calculation by the Regression method gave the same result which meant an associative effect between grass and SBM occurred. This is against the criterion of the calculation by the difference and regression method. Therefore, the estimation of grass hay with the supplementation of SBM could not be calculated.

The evaluation of feed degradation in the rumen using the nylon bag technique found that the average potential degradability (P value) from 3 cutting ages of Jarra digit, Purple guinea, Ruzi and Ubon paspalum grass were 80.9, 77.9, 75.8 and 86.6% and the Index value were 47.5, 47.7, 45.7 and 51.8 respectively. An Index value of 30 is considered high enough to provide nutrients for maintenance levels in cattle. The estimated values of organic matter digestibility (OMD) and metabolizable energy (ME) using the Gas production technique were 54.0, 46.4, 51.9 and 49.0%, and 8.09, 6.93, 7.74 and 7.32 MJ ME/kg DM respectively. The estimated value of OMD were relatively low (83.6%) compared to the observed values.

In the feeding trials in experiment 2, dairy cows received a mixture of Ubon paspalum silage, soybean meal and ground corn. In trial 1, energy (TDN) and crude protein (CP) were varied at 1.0 and 1.2 times the requirements recommended by NRC (1988). The trial was divided into 2 periods (P1 & P2). In trial 2, energy levels were

reduced to 0.9 of the normal CP levels. The results found that the body weight gain varied widely ($>60\%$ CV), but 4% fat corrected milk ($P1 = 10.5-11.9$, $P2 = 13.5-14.0$ kg/h/d) and milk fat ($P1 = 4.05-4.43$, $P2 = 4.2-4.9\%$) were not affected ($P>0.05$) by different energy and protein levels in the diet. Also there was no interaction between energy and protein. Although, the reduction of energy levels to 0.9 in trial 2 did not affect body weight gain and milk fat, the reduction did affect 4% FCM (12.87 vs. 11.94 kg/d), milk lactose (5.13 vs. 4.87%) and solid not fat (9.43 vs. 9.34%) with these factors decreasing in cows receiving a lower energy diet. The only exception was that of milk protein of cows in the lower energy group which produced higher (3.72 vs. 3.58%) than the normal energy and protein level in the diet.

In conclusion, to obtain a high feeding value, grass should be cut at between 30 days and 45 days of age. The Holstein crossbred medium milk-producing cows (10-15 kg/d) should be provided with the same levels of energy (TDN) and crude protein (CP) as the NRC (1988) recommendation.

School of Animal Production Technology

Academic Year 2003

Student's Signature.....*W. Thirumany*

Advisor's Signature.....*W. S. S. S.*

Co-advisor's Signature.....*W. S. S. S.*

Co-advisor's Signature.....*W. S. S. S.*

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการสนับสนุน ช่วยเหลือ และความอนุเคราะห์ จากทั้งหน่วยงานองค์กร และบุคคลต่างๆ หลายฝ่ายจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ ซึ่งมีหน่วยงานและบุคคลต่างๆ ประกอบด้วย

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว) ที่ให้การสนับสนุนด้านงบประมาณค่าใช้จ่ายในการศึกษา และค่าดำเนินงานวิจัย ขอขอบคุณคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่อำนวยความสะดวกด้านสถานที่ทดลอง สัตว์ทดลอง เครื่องมือ-อุปกรณ์ ตลอดจนบุคลากรในการดำเนินงาน ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.วิศิษฐ์พร สุขสมบัติ รศ.ดร.วรพงษ์ สุริยภัทร รศ.ดร.ฉลอง วชิราภากร ที่ให้คำแนะนำปรึกษา และ ดร.ไมเคิล แฮร์ พร้อมทั้งเจ้าหน้าที่โครงการวิจัยพืชอาหารสัตว์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้การสนับสนุน และช่วยเหลือในการดำเนินงานเป็นอย่างดี ขอขอบคุณ อาจารย์ สุรชัย สุวรรณลี คุณวิรัช บุญสาร คุณพวน ทศพงษ์ คุณอารีรัตน์ ลุนผา คุณกิตติพัฒน์ สายประเสริฐ และคุณวันชัย อินทิแสง ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการเลี้ยงสัตว์ทดลอง และการวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ

ขอบคุณ คุณศรีประไพ คุณเกษมกล และคุณกวิสรา ธรรมแสง ที่เข้าใจ สนับสนุน และให้กำลังใจเป็นอย่างดี ตลอดระยะเวลาการทำงาน

ท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่ให้การเลี้ยงดู อบรมสั่งสอน และส่งเสริมให้ได้รับการศึกษาเป็นอย่างดีมาโดยตลอด

กังวาน ธรรมแสง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ง
กิตติกรรมประกาศ	๗
สารบัญ	๗
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญตารางผนวก	๗๓
สารบัญภาพ	๗๓
คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ	ณ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	2
1.3 สมมุติฐานการวิจัย	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2 ปรัชญ์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ส่วนประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาของพืชอาหาร	4
2.1.1 ส่วนประกอบทางเคมีในพืชอาหารสัตว์	4
2.1.2 คาร์โบไฮเดรตในพืชอาหารสัตว์.....	6
2.2 วิธีการประเมินคุณค่าของอาหารสัตว์.....	14
2.2.1 ส่วนประกอบทางเคมีของอาหาร.....	14
2.2.2 การทดสอบการย่อยได้ของอาหารในสัตว์.....	14
2.2.3 การทดสอบการย่อยได้เฉพาะที่ในสัตว์.....	21
2.2.4 การทดสอบการย่อยได้ในห้องปฏิบัติการ	25
(1) การบ่มอาหารด้วยน้ำย่อย.....	25
(2) การประเมินคุณค่าทางโภชนาด้วยวิธีการผลิตก๊าซ.....	27
2.3 ปฏิกริยาร่วมระหว่างอาหาร(Associative effects).....	28
2.3.1 การควบคุมอัตราการหมัก.....	28

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.2 การให้อาหารครบส่วน.....	29
2.4 ปริมาณการกินอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง.....	30
2.5 พลังงานและโปรตีนในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง.....	30
2.5.1 การประเมินค่าพลังงาน.....	30
2.5.2 ความต้องการพลังงานในโคนม.....	32
2.5.3 ค่าพลังงานในอาหาร.....	33
2.5.4 การประเมินคุณค่าของโปรตีน.....	36
2.5.5 ความต้องการพลังงานและโปรตีนของจุลินทรีย์.....	39
2.6 การศึกษาความต้องการโภชนะของโคนมไทย.....	41
2.6.1 ความต้องการโภชนะของโคนมรุ่นลูกผสมขาว-ดำ.....	43
2.6.2 ความต้องการโภชนะของโครีคนมลูกผสมขาว-ดำ.....	43
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	45
3.1 การศึกษาคุณค่าทางอาหารของหญ้าแห้ง.....	45
3.1.1 การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีในอาหาร.....	46
3.1.2 การศึกษาคุณค่าทางอาหารของหญ้าแห้ง.....	46
3.1.3 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ.....	46
3.2 การทดสอบหาค่าการย่อยได้ของกากถั่วเหลือง.....	47
3.2.1 การทดสอบหาค่าการย่อยได้ของกากถั่วเหลืองเมื่อใช้ หญ่กินนี้สีม่วงเป็นอาหารหยาบ.....	47
3.2.2 การทดสอบหาค่าการย่อยได้ของกากถั่วเหลืองเมื่อใช้ หญ่จาร์ราดิจิตเป็นอาหารหยาบ.....	47
3.3 การประเมินคุณค่าทางอาหารด้วยวิธีการย่อยในถุง และการผลิตก๊าซ.....	49
3.3.1 การประเมินคุณค่าทางอาหารด้วยวิธีการย่อยในถุง (In sacco nylon bag).....	49
3.3.2 การประเมินคุณค่าทางอาหารด้วยวิธีการผลิตก๊าซ (In vitro gas production).....	50
3.4 การศึกษาคุณค่าทางอาหารของหญ่หมัก.....	53
3.4.1 การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของหญ่หมัก.....	53
3.4.2 การศึกษาคุณค่าทางอาหารของหญ่หมัก.....	54
3.5 การศึกษาการตอบสนองต่อระดับพลังงานและโปรตีนในแม่โครีคนม.....	54

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5.1 การศึกษาอิทธิพลของระดับพลังงานและโปรตีน.....	54
3.5.2 การศึกษาอิทธิพลของการลดระดับพลังงานในอาหาร.....	57
4 ผลการทดลองและอภิปรายผล.....	58
4.1 ส่วนประกอบทางเคมีของหญ้าแห้ง.....	58
4.2 ปริมาณการกินได้และการย่อยได้ของหญ้าแห้ง.....	64
4.2.1 หญ้าจาร์ราดิท.....	64
4.2.2 หญ้ากินนีสีม่วง.....	64
4.2.3 หญ้ารัฐ.....	65
4.2.4 หญ้าพาสพาลัมอุบล.....	65
4.3 ผลการศึกษาการย่อยได้ของกากถั่วเหลือง.....	72
4.3.1 การย่อยได้ของอาหารเมื่อใช้หญ้ากินนีสีม่วงเป็นอาหารหยาบ.....	73
4.3.2 การย่อยได้ของอาหารเมื่อใช้หญ้าจาร์ราดิทเป็นอาหารหยาบ.....	74
4.3.3 การคำนวณการย่อยได้ของโภชนะในกากถั่วเหลือง.....	77
4.3.4 การคำนวณค่าการย่อยได้ด้วยวิธี regression.....	80
4.4 ผลการศึกษาคุณค่าทางอาหารของหญ้าแห้งด้วยวิธีการย่อยในถุงไนลอน และการผลิตก๊าซ.....	82
4.4.1 ผลการประเมินคุณค่าทางอาหารของหญ้าแห้งด้วยวิธีการย่อยในถุงไนลอน..	82
4.4.2 ผลการประเมินคุณค่าทางอาหารของหญ้าแห้งด้วยวิธีการผลิตก๊าซ.....	85
4.5 ผลการศึกษาคุณค่าทางอาหารของหญ้าหมัก และการตอบสนองต่อระดับ พลังงานและโปรตีนของโคนม	88
4.5.1 ส่วนประกอบทางเคมีและคุณค่าทางอาหารของหญ้าหมัก.....	88
(1) ส่วนประกอบทางเคมีของหญ้าหมัก.....	88
(2) คุณค่าทางอาหารของหญ้าหมัก.....	88
4.5.2 ผลการตอบสนองต่อระดับพลังงานและโปรตีนในอาหารของโคนมที่กิน หญ้าพาสพาลัมอุบลเป็นอาหารหยาบหลัก.....	92
(1) ผลการทดลองย่อยที่ 1 ครั้งที่ 1 (trial 1).....	92
(2) ผลการทดลองย่อยที่ 1 ครั้งที่ 2 (trial 2).....	96
(3) ผลการทดลองย่อยที่ 2 (trial 3).....	99
4.5.3 สรุปผลงานทดลองการตอบสนองต่อระดับพลังงานและโปรตีนในโคนม	102

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.6 อภิปรายผลทั่วไป.....	107
4.6.1 ความเที่ยงตรงของการทดลอง.....	107
4.6.2 การทำนายคุณค่าทางอาหารของหญ้าแห้งโดยใช้ส่วนประกอบทางเคมี.....	107
4.6.3 การเปรียบเทียบผลการทดลองวิธีต่างๆ และสมการทำนายจากต่างประเทศ..	109
4.6.4 คำแนะนำในการประกอบสูตรอาหารโคนม.....	112
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	116
5.1 คุณค่าทางอาหารของหญ้าแห้ง.....	117
5.1.1 ส่วนประกอบทางเคมี.....	117
5.1.2 ปริมาณการกินได้และการย่อยได้ของหญ้าแห้ง.....	117
5.1.3 ค่าการย่อยได้ของกากถั่วเหลือง.....	118
5.1.4 การย่อยสลายของอาหารในกระเพาะรูเมน.....	119
5.1.5 การประเมินคุณค่าของอาหารจากปริมาณการผลิตก๊าซ.....	120
5.1.6 สมการทำนายคุณค่าทางอาหารของหญ้าอาหารสัตว์.....	120
5.2 ผลการตอบสนองต่อระดับพลังงานและโปรตีนในโคนม.....	120
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	121
5.3.1 การศึกษาคุณค่าทางอาหารของพืชอาหารสัตว์.....	121
5.3.2 การศึกษาการตอบสนองต่ออาหารของสัตว์.....	122
5.3.3 คำแนะนำอายุการตัดหญ้าและความต้องการโภชนะของโคนม.....	122
รายการอ้างอิง.....	124
ภาคผนวก.....	134
ประวัติผู้เขียน.....	141

สารบัญตาราง

Table	หน้า
2.1 Prediction equation of organic matter digestibility and energy content from gas production.	27
2.2 Prediction equation of total digestible nutrient (TDN) content in different type of roughages from chemical composition in feed.	41
2.3 The estimation of energy and protein requirements of purebred and crossbred of Holstein heifers.	43
4.1 Chemical composition (% DM) of different grass hay species at different cutting ages.	63
4.2 Voluntary feed intake and digestibility of Jarra digit grass hay at different cutting ages.	66
4.3 Voluntary feed intake and digestibility of Purple guinea grass hay at different cutting ages.	67
4.4 Voluntary feed intake and digestibility of Ruzi grass hay at different cutting ages.	68
4.5 Voluntary feed intake and digestibility of Ubon paspalum grass hay at different cutting ages.	69
4.6 Chemical composition (% DM) of Jarra digit and Purple guinea grass hay and soybean meal.	73
4.7 Voluntary feed intake and digestibility of Guinea grass hay at different levels of soybean meal supplementation.	75
4.8 Voluntary feed intake and digestibility of Jarra digit grass hay at differences levels of soybean meal supplementation.	76
4.9 Calculation of nutrients digestibility (% DM) of soybean meal by difference method.	77
4.10 Calculation of nutrients digestibility and energy value of Purple guinea and Jarra digit grass hay by difference method, at 10 and 15% of soybean meal supplementation.	79
4.11 Dry matter digestibility of different grass hay species at different cutting ages using the nylon bag technique.	84
4.12 Predicted value of dry matter intake, digestible dry matter intake, growth rate and index value of different grass hay species at different cutting ages.	85
4.13 Gas production (Gb) in 24 hours, OMD and ME predicted value of different grass hay species at different cutting ages.	86
4.14 Comparison of methods of feed evaluation among in vivo (total collection), in vitro (gas test) and in sacco (nylon bag).	87

สารบัญตาราง (ต่อ)

Table	หน้า
4.15 Chemical composition of Ubon paspalum grass silage and concentrate feed (% DM) ..	88
4.16 Dry matter and digestible nutrients intake of dairy heifers fed Ubon paspalum grass silage with and without supplementation of concentrate feed.	91
4.17 Nutrients digestion coefficient (% DM) of Ubon paspalum grass silage with and Without supplementation of concentrate feed.	92
4.18 Feed formulation and nutrient requirement determination of dairy cows receiving 1.0 or 1.2 of energy and protein level as recommended by NRC (1988) (trial 1).....	93
4.19 Feed and nutrients intake of dairy cows receiving 1.0 or 1.2 of energy and protein level as recommended by NRC (1988) (trial 1).....	95
4.20 Body weight change, milk yield, milk composition and milk constituent yield of dairy cows receiving 1.0 or 1.2 of energy and protein level as recommended by NRC (1988) (trial 1).....	96
4.21 Feed formulation and nutrient requirement determination of dairy cows receiving .0 or 1.2 of energy and protein level as recommended by NRC (1988) (trial 2).....	97
4.22 Feed and nutrients intake of dairy cows receiving 1.0 or 1.2 of energy and protein level as recommended by NRC (1988) (trial 2).....	98
4.23 Body weight change, milk yield, milk composition and milk constituent yield of dairy cows receiving 1.0 or 1.2 of energy and protein level as recommended by NRC (1988) (trial 2).....	99
4.24 Feed formulation and nutrient requirement determination of dairy cows receiving 1.0 or 0.9 of energy level as recommended by NRC (1988) (trial 3).....	100
4.25 Feed and nutrients intake of dairy cows receiving 1.0 or 0.9 of energy level as recommended by NRC (1988) (trial 3).....	101
4.26 Body weight change, milk yield, milk composition and milk constituent yield of dairy cows receiving. 1.0 or 0.9 of energy level as recommended .. by NRC (1988)(trial 3).....	101
4.27 Summary of feed intake and milk production from silage feeding trial (3 trials) and average of Thai dairy cows.	106
4.28 Comparison of DMD and energy concentration between observed and predicted value of grass hays.....	111
4.29 ความต้องการโภชนะเพื่อการดำรงชีพ การตั้งท้อง และเพื่อการผลิตนมที่ระดับ ไขมันนม 4 เปอร์เซนต์ ของโคนมโตเต็มที น้ำหนักตัว 450 กก.....	112
4.30 การจัดสัดส่วนอาหารหยาบต่ออาหารข้น และความเข้มข้นของโภชนะในอาหารข้น เมื่อใช้ร่วมกับหญ้าแห้งและหญ้าหมักที่ระดับต่างๆ	115

สารบัญตารางผนวก

Table	หน้า
1 Feed value of 4 grass species (adapted from Martens, 2001)	135
2 Range of chemical composition and apparent digestibility of Ruzi, Jarra digit and Purple guinea grass (adapted from Martens, 2001)	136
3 Chemical composition and apparent digestibility of Guinea grass hay in Thailand	136
4 Prediction equation of feed intake and nutrient digestibility of Jarra grass hay by SPSS with adjusted R^2 (R^2_a) and standard error of the estimation ($\pm$ SD)	137
5 ความต้องการของโภชนะต่อวัน เพื่อการดำรงชีพ การตั้งท้อง การผลิตนม และการเปลี่ยนแปลงน้ำนมของโคนม	139
6 ปริมาณความต้องการอาหาร (กก. น้ำหนักแห้งต่อวัน) ของโครีดนมที่ให้น้ำนมตัว และการให้ผลผลิตน้ำนมระดับต่างๆ กัน และปริมาณอาหารหยาบที่โคได้รับ ในสัดส่วน 30 ถึง 60%	140

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 การจำแนกคาร์โบไฮเดรตที่อยู่ส่วนในของเซลล์ (cell content) และที่อยู่ในผนังเซลล์ (cell wall) ของพืช.....	8
2 ตำแหน่งที่อยู่ของคาร์โบไฮเดรตชนิดต่างๆ และ Lignin ภายในเซลล์พืช.....	9
3 คุณสมบัติด้านโภชนาการของ Neutral detergent-soluble carbohydrate.....	10
4 การประมาณค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง หลังจากการให้ร่วมกับอาหารเสริมในสัดส่วนต่างๆ กัน.....	19
5 Total dry matter digestibility of Jarra digit grass hay and soybean meal as increased Rates of soybean meal supplementation.....	81
6 Total dry matter digestibility of Jarra digit grass hay and soybean meal as increased Rates of soybean meal supplementation.....	81

คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ

ADF = Acid detergent fiber	EE = Ether extract
ADICP = Acid detergent insoluble crude protein	FCM = Fat corrected milk
ADIN = Acid detergent insoluble nitrogen	FE = Feecal energy
ADL = Acid detergent lignin	FME = Fermentable metabolizable energy
AFRC = Agricultural and Food Research Council (UK)	FOM = Fermentable organic matter
AIA = Acid insoluble ash	GE = Gross energy
AP = Absorbable protein	HI = heat increment
ARC = Agricultural Research Council (UK)	IVDMD = <i>In vitro</i> dry matter digestibility
BW = Body weight	IVOMD = <i>In vitro</i> dry matter digestibility
BW ^{0.75} = Metabolic body weight	MAFF = Ministry of Agriculture Fisheries and Food (UK)
C2 = Acetic acid	MCP = Microbial crude protein
C3 = Propionic acid	ME = Metabolizable energy
C4 = butyric acid	NDF = Neutral detergent fiber
CC = Cell contents	NDSC = Neutral detergent soluble carbohydrate
CF = Crude fiber	NE = Net energy
CH ₄ E = Methane energy	NEG = Net energy for gain
CP = Crude protein	NEL = Net energy for lactation
CWC = Cell wall constituents	NEM = Net energy for maintenance
DDMI = Digestible dry matter intake	NFE = Nitrogen free extract
DE = Digestible energy	NRC = National Research Council (USA)
DIP = Degradable intake protein	NSC = Non-structural carbohydrate
DM = Dry matter	OM = Organic matter
DMI = Dry matter intake	OMADR = Organic matter apparently digested in the rumen
DOMI = Digestible organic matter intake	PD = Potential degradability
DOMR = Digestible organic matter in the rumen	QDN = Quickly degradable nitrogen
DUP = Digestible undegraded feed protein	RDP = Ruminally degraded protein

SC = Structural carbohydrate

SDN = Slowly degradable nitrogen

TDN = Total digestible nutrient

uCP = Usable crude protein

UE = Urinary energy

UDP = Undegradable dietary protein

UIP = Undegradable intake protein

VFA = Volatile fatty acid

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

การประกอบสูตรอาหารโคนมที่ดีคือ อาหารที่เมื่อโคกินเข้าไปในปริมาณที่กำหนดให้ โคจะได้รับโภชนาต่างๆ อย่างครบถ้วนและเพียงพอกับความต้องการของร่างกาย ซึ่งนอกจากจะทำให้โคนมให้ผลตอบแทนได้สูงสุดตามศักยภาพทางพันธุกรรมแล้ว ยังเป็นการลดต้นทุนการผลิตอีกทางหนึ่ง โดยทั่วไปเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมในประเทศไทยจะให้อาหารโคโดยไม่คำนึงถึงการจัดสัดส่วนของอาหารหยาบและอาหารข้น หรือสูตรอาหารรวม (complete ration) ปัจจุบันอาจกล่าวได้ว่า ในทางปฏิบัติทั่วไปเกษตรกรจะให้อาหารข้นแก่โครีดนมในอัตรา 1 กก. ต่อปริมาณผลผลิตน้ำนม 2 กก. โดยไม่ได้พิจารณาถึงปริมาณและคุณภาพของอาหารหยาบที่โคกิน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเกษตรกรไม่ได้ตระหนักถึงความสัมพันธ์ระหว่างการใช้อาหารหยาบและอาหารข้น ประกอบกับประเทศไทยยังไม่มีคู่มือคำแนะนำมาตรฐานการให้อาหารโคนมไทย (Feeding Standard for Thai Dairy Cattle) และนักวิชาการในประเทศไทยมีการทำงานวิจัยเพื่อศึกษาความต้องการโภชนาของโคนมกันค่อนข้างน้อย ส่วนใหญ่อาศัยการอ้างอิงหรือใช้ข้อมูลจากต่างประเทศ เช่น จากสภาวิจัยของประเทศอังกฤษ (Agricultural Research Council, ARC) และโดยเฉพาะอย่างยิ่งจากสภาวิจัยแห่งชาติของประเทศสหรัฐอเมริกา (National Research Council, NRC) เป็นหลัก ซึ่งในการนำข้อมูลความต้องการโภชนาของโคนมจากต่างประเทศดังกล่าวมาใช้นั้น มีข้อที่ควรระมัดระวังหรือพิจารณาหลายประการคือ ความแตกต่างในเรื่องของพันธุ์สัตว์ ความแตกต่างในเรื่องของสภาพแวดล้อมภูมิอากาศ และความแตกต่างในด้านอาหารทั้งอาหารหยาบและอาหารข้น ซึ่งอาจส่งผลถึงปริมาณความต้องการโภชนาที่ไม่เท่ากันได้ การขาดแคลนข้อมูลยืนยันและสนับสนุนจากงานวิจัย นับเป็นปัญหาหรืออุปสรรคที่สำคัญมากอย่างหนึ่งของการพัฒนาการเลี้ยงโคนมของประเทศ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการศึกษาวิจัยด้านอาหารโคนมให้มากยิ่งขึ้น เพื่อให้สามารถรวบรวมข้อมูลและนำมาจัดทำเป็นเอกสารคำแนะนำมาตรฐานการให้อาหารโคนมสำหรับประเทศไทย

การที่จะแนะนำให้เกษตรกรนำวัตถุดิบอาหารชนิดใดๆ ไปประกอบเป็นสูตรอาหารเพื่อใช้เลี้ยงสัตว์นั้น จำเป็นต้องทราบข้อมูลเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมี และคุณค่าทางอาหาร รวมทั้งการตอบสนองด้านการให้ผลผลิตเมื่อนำไปเลี้ยงสัตว์ ดังนั้นนักวิชาการหรือผู้ที่เกี่ยวข้อง จึงควรทำการศึกษาวิจัยในประเด็นดังกล่าว เพื่อใช้เป็นแนวทางในการให้คำแนะนำการให้อาหารโคนมสำหรับเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมในประเทศไทยต่อไป

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ที่สำคัญประการหนึ่งคือ เพื่อมุ่งเน้นที่การใช้หญ้าพาสปาลัมอุบลเป็นอาหารหยาบหลักในการเลี้ยงโคนม ทั้งนี้เนื่องจากผลการวิจัยที่คณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีที่ผ่านมามีพบว่า หญ้าชนิดนี้สามารถเจริญเติบโตได้ดี มีความคงทน และปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมของจังหวัดอุบลราชธานี และเขตจังหวัดใกล้เคียงได้เป็นอย่างดี ซึ่งลักษณะพื้นที่ในเขตนี้ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นดินปนทราย ดินมีความเป็นกรดค่อนข้างสูง มีธาตุอาหารและความอุดมสมบูรณ์ต่ำ สภาพเป็นที่ลุ่มน้ำขังในช่วงฤดูฝน และดินแห้งอย่างรวดเร็วในฤดูแล้ง ซึ่งสภาพนิเวศดังกล่าวมีพืชอาหารสัตว์น้อยชนิดมากที่สามารถปรับตัวได้ดี แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับคุณค่าทางอาหารของหญ้าชนิดนี้มากนัก ดังนั้นจึงเห็นควรที่จะทำการศึกษาวิจัยคุณค่าทางอาหารของหญ้าพาสปาลัมอุบลโดยละเอียด เพื่อให้เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการใช้พืชอาหารสัตว์สำหรับเกษตรกรผู้เลี้ยงโค กระบือ ในประเทศ

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อทราบถึงส่วนประกอบทางเคมีและคุณค่าทางอาหารของหญ้าพาสปาลัมอุบล และหญ้าอาหารสัตว์ชนิดอื่นอีก 3 ชนิด ทั้งในรูปหญ้าแห้งและหญ้าหมัก

1.2.2 เพื่อทราบถึงความสัมพันธ์ของส่วนประกอบทางเคมีและคุณค่าทางอาหารที่มีต่อการตอบสนองการให้ผลผลิตน้ำนม และองค์ประกอบทางเคมีในน้ำนมของโคนมที่ได้รับสูตรอาหารผสมครบถ้วน โดยมีหญ้าพาสปาลัมอุบลเป็นอาหารหยาบหลัก

1.2.3 เพื่อให้ได้สูตรอาหารรวม (complete ration) ที่มีประสิทธิภาพสำหรับโครีดนมที่ให้น้ำนมระดับปานกลางของประเทศไทย

1.3 สมมุติฐานการวิจัย

1.3.1 ส่วนประกอบทางเคมีในพืชอาหารสัตว์จะเปลี่ยนแปลงไปตามอายุ (stage of maturity) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับคุณค่าทางอาหาร โดยเฉพาะปริมาณการกินได้ และการย่อยได้ของโภชนะต่างๆ

1.3.2 ความต้องการพลังงานและโปรตีนในโคนม จะผันแปรไปตามปริมาณการกินอาหารคุณค่าทางอาหาร สภาพทางสรีระวิทยาของสัตว์ (physiological status) และระดับการให้ผลผลิต

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

การประเมินค่าการย่อยได้ของหญ้าอาหารสัตว์ในครั้งนี้ หากหญ้าชนิดใดมีระดับโปรตีนต่ำกว่า 8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่าเป็นระดับที่ต่ำกว่าระดับความต้องการเพื่อการดำรงชีพของโค การที่ให้โคทดลองกินอาหารนี้เพียงอย่างเดียว อาจทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพของโค และค่าการย่อยได้ของอาหารนั้นอาจผิดไปจากความเป็นจริง ในกรณีเช่นนี้จะทำการเสริมกากถั่วเหลือง เพื่อปรับระดับโปรตีนในสูตรอาหารรวมให้ขึ้นมาอยู่ที่ประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นจะทำการทดลองอีกงานทดลองหนึ่ง ที่หาค่าการย่อยได้ของกากถั่วเหลือง เพื่อนำค่าที่ได้มาใช้อ้างอิงหาค่าการย่อยได้ของ

หญ้าในกรณีที่โคกินหญ้าและมีการเสริมกากถั่วเหลือง โดยวิธีการคำนวณที่เรียกว่า by difference แต่วิธีการดังกล่าวจะสามารถใช้วัดค่าการย่อยได้ของอาหารได้ถูกต้องนั้น จะต้องอยู่ภายใต้สมมุติฐานที่ว่า อาหารทั้งสองอย่างที่ใช้ร่วมกันจะต้องไม่มีปฏิกริยาร่วมต่อกัน (associative effect) กล่าวคือ เมื่อเสริมอาหารชนิดหนึ่งเข้าไปแล้วจะไม่มีผลทำให้การย่อยได้ของอาหารอีกชนิดหนึ่งเปลี่ยนแปลงไปไม่ว่าทั้งในทางที่เพิ่มขึ้น (positive effect) หรือลดลง (negative effect) แต่ถ้าพบว่าหญ้าและกากถั่วเหลืองมีปฏิกริยาร่วมต่อกัน ก็ไม่สามารถใช้วิธี by difference ในการประเมินค่าการย่อยได้ของหญ้าในงานทดลองครั้งนี้ได้

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบข่ายของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้คือ ในปีแรกทำการศึกษาคูณค่าทางอาหาร (feeding value) ของหญ้าพาสพาธลัมอุบล และหญ้าจาร์ราดิจิต ซึ่งเป็นหญ้าชนิดใหม่ที่พบว่ามีความสูง มีความสามารถในการปรับตัวได้ดีในสภาพแวดล้อมของ จ.อุบลฯ และพื้นที่ใกล้เคียง โดยเปรียบเทียบกับหญ้ารูจี และหญ่ากินนี ซึ่งเป็นหญ้าที่เกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมในประเทศไทยนิยมปลูกกันแพร่หลาย วิธีการที่ใช้ศึกษามีทั้งทำการทดลองกับตัวสัตว์ (*in vivo*) และทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ (*in vitro*) จากนั้นในปีที่ 2 จะเป็นการศึกษาถึงการตอบสนองผลผลิตน้ำนมของโคนม (feeding trial) ที่ให้ผลผลิตน้ำนมปานกลาง (ประมาณ 10-15 กก./วัน) โดยที่แม่โคกินหญ้าหมักที่ทำจากหญ้าพาสพาธลัมอุบล เป็นอาหารหลัก

นำข้อมูลที่ได้อามาหาค่า regression และสหสัมพันธ์ (correlation) เพื่อสร้างสมการทำนายการกินได้ และการย่อยได้ของโภชนะต่างๆ ตลอดจนการให้ผลผลิตน้ำนม และส่วนประกอบต่างๆ ในน้ำนม

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ทราบถึงส่วนประกอบทางเคมีและคุณค่าทางอาหารของพืชอาหารสัตว์ 4 ชนิดที่ตัดทำหญ้าแห้งเมื่ออายุต่างๆ กัน รวมทั้งหญ้าพาสพาธลัมอุบลที่เก็บถนอมไว้ในรูปของหญ้าหมัก

1.6.2 ทราบถึงระดับการเสริมพลังงานและโปรตีนที่เหมาะสมเมื่อนำหญ้าเหล่านี้ไปเลี้ยงโคนม ทั้งในรูปของหญ้าแห้งและหญ้าหมัก

1.6.3 ข้อมูลดังกล่าวสามารถใช้เป็นฐานข้อมูลในการจัดทำมาตรฐานคำแนะนำการให้อาหารโคนมของประเทศไทย (Feeding Standard for Thai Dairy Cattle) ซึ่งสามารถนำไปใช้อ้างอิงหรือเป็นแนวทางการศึกษาวิจัยด้านโภชนศาสตร์โคนมของนักวิชาการที่เกี่ยวข้องทั้งในและต่างประเทศต่อไป

1.6.4 ผลการการวิจัยในครั้งนี้คาดว่าจะ ได้คำแนะนำที่ถูกต้องเหมาะสมสำหรับเกษตรกร ที่ จะนำไปใช้ในการประกอบอาหารผสมครบส่วน (Total Mixed Ration, TMR) เลี้ยงโคนมต่อไป อันเป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและลดต้นทุนการผลิตน้ำนมดิบของประเทศ

บทที่ 2

ปรัทัศนัวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ส่วนประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนะของพืชอาหารสัตว์

หญ้าเป็นพืชในวงศ์ (Family) Gramineae ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 28 เหล่า (tribes) ในจำนวนนี้มี 6 เหล่าที่จัดว่าเป็นหญ้าที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในการนำมาใช้เลี้ยงปศุสัตว์ จากงานวิจัยทดสอบ ประเมินพันธุ์พืชอาหารสัตว์เป็นระยะเวลา 3 ปี ของ Hare *et al.* (1999) ที่ จังหวัดอุบลราชธานี และ จังหวัดใกล้เคียงสรุปได้ว่า หญ้าพาสพาลัมอุบล (*Paspalum atratum* cv. Ubon) เป็นหญ้าที่ดีที่สุด สามารถให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งได้มากกว่า 3.2 ตันต่อไร่ ในช่วงระยะเวลา 6 เดือนในฤดูฝน ส่วน หญ้าสเปลดต้า (*Setaria sphacelata* var. sericea cv. Splenda) และ หญ้าพลิเคทุลัม (*Paspalum plicatulum*) ก็ได้ผลดีเช่นกัน แต่ย้งต่ำกว่าหญ้าพาสพาลัมอุบล สำหรับหญ้าชิกแนล (*Brachiaria decumbens*) พบว่าให้ผลดีในพื้นที่ที่มีการระบายน้ำดี และเป็นหญ้าที่ให้ผลผลิตสูงที่สุดในช่วงฤดูแล้ง คือ ให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งได้มากกว่า 1.6 ตันต่อไร่ ในช่วงเวลา 6 เดือนในฤดูแล้ง ในขณะที่ หญ้ารูซี่ (*Brachiaria ruziziensis*) ซึ่งเป็นหญ้าที่เกษตรกรนิยมปลูกกันแพร่หลายในประเทศไทย ให้ผลผลิตได้ดีในปีแรก แต่ลดลงมากในปีต่อมา โดยเฉพาะในดินที่แฉะในฤดูฝนและดินแห้งอย่างรวดเร็ว ในฤดูแล้ง และหญ้าจาร์ราดิจิต (*Digitaria milaniana* cv. Jarra) เป็นหญ้าที่ดั่งตัวซ้ำในปีแรก แต่ให้ผลผลิตสูงมากในปีที่ 3 โดยให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งได้มากกว่า 4.3 ตันต่อไร่ ในช่วงเวลา 6 เดือนในฤดูฝน และเป็นหญ้าที่เจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีการระบายน้ำดี นอกจากนั้นยังเป็นหญ้าที่มีโปรตีนสูงอีกด้วย

2.1.1 ส่วนประกอบทางเคมีในพืชอาหารสัตว์

Wilkins (2000) ได้รายงานถึงส่วนประกอบทางเคมี และปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณค่าทางโภชนะของพืชอาหารสัตว์ไว้ว่า คุณค่าทางโภชนะของพืชอาหารสัตว์ขึ้นอยู่กับชนิดของหญ้า (species) และสภาพภูมิอากาศ (climate conditions) ตลอดจนการจัดการในด้านต่างๆ โดยทั่วไปพืชอาหารสัตว์มีน้ำหรือความชื้นอยู่ประมาณ 75-85 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อพืชแก่หรือมีอายุมากขึ้นความชื้นจะลดลงเหลือประมาณ 65 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งขึ้นอยู่กับระยะการเจริญเติบโต (stage of growth) ของพืช Hare *et al.* (2001) รายงานว่า อายุการตัด และอัตราการใส่ปุ๋ยในโตรเจน มีผลต่อผลผลิตน้ำหนักแห้ง (dry matter, DM) และปริมาณโปรตีน (crude protein, CP) ของหญ้า โดยพบว่า ผลผลิตน้ำหนักแห้งของหญ้าเพิ่มขึ้นตามอายุการตัด ในขณะที่ CP จะลดลง แต่ทั้งนี้ CP จะเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่ปุ๋ยในโตรเจนด้วย Harris (2001) ได้รายงานถึงส่วนประกอบทางเคมีต่างๆ ในพืชอาหารสัตว์ โดยสังเขปไว้ดังนี้

คาร์โบไฮเดรต (carbohydrates) จะมีทั้งส่วนที่อยู่ภายในเซลล์ (cell contents, CC) ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ได้ทำหน้าที่เป็นโครงสร้าง (nonstructural carbohydrate) ของพืช แต่ทำหน้าที่ในการสะสมอาหารหรือเคลื่อนย้ายอาหาร คาร์โบไฮเดรตกลุ่มนี้ย่อยได้ง่ายทั้งในสัตว์เคี้ยวเอื้องและสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง โดยส่วนใหญ่ประกอบด้วยแป้งและน้ำตาลชนิดต่างๆ เช่น น้ำตาลที่ละลายในน้ำ (water soluble sugars) ได้แก่ น้ำตาล fructose, glucose, sucrose, raffinose และ stachyose ซึ่งมีประมาณ 3-30 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับชนิดของหญ้า น้ำตาลส่วนใหญ่จะอยู่ที่ลำต้น ซึ่งมีมากกว่าในใบประมาณ 3-4 เท่า และพืชจะมีการสะสมน้ำตาลมากในช่วงระยะก่อนออกดอก สำหรับคาร์โบไฮเดรตอีกส่วนหนึ่งคือ พวกที่เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ (cell wall constituents, CWC) ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำตาลเชิงซ้อน (polysaccharides) ซึ่งทำหน้าที่เป็น โครงสร้างของเซลล์พืช (structural carbohydrate) หรือเป็นส่วนประกอบหลักของเยื่อใย (fiber) ได้แก่ cellulose ซึ่งมีประมาณ 20-30 เปอร์เซ็นต์ hemicellulose ประมาณ 10-30 เปอร์เซ็นต์ และ lignin ประมาณ 5-10 เปอร์เซ็นต์ โดยที่คาร์โบไฮเดรตเหล่านี้จะมีสัดส่วนเพิ่มขึ้นตามอายุของพืช (maturity) และคาร์โบไฮเดรตกลุ่มหลังนี้สัตว์ไม่เคี้ยวเอื้องย่อย (non ruminant) ไม่ได้หรืออาจจะได้ก็เพียงเล็กน้อย แต่ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง (ruminant) สามารถย่อยได้โดยอาศัยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน (rumen) ซึ่งปริมาณที่ย่อยได้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับส่วนประกอบหรือโครงสร้างผนังเซลล์ ดังจะได้กล่าวโดยละเอียดในหัวข้อต่อไป

สารประกอบไนโตรเจน (nitrogenous compound) ซึ่งประกอบไปด้วยโปรตีนแท้ (true protein) และสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (non-protein nitrogen, NPN) ทั้งนี้พบว่าปริมาณโปรตีนจะลดลงตามอายุของพืชที่มากขึ้น อย่างไรก็ตามสัดส่วนของกรดอะมิโนไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก และไม่ค่อยแตกต่างกันในหญ้าแต่ละชนิด สำหรับ NPN นั้นมักพบมากในพืชอายุน้อย ในพืชอาหารสัตว์ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของกรดอะมิโนอิสระ (free amino acid) และ amides เช่น glutamine และ asparagine กรดอะมิโนเหล่านี้จุลินทรีย์ในรูเมนสามารถนำไปสังเคราะห์เป็นโปรตีนต่อไปได้ นอกจากนั้นในพืชอาหารสัตว์ยังอาจพบ NPN ที่อยู่ในรูป nitrate ซึ่งถ้าสัตว์กินเข้าไปในปริมาณสูง (0.7 g nitrate-N/kg DM) จะเกิดขบวนการ reduction เปลี่ยนไปเป็น nitrite ซึ่งจะไปขัดขวางขบวนการขนถ่ายออกซิเจนของเม็ดเลือดแดงในเนื้อเยื่อและทำให้เป็นพิษในสัตว์ได้

ไขมัน (lipids) โดยทั่วไปมีปริมาณน้อย (3-6 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งวิเคราะห์โดยใช้สารอีเธอร์ (ether) เป็นตัวสกัดบางครั้งจึงนิยมเรียกว่า Ether extract (EE) การวิเคราะห์โดยวิธีนี้ทำให้รวมเอาส่วนของ triacylglycerols, waxes, phospholipids และ sterols อยู่ด้วย องค์ประกอบหลักของไขมันในพืชอาหารสัตว์คือ galactolipids ซึ่งมีสัดส่วนประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ ของไขมันทั้งหมด ส่วนกรดไขมัน (fatty acid) พบว่า 60-75 เปอร์เซ็นต์ ของกรดไขมันทั้งหมดจะเป็น Linolenic acid

แร่ธาตุ (minerals) ปริมาณแร่ธาตุในพืชอาหารสัตว์มีความผันแปรมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดพืช อายุ ลักษณะดิน และการใส่ปุ๋ย ฯลฯ ระดับปกติของแร่ธาตุหลักที่พบโดยทั่วไปในพืช

อาหารสัตว์ได้แก่ Potassium 15-30, Calcium 2.5-5, Phosphorus 2.0-3.5 และ Mg 1.2-2.0 g/kg DM ตามลำดับ

วิตามิน (vitamins) หน้าที่สำคัญคือเป็นแหล่งที่สำคัญของ carotene ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์วิตามินเอ (provitamin A) ในพืชอาหารสัตว์ที่สดและอายุน้อย มี carotene อยู่ประมาณ 550 mg/kg DM ซึ่งสูงกว่าความต้องการของแม่โคที่เลี้ยงแบบปล่อยแทะเล็มในแปลงหญ้าถึง 100 เท่า นอกจากนั้นแล้วพืชอาหารสัตว์ที่สดยังเป็นแหล่งที่ดีของวิตามินอี และ กลุ่มวิตามินบี โดยเฉพาะอย่างยิ่ง riboflavin สำหรับปริมาณวิตามินดี ในพืชอาหารสัตว์ที่อายุน้อยพบว่ามีอยู่ในระดับต่ำ แต่จะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อพืชมีอายุมากขึ้น

2.1.2 คาร์โบไฮเดรตในพืชอาหารสัตว์

คาร์โบไฮเดรตจัดเป็นกลุ่มของโภชนาที่มีสัดส่วนมากที่สุดในพืชอาหารสัตว์ เป็นโภชนาที่สำคัญที่มีผลต่อผลผลิตและสุขภาพของโคเป็นอย่างมาก และเป็นโภชนาที่ให้พลังงานสุทธิถึง 60-70 เปอร์เซ็นต์ ของพลังงานเพื่อการผลิตน้ำนม ในขบวนการหมักหรือการย่อยของคาร์โบไฮเดรตจะได้ผลผลิตเป็นกรดอินทรีย์ (organic acids) ชนิดต่างๆ โดยเฉพาะกรดไขมันระเหยง่าย (volatile fatty acids, VFAs) กรดอินทรีย์นอกจากจะเป็นแหล่งให้พลังงานแก่สัตว์แล้ว ยังใช้เป็นแหล่งของคาร์บอนที่เป็นโครงสร้าง (carbon skeleton) สำหรับให้จุลินทรีย์นำไปใช้ร่วมกับกรดอะมิโนต่างๆ แล้วสังเคราะห์ขึ้นเป็นโปรตีนที่อยู่ในเซลล์ของจุลินทรีย์ (microbial crude protein, MCP) ทั้งนี้แหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่แตกต่างกันจะให้ผลผลิตดังกล่าวในปริมาณและสัดส่วนที่แตกต่างกัน

การวิเคราะห์หาเยื่อใยหรือคาร์โบไฮเดรตประเภทที่เป็นโครงสร้าง (structural carbohydrate) ในอดีตนิยมใช้วิธีที่เรียกว่า การวิเคราะห์แบบประมาณ (proximate analysis) หรือ Weendy method องค์ประกอบของเยื่อใยที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้เรียกว่าเยื่อใยหยาบ (crude fiber, CF) ซึ่งประกอบด้วย cellulose, hemicellulose และ lignin แต่ทั้งนี้เนื่องจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้จะมีบางส่วน of hemicellulose และ lignin ถูกละลายไปในระหว่างการย่อยด้วยกรดและด่าง ดังนั้นค่าเยื่อใยที่ได้จึงมีค่าที่ต่ำกว่าความเป็นจริง นอกจากนั้นเยื่อใยส่วนที่ละลายไปนี้ถูกนำไปนับรวมอยู่ในส่วนของคาร์โบไฮเดรตส่วนที่จัดว่าเป็นพวกแป้งและน้ำตาล (nitrogen free extract, NFE) ซึ่งโดยหลักการแล้ว ถือว่าเป็นส่วนที่ย่อยได้มากและย่อยได้เร็ว ในบางครั้งอาจพบว่าการย่อยได้ของ NFE อาจมีค่าต่ำกว่าการย่อยได้ของ CF ก็ได้ ทั้งนี้เนื่องจากมีส่วนของ hemicellulose และ lignin มารวมอยู่ในส่วนของ NFE ด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอาหารหยาบคุณภาพต่ำ (วรพงษ์, 2535)

ปัจจุบันการวิเคราะห์หาเยื่อใยในอาหารสัตว์นิยมใช้วิธีที่เรียกว่า การวิเคราะห์โดยใช้สารฟอก (detergent analysis) ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย Van Soest จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ได้แยกองค์ประกอบของเยื่อใยออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่

- Neutral detergent fiber (NDF) ประกอบด้วย hemicellulose + cellulose + lignin

- Acid detergent fiber (ADF) ประกอบด้วย cellulose + lignin

- Acid detergent lignin (ADL) ประกอบด้วย lignin

การวิเคราะห์หาเชื้อใยด้วยวิธีนี้ จะได้ค่าเชื้อใยที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง และแบ่งแยกองค์ประกอบของเชื้อใยได้ชัดเจนกว่า อีกทั้งค่าที่ได้จะมีความสัมพันธ์หรือบ่งชี้ถึงคุณภาพอาหารได้ดีกว่าวิธีแรกเช่น ค่า NDF จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณการกินได้ (dry matter intake, DMI) และ DMI ก็มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับผลผลิตน้ำนม ดังนั้นปัจจัยใดที่มีผลกระทบต่อ DMI ก็จะส่งผลกระทบต่อผลผลิตน้ำนมด้วย สำหรับค่าเชื้อใย ADF จะมีความสัมพันธ์กับการย่อยได้ของวัตถุดิบ (dry matter digestibility, DMD) เป็นต้น ด้วยเหตุนี้การวิเคราะห์หาเชื้อใยปัจจุบันจึงนิยมใช้วิธี detergent analysis มากกว่าวิธี proximate analysis

Hall (1998) ให้คำจำกัดความของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้าง (nonstructural carbohydrate, NSC) ว่า หมายถึงส่วนของคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดที่ละลายได้ในสารฟอกที่เป็นกลาง ซึ่งยกเว้นคาร์โบไฮเดรตส่วนที่พบอยู่ในเชื้อใย NDF ในการประมาณค่า NSC ได้จากการคำนวณมากกว่าการวิเคราะห์โดยตรง และเนื่องจากคาร์โบไฮเดรตใน NSC มีหลายชนิด และโดยส่วนใหญ่แล้วแต่ละชนิดก็มีปริมาณน้อย ดังนั้นจึงมีความยุ่งยากที่จะวิเคราะห์แยกแต่ละองค์ประกอบได้อย่างครบถ้วน สำหรับการประมาณค่า NSC สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

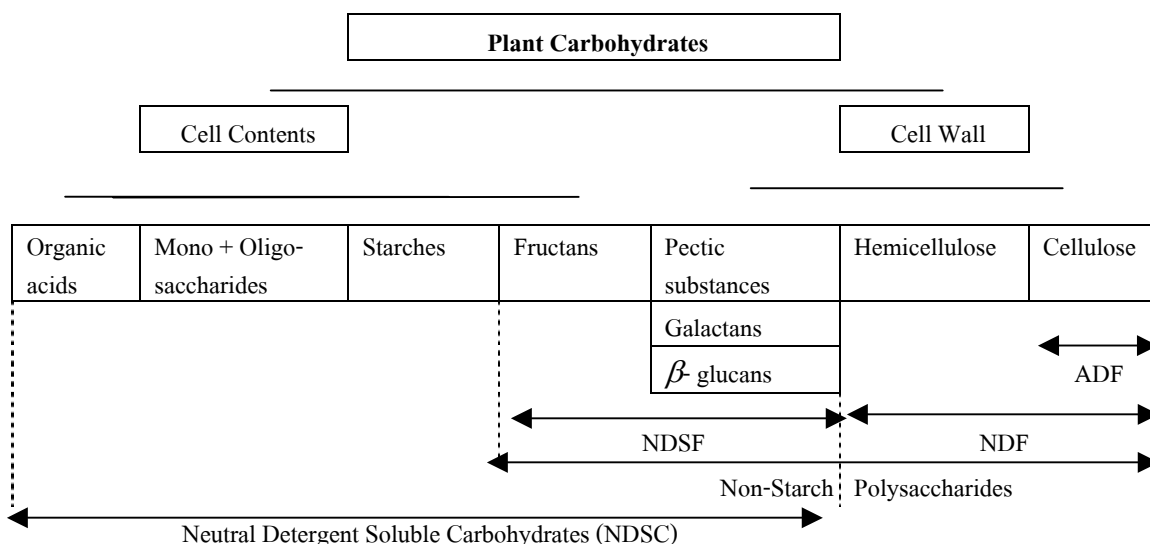
$$\begin{aligned}\text{NSC, (\%)} &= 100 - (\text{CP} + \text{NDF} + \text{EE} + \text{Ash}) \text{ หรือ} \\ &= 100 - [\text{CP} + (\text{NDF} - \text{NDFCP}) + \text{EE} + \text{Ash}]\end{aligned}$$

ทุกค่ามีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ สำหรับ NDFCP คือโปรตีนส่วนที่อยู่ในเชื้อใย NDF โดยทั่วไปนิยมใช้สมการแรกในการคำนวณ แต่อย่างไรก็ตามสมการที่ 2 มีความถูกต้องมากกว่า เพราะมีการปรับค่าโปรตีน โดยการหักค่าโปรตีนจากส่วนที่อยู่ในเชื้อใย NDF ออกก่อน เพื่อหลีกเลี่ยงการหักซ้ำ 2 ครั้งเหมือนในสมการแรก ค่า NSC ที่ได้มาจากการคำนวณโดยการหักลบโภชนะส่วนอื่นที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรตออกไป (by difference) ดังนั้นหากเกิดความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์โภชนะส่วนอื่น ความคลาดเคลื่อนก็จะถูกนำมาสะสมรวมอยู่ในส่วนของ NSC เช่น ในกรณีที่อาหารที่มี NPN สูง จะทำให้การประมาณค่าโปรตีนสูงกว่าความเป็นจริง (overestimate) และส่งผลให้ประมาณค่า NSC ต่ำกว่าความเป็นจริง (underestimate) ได้

(1) คาร์โบไฮเดรตที่อยู่ใน NSC

มีคาร์โบไฮเดรตหลายชนิดที่ละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง ขึ้นอยู่กับว่าคาร์โบไฮเดรตนั้นจะอยู่ที่ส่วนใดในเซลล์พืช ถ้าพิจารณาตามคุณสมบัติทางโภชนะ ควรจะเรียกว่า neutral detergent-soluble carbohydrate (NDSC) มากกว่าที่จะเรียกว่า non-structural carbohydrate หรือ non-fiber carbohydrate ทั้งนี้เนื่องจากว่า NDSC จะรวมทั้งคาร์โบไฮเดรตที่อยู่ในเซลล์ (cell contents, CC) และที่อยู่ในผนังเซลล์ (cell wall constituents, CWC) ดังแสดงในภาพที่ 1 โดยทั่วไป NDSC เป็นคาร์โบไฮเดรตส่วนที่ย่อยได้ง่ายและเร็วกว่าคาร์โบไฮเดรตที่อยู่ในเชื้อใย NDF แต่อย่างไร

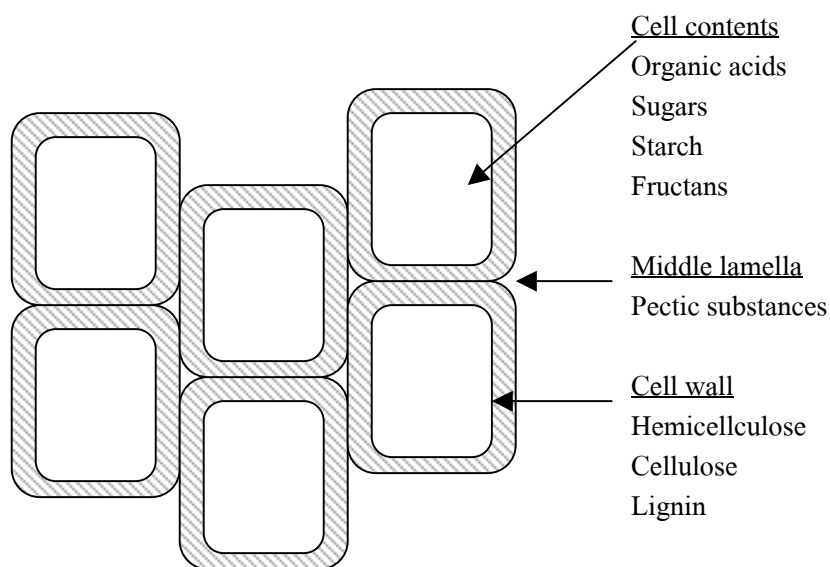
ก็ตามองค์ประกอบและคุณสมบัติของคาร์โบไฮเดรตใน NDSC ไม่มีความคงที่และแตกต่างกันไปในอาหารแต่ละชนิด ซึ่งโกลินะที่เป็นองค์ประกอบหลักใน NDSC ได้แก่ organic acids, sugars, oligosaccharides, pectic substances, (1-3) (1-4)- β -glucans และอาจมีคาร์โบไฮเดรตอื่นๆ ที่ละลายได้รวมอยู่ด้วย



ภาพที่ 1. การจำแนกคาร์โบไฮเดรตส่วนที่อยู่ภายในเซลล์ (cell contents) และส่วนที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ (cell wall); ADF = acid detergent fiber, NDSF = neutral detergent soluble fiber และ NDF = neutral detergent fiber สำหรับ lignin ที่อยู่ในส่วนของเยื่อใย ADF และ NDF ไม่ได้แสดงไว้ในที่นี้ เนื่องจากไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต

ที่มา: ดัดแปลงจาก Hall (1998)

การจำแนกคาร์โบไฮเดรตตามการย่อยได้ของสัตว์หรือจุลินทรีย์ย่อยได้เป็น 2 ประเภทคือ สัตว์มีน้ำย่อยที่สามารถย่อยน้ำตาล glucose, sucrose และแป้ง (starch) ได้ แต่ polymerized carbohydrates อื่นๆ สัตว์จะย่อยไม่ได้ ในขณะที่จุลินทรีย์สามารถย่อยคาร์โบไฮเดรตได้ทุกรูปแบบ ดังนั้นคำว่าเยื่อใย (fiber) ในทางโภชนาศาสตร์จะหมายถึง คาร์โบไฮเดรตส่วนที่น้ำย่อยของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมย่อยไม่ได้ ซึ่ง NDSC ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นและส่วนที่ไม่เป็นเยื่อใย (non-fiber and fiber components) ดังแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าส่วนของ non-fiber ประกอบด้วย organic acids, sugars และ starch สำหรับส่วนของ fiber ประกอบด้วย fructans, pectic substances และ (1-3) (1-4)- β -glucans



ภาพที่ 2. ตำแหน่งของคาร์โบไฮเดรตชนิดต่างๆ และ Lignin ภายในเซลล์พืช
ที่มา: คัดแปลงจาก Hall (1998)

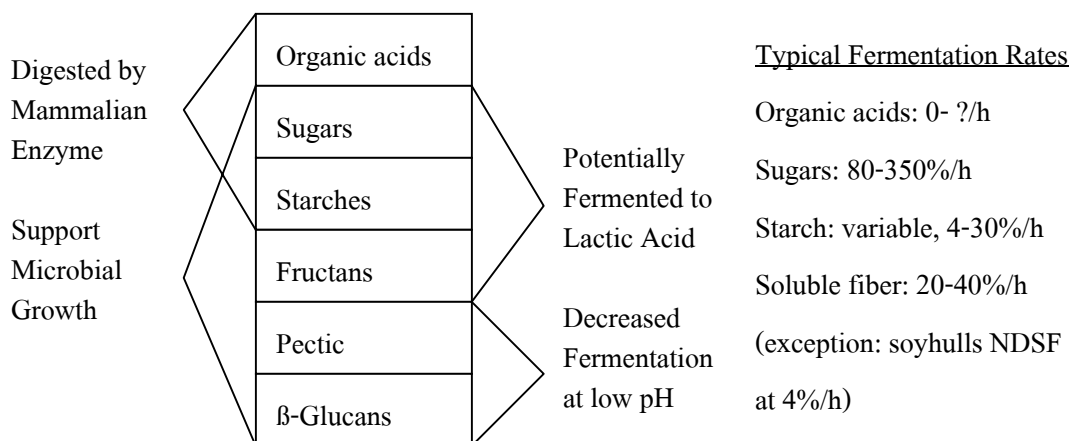
(2) คุณสมบัติของคาร์โบไฮเดรตใน NDSC ส่วนที่ไม่ใช่เยื่อใย (non-fiber)

กรดอินทรีย์ (organic acids) ที่จริงแล้วกรดอินทรีย์ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต แต่เป็นอนุพันธ์หรือสารตั้งต้น (derivatives or precursors) ของคาร์โบไฮเดรต ซึ่งกรดอินทรีย์ได้มาจาก 2 แหล่งคือ มีอยู่ในพืชที่กำลังเจริญเติบโต (growing plant) และเกิดจากขบวนการหมักของจุลินทรีย์ เช่น ในหญ้าหมัก สำหรับในพืชที่ไม่ได้หมักนั้น กรดอินทรีย์จะเป็นตัวกลางในวัฏจักร citric acid cycle หรือ Kreb's cycle เป็นสารประกอบที่ทำหน้าที่ปกป้องพืช (plant defensive compounds) กรดอินทรีย์ที่พบประกอบด้วย citrate, malate, quinate, succinate, fumarate, oxalate, shikimate, *trans*-acronitate และ malonate ในพืชอาหารสัตว์ทั่วไปจะมีกรดอินทรีย์ค่อนข้างน้อยจึงทำให้วัวเคราะห์ได้ยาก และความเข้มข้นของกรดอินทรีย์จะลดลงตามอายุของพืชที่เพิ่มขึ้น Hall (1998) รายงานถึงความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ในอาหารสัตว์ชนิดต่างๆ (%DM) ไว้ดังนี้ cool season grasses 1.3-4.5%; Alfalfa 5.8-9.8%, (2.9-7.5% malate); Red clover, 2.8-3.8%; White clover 3.0-3.5%; Bermudagrass 3-4%, (0.02-0.16% oxalic, 1.9-4.5% malate) และ citrus peel 3-4% เป็นต้น

ในพืชหมักที่ตัดพืชมาหมักเลยโดยไม่ตากหรือผึ่งก่อน (direct cut silage) ขบวนการหมักของจุลินทรีย์จะเปลี่ยนน้ำตาล แป้ง กรดอินทรีย์ และ Fructans ส่วนใหญ่ (หรือมากกว่า 15% DM) จะถูกเปลี่ยนไปเป็น lactate (12.1% DM) และ acetate (3.6% DM) แต่สำหรับในพืชหมักที่ตากหรือผึ่งก่อน (wilted silage) จะมีค่าต่ำกว่านี้ หญ้า Burmuda ซึ่งเป็นหญ้าเขตร้อนจะมีกรดอินทรีย์ต่ำกว่าพืชอาหารสัตว์ในเขตอบอุ่น (temperate forages) เพราะมีแหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่ใช้ในการหมักน้อย

กว่า (2-4% DM) เมื่อเปรียบเทียบกับหญ้า Burmuda หมักแบบ direct cut และแบบ wilted แล้วพบว่าแบบ wilted จะมีความเข้มข้นของ lactic สูงกว่า แต่มีระดับของ acetic ต่ำกว่าการหมักแบบ direct cut

ในด้านคุณค่าทางอาหารของกรดอินทรีย์พบว่า โคสามารถย่อย ดูดซึม และนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรง สำหรับกรดไขมันระเหยง่าย (volatile fatty acids, VFAs) ชนิดต่างๆ ได้แก่ acetic (C2), propionic (C3) และ butyric (C4) จุลินทรีย์ในรูเมนพร้อมที่จะหมักได้ทันที แต่เกิดขึ้นในรูเมนไม่มากนัก อย่างไรก็ตามจุลินทรีย์ในรูเมนไม่สามารถนำกรดอินทรีย์ไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตของตัวเองได้ จึงถือว่าไม่เป็นประโยชน์ต่อจุลินทรีย์ ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 คุณสมบัติทางด้านโภชนาการของ neutral detergent-soluble carbohydrates

ที่มา: ดัดแปลงจาก Hall (1998)

กรด C2 มักเป็นตัวแรกที่เป็นผลผลิตที่เกิดขึ้นจากการขบวนการหมักของกรดอินทรีย์จากพืชอาหารสัตว์ทั่วไป และในบรรดากรดอินทรีย์ทั้งหลายพบว่า malate จะเป็นตัวช่วยให้จุลินทรีย์บางชนิดนำ lactate ไปใช้ในขบวนการหมัก (uptake of lactate) และอาจมีบทบาทในการช่วยลดภาวะความเป็นกรดสูงเนื่องจากมี lactate ในรูเมนมาก (lactic acidosis) ซึ่ง lactate ที่ถูกหมักส่วนใหญ่จะเปลี่ยนไปเป็น C2 หรือ C3 ซึ่งสัดส่วนจะขึ้นอยู่กับอาหารที่โคได้รับคือ ถ้าโคที่ได้รับอาหารชั้นระดับสูงพบว่า จะผลิต C2 จาก lactate ได้น้อยกว่าโคที่ได้รับอาหารหยาบระดับสูง ถึงแม้ว่า lactate จะถูกหมักในรูเมนได้ แต่ก็จะเป็นประโยชน์ต่อจุลินทรีย์น้อย

จากรายงานการทดลองในแกะพบว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ของ lactate จะถูกหมักในรูเมน มีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่ถูกดูดซึมเข้าร่างกายสัตว์โดยตรง VFAs ที่ได้จากการหมักของ lactate คือ C2, C3 และ C4 มีสัดส่วนประมาณ 1.0:0.57:0.08 และ lactate เองไม่สามารถนำไปสังเคราะห์เป็นกลูโคสได้ แต่ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ของ lactate ทั้งหมดจะถูกเปลี่ยนเป็นกลูโคสโดยผ่านทาง C3 ก่อน Harris

(2001) รายงานว่า VFAs เป็นแหล่งสำคัญที่ให้การคาร์บอนที่ใช้สำหรับสังเคราะห์ไขมันในน้ำนม โดยเฉพาะอย่างยิ่งจาก C2 และประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ของการสังเคราะห์น้ำตาลแลคโตสในต่อมกลั่นสร้างน้ำนม (mammary glands) จะใช้กลูโคสที่สังเคราะห์มาจาก C3 ที่ดับเป็นวัตถุดิบหลัก

น้ำตาล (Sugars)

น้ำตาลที่พบในพืชอาหารสัตว์ประกอบด้วยน้ำตาลชนิด monosaccharides และ oligosaccharides สำหรับ monosaccharides หรือน้ำตาลเชิงเดี่ยว ในพืชทั่วไปส่วนใหญ่เป็นน้ำตาล glucose และ fructose เป็นหลัก ส่วน oligosaccharides จะเป็นโมเลกุลของน้ำตาลสายสั้น 2 ถึง 20 โมเลกุลต่อกัน ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาล disaccharides เช่น sucrose เป็นส่วนใหญ่ ในพืชอาหารสัตว์จะมีน้ำตาล glucose, fructose และ sucrose เป็นองค์ประกอบหลัก พบมากภายในเซลล์ (cell contents) มีความสามารถละลายน้ำได้ดี ตัวอย่างเช่น ในพืชอาหารสัตว์เขตร้อน เขตอบอุ่น กากส้ม (citrus pulp) และกากน้ำตาลจากอ้อย จะมีน้ำตาลอยู่ประมาณ 1-3, 2-8, 20 และ 60 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

น้ำตาลเหล่านี้หากไปถึงที่ลำไส้เล็กสัตว์สามารถย่อยได้โดยตรง แต่ส่วนใหญ่แล้วจะถูกหมักที่กระเพาะรูเมนและเปลี่ยนไปเป็นกรด lactic ในการหมัก sucrose ของจุลินทรีย์ในรูเมนจะได้ผลผลิตเป็นโปรตีนในจุลินทรีย์ (microbial crude protein, MCP), C2 และ C3 ซึ่งมีความใกล้เคียงกับที่ได้จากการหมักของแป้ง แต่จะได้ C4 และ lactate มากกว่าในการหมักที่ pH 6.7 ถ้าเปรียบเทียบการหมักของ sucrose ในสภาพที่รูเมนเป็นกรดมากกับมีสภาพเป็นกลาง (pH 5.5 และ 6.7) พบว่าที่ pH 5.5 จะได้ lactate มากกว่า แต่ผลผลิต MCP จะลดลงประมาณ 34 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ C2 และ C4 ลดลง ในขณะที่ C3 มีระดับใกล้เคียงกัน

ขบวนการหมักของน้ำตาลจะทำให้ได้กรดมาก ทำให้ pH ในรูเมนลดลงอย่างรวดเร็ว การเสริมกากน้ำตาลให้แก่โค ทำให้การผลิต C3 และ C4 เพิ่มขึ้น แต่ถ้าเสริมในระดับสูง จะทำให้ pH ในรูเมนลดลงมาก มีผลเสียต่อจุลินทรีย์กลุ่มที่ย่อยเยื่อใย จึงทำให้การย่อยได้ของเยื่อใยลดลง แต่อย่างไรก็ตาม จะมีข้อดีคือช่วยลดระยะเวลาที่จุลินทรีย์จะเริ่มต้นหมัก (lag time) วัตถุแห้งของหญ้าหมักหรือหญ้าแห้งให้เร็วขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเพิ่มจำนวนประชากรจุลินทรีย์ในรูเมนมีมากขึ้น

แป้ง (Starch or polysaccharides)

แป้งจัดว่าเป็นแหล่งใหญ่ในการเก็บสะสมน้ำตาลเชิงซ้อนของพืชอาหารสัตว์เขตร้อน ซึ่งพบมากในเมล็ดธัญพืชรวมทั้งเมล็ดถั่ว แป้งทั้งหมดประกอบด้วยน้ำตาล glucose รวมตัวกัน (glucose polymer) ซึ่งมีอยู่ 2 รูปแบบ คือ amylose ซึ่งเป็นโมเลกุลสายตรงของ α -(1,4)-linkages และ amylopectin ซึ่งเป็นโมเลกุลมีแขนง (branch chain) ของ α -(1,4) และ α -(1,6)-linkage การยึดเกาะกันของโมเลกุลกลูโคสแบบ α -linkages ในแป้ง เป็นรูปแบบที่น้ำย่อยของสัตว์เคี้ยวลูกด้วยน้ำนมสามารถเข้าย่อยได้ ในขณะที่ cellulose ในผนังเซลล์ของพืช ถึงแม้จะประกอบด้วย glucose เหมือน

กับแป้ง แต่การยึดเกาะกันของโมเลกุลจะเป็นแบบ β -linkages ซึ่งน้ำย่อยของสัตว์ไม่สามารถเข้าย่อยได้ ยกเว้นน้ำย่อยจากจุลินทรีย์เท่านั้นที่จะสามารถย่อยได้

ขบวนการหมักของแป้งในรูเมน จะได้ผลผลิตคล้ายกับการหมักของน้ำตาลคือ จะได้ lactate เป็นหลัก และมีแนวโน้มว่าสัดส่วนของ C2:C3 จะต่ำกว่าการหมักของคาร์โบไฮเดรตที่อยู่ในผนังเซลล์ (เยื่อใย) แม้ว่าจุลินทรีย์กลุ่มที่หมักแป้งจะมีความทนทานต่อกรดในรูเมนได้ดีกว่าจุลินทรีย์กลุ่มที่หมักเยื่อใย แต่การเจริญเติบโตจะลดลงเช่นเดียวกันถ้า pH ต่ำ ในสภาพที่ภายในรูเมนมีความเป็นกรดสูง (pH 5.8) พบว่าโปรตีนในจุลินทรีย์ (MCP) ลดลงถึง 35 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับสภาพที่รูเมนที่ค่อนข้างมีความเป็นกลาง (pH 6.7) ผลที่ตามมาคือ MCP ที่เป็นประโยชน์กับโคจะลดลงเมื่อรูเมนมีความเป็นกรดสูง ซึ่งสอดคล้องกับ NRC (1988) ที่พบว่า pH ที่ลดลงจาก 6.7 เป็น 5.7 ทำให้การผลิต MCP ลดลงถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมักจะพบในกรณีที่ให้อาหารหยาบต่ำกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ของสูตรอาหารรวม ทั้งนี้อาหารที่มีเยื่อใยอยู่จำกัดทำให้ขบวนการหมักเกิดขึ้นได้เร็ว มีผลทำให้ pH ลดลงมาก ดังนั้นเพื่อให้การสังเคราะห์ MCP เกิดขึ้นในระดับที่เหมาะสม โคควรได้รับเยื่อใย NDF จากอาหารหยาบอย่างน้อย 20 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุดิบทั้งหมด ซึ่งถ้าหากระดับของเยื่อใย NDF ลดลงต่ำกว่านี้ พบว่าผลผลิต MCP ลดลง 2.5 เปอร์เซ็นต์จากทุกๆ 1 เปอร์เซ็นต์ของเยื่อใย NDF ที่ลดลง และถ้าอาหารหยาบที่ล้มละเล็ยผลผลิต MCP ยิ่งลดลงมากถึง 3 เปอร์เซ็นต์

อัตราและปริมาณการย่อยของแป้งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง อาทิ ขนาดของชิ้นอาหาร (particle size) ชนิดของธัญพืช กรรมวิธีการแปรรูป การหมักพืช (ensiling) เป็นต้น สิ่งเหล่านี้จะมีผลกระทบต่อความเป็นประโยชน์ของแป้ง ตัวอย่างกรรมวิธีการแปรรูปอาหารแบบต่างๆ เช่น การลดขนาดของชิ้นอาหารโดยการบด การทำลายโปรตีนที่อยู่รอบเม็ดแป้ง (disrupt the protein matrix) การใช้ความร้อนและความชื้นทำให้แป้งสุก (heat and moisture gelatinizes) เช่น steam flaking จะช่วยทำลายโครงสร้างที่เป็นผลึกของแป้ง (crystalline structure of starch) กรรมวิธีการแปรรูปเหล่านี้ จะช่วยทำให้น้ำย่อยทั้งจากจุลินทรีย์หรือจากตัวสัตว์ สามารถเข้าย่อยได้ง่ายขึ้น ทำให้การย่อยได้ของแป้งทั้งในรูเมน และในระบบทางเดินอาหารส่วนอื่นๆ ของสัตว์เพิ่มขึ้น ทั้งนี้พลังงานเมตาโบไลซ์ (metabolizable energy) โดยรวมที่โคได้รับ จะดีที่สุดหากแป้งถูกหมักที่รูเมน อย่างไรก็ตามหากช่วยให้การย่อยได้ของแป้งที่ลำไส้เล็กเพิ่มมากขึ้น โคก็มีโอกาสที่จะนำกลูโคสไปใช้ได้มากขึ้น เช่นเดียวกัน

Ørskov and Fraser (1975) พบว่าการเสริมข้าวบาร์เลย์ทั้งเมล็ด (whole barley) ทำให้การย่อยได้ของเยื่อใยลดลงน้อยกว่าการเสริมในรูปข้าวบาร์เลย์บด (rolled barley) เพราะว่าโคที่กินข้าวบาร์เลย์ทั้งเมล็ดจะมีความเป็นกรดในรูเมนต่ำกว่าพวกที่กินข้าวบาร์เลย์บด และสัตว์มีการหลั่งน้ำลายออกมามากกว่า ซึ่งในน้ำลายจะมีสารประกอบต่างๆ ที่มีคุณสมบัติในการต่อต้านการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง (buffering capacity) ได้ดี ถ้า pH ในรูเมนต่ำกว่า 6.0 จะมีผลทั้งยับยั้งการทำงานและลดจำนวนประชากรของจุลินทรีย์กลุ่มที่ย่อยเซลลูโลส (cellulolytic bacteria) นอกจากนั้น การ

เสริมโซเดียมไบคาร์บอเนตในอาหารจะช่วยรักษา pH ในรูเมนให้อยู่ในระดับปกติได้ อีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้การย่อยได้ของเยื่อใยลดลง อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการแข่งขันหรือแย่งกันใช้โภชนะระหว่างจุลินทรีย์กลุ่มที่ย่อยเซลลูโลสและกลุ่มที่ย่อยแป้ง (amylolytic bacteria) ซึ่งการเสริมยูเรียในอาหารจะช่วยบรรเทาปัญหานี้ได้

(3) คุณสมบัติของคาร์โบไฮเดรตใน NDSC ส่วนที่เป็นเยื่อใย (Fiber)

Fructants หรือ **Fructosans** เป็นสายโมเลกุลของน้ำตาล fructose ที่ละลายได้ในน้ำ พบอยู่ส่วนภายในของเซลล์พืช (cell contents) คาร์โบไฮเดรตกลุ่มนี้อาจประกอบด้วย β -(2,1) linkage หรือ β -(2,6) linkage โดยมีบางส่วนของ β -(2,1) ที่เป็นแขนง (branches) ยึดเกาะอยู่ด้วย ในหญ้าเขตอบอุ่น fructants จะถูกใช้เป็นแหล่งเก็บสะสมคาร์โบไฮเดรตในช่วงฤดูหนาว โดยความเข้มข้นอาจมีตั้งแต่น้อยกว่า 1 ไปจนถึง 30 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและสภาพแวดล้อม

แม้ว่าสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมจะสามารถใช้ประโยชน์จากน้ำตาล fructose ได้ แต่ก็ไม่มีน้ำย่อยสำหรับย่อย fructans ทั้งแบคทีเรียและโปรโตซัวในกระเพาะรูเมนสามารถหมัก fructan ได้ และได้ผลผลิตเป็นกรด lactic เช่นเดียวกับที่เกิดขึ้นในพืชหมัก นอกจากนี้แล้วจุลินทรีย์ในรูเมนสามารถย่อยสลาย fructan และเก็บสะสมไว้ในรูปที่เรียกว่า “Microbial Starch” หรือเป็นแป้งที่อยู่ในจุลินทรีย์ ซึ่งเป็น polymers ของกลูโคสเช่นเดียวกับแป้ง และจะถูกจุลินทรีย์นำมาใช้ภายหลังเมื่อจุลินทรีย์ขาดโภชนะ

β -Glucans พบในส่วนของกัพพะ (endosperm) ของเมล็ดและในหญ้า มีโครงสร้างแบบ (1,4)- β -linkage ของกลูโคสเหมือนกับ cellulose แต่จะมี (1,3)- β -linkage รวมอยู่ด้วยจึงทำให้โมเลกุลมีลักษณะเป็นสายโค้งงอ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดเป็นผลึกเหมือนเช่น cellulose แหล่งที่พบมากคือข้าวบาร์เลย์และข้าวโอ๊ตก็จะมี β -glucans อยู่มากถึง 4-12 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมก็ไม่มีน้ำย่อยสำหรับย่อยคาร์โบไฮเดรตชนิดนี้ อย่างไรก็ตาม β -linkage สามารถถูกหมักได้เร็วมาก จากการทดสอบการย่อยได้ในถุงในลอน พบว่า β -linkage ถูกย่อยสลายและหายออกไปจากถุงมากถึง 61.4-70.4 เปอร์เซ็นต์ในช่วงเวลาที่ 0 และ 93.8-96.2 เปอร์เซ็นต์ในช่วงเวลาที่ 8 หลังจากการหมักในรูเมน แต่การหมักของ β -linkage ไม่พบว่าทำให้ปริมาณของกรด lactic สูงขึ้น

Pectic substances เป็นคาร์โบไฮเดรตส่วนที่มีความหลากหลายทั้งในแง่ปริมาณความเข้มข้นและองค์ประกอบอย่างมาก ส่วนใหญ่จะพบอยู่ด้านนอกระหว่างผนังเซลล์ (middle lamella) จัดเป็นพวก non-starch polysaccharides ที่ละลายน้ำได้ ในทางเคมีจัดว่าเป็นตัวเคลื่อนย้ายประจุบวก (divalent cations) เช่น Ca^{++} และ Mg^{++} เป็นต้น ช่วยเฝ้าระวังความเป็นกรดหรือด่างที่จะทำลายพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) สำหรับองค์ประกอบของน้ำตาลจะมี galacturonic acid เป็นแกนหลัก โดยมี rhamnose แทรกอยู่ ซึ่งในพืชแต่ละชนิดจะมี pectic แตกต่างกันทั้งปริมาณและองค์ประกอบ เนื่องจากเป็น pectic คาร์โบไฮเดรตที่มีโครงสร้างซับซ้อนจึงวิเคราะห์ได้ยาก จึงมีข้อมูล

ค่อนข้างน้อย ในหญ้ามี pectic อยู่ประมาณ 2-5 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในถั่วจะมีมากกว่าคือ ประมาณ 7-14 เปอร์เซ็นต์ และในถั่วอัลฟัลฟา (Alfalfa) พบว่าปริมาณของ pectic ในลำต้นจะลดลงเมื่อพืชมีอายุมากขึ้น

เนื่องจาก pectic มีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตที่มีโครงสร้างซับซ้อนและตำแหน่งการยึดเกาะของโมเลกุลที่ต่างจากแป้ง จึงทำให้น้ำย่อยของสัตว์ไม่สามารถเข้าย่อยได้ ในขณะที่น้ำย่อยของจุลินทรีย์ในรูเมนสามารถหมัก pectic ได้เร็ว โดยพบว่าอัตราการหมักของ pectic ในถั่วอัลฟัลฟาในหลอดทดลอง (*In vitro* fermentation) สูงถึง 30-40 เปอร์เซ็นต์ต่อชั่วโมง และ lignin ไม่มีผลต่อการหมัก ผลผลิตที่ได้จากการหมักมีแนวโน้มว่าสัดส่วนของ C2:C3 ค่อนข้างสูง แต่ได้ lactate เพียงเล็กน้อยหรือไม่ได้เลย ส่วนปริมาณผลผลิตของจุลินทรีย์พบว่าไม่แตกต่างจากที่ได้จากการหมักแป้ง อย่างไรก็ตามที่ระดับ pH ต่ำ (5.8) มีผลทำให้ปริมาณ pectic ที่ถูกย่อยสลายลดลง นอกจากนั้นผลผลิตของจุลินทรีย์ก็ลดลงถึง 70 เปอร์เซ็นต์ และผลผลิตของ VFAs ยังลดลงอีกด้วย ข้อแตกต่างจากแป้งอีกอย่างหนึ่งคือ pectic ที่ไม่ถูกย่อยสลายในรูเมนก็ไม่สามารถถูกย่อยที่ลำไส้เล็กของสัตว์ได้เช่นกัน

2.2 วิธีการประเมินคุณค่าของอาหารสัตว์ (Feed Evaluation Methods)

2.2.1 ส่วนประกอบทางเคมีของอาหาร (Chemical composition)

ส่วนประกอบทางเคมีในอาหารเป็นสิ่งบ่งชี้เบื้องต้นว่า อาหารนั้นมีศักยภาพในการเป็นแหล่งโภชนาให้กับสัตว์ได้มากน้อยเพียงใด ในระหว่างขบวนการย่อย การดูดซึม และเมทาโบลิซึมในร่างกายสัตว์ย่อมจะต้องเกิดการสูญเสียโภชนาบางส่วนไปอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ จึงทำให้คุณค่าทางโภชนาจริงๆ ของอาหารแตกต่างไปจากที่วิเคราะห์ได้ ดังนั้นการประเมินคุณค่าทางอาหารจึงควรเป็นไปในลักษณะที่บ่งบอกว่าเมื่อสัตว์กินอาหารนั้นเข้าไป จะสามารถนำโภชนาไปใช้ประโยชน์ตามความต้องการของร่างกายได้มากน้อยเพียงใด ขั้นตอนแรกในการประเมินคุณค่าทางอาหารคือ การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี จากนั้นเมื่อนำไปใช้เลี้ยงสัตว์จะมีการย่อยได้หรือการสูญเสียเท่าใด ซึ่งการวัดการย่อยได้ถือเป็นขั้นตอนที่สองของขบวนการประเมินคุณค่าทางอาหาร

2.2.2 การทดสอบการย่อยได้ของอาหารในตัวสัตว์ (*In vivo* digestion)

งานทดลองวัดการย่อยได้ของอาหารในตัวสัตว์ได้มีการทำเป็นครั้งแรกที่ Weende Experimental Station ในมหาวิทยาลัย Goettingen ประเทศเยอรมันนี (Schneider and Flatt, 1975) จากนั้นเป็นต้นมาได้มีการทดลองกันอย่างแพร่หลายทั่วโลก และได้มีผู้รวบรวมเทคนิคงานทดลองวัดการย่อยได้ในภาพรวม (McDonald *et al.* 1995) และ ของอาหารเฉพาะแต่ละประเภทไว้เช่น พืชอาหารสัตว์ (Minson; 1981, 1990) และฟางข้าว (Cottyn *et al.* 1989; Givens *et al.* 1989) เป็นต้น

คำจำกัดความของการย่อยได้คือ สัดส่วนของอาหารที่สัตว์กินเข้าไปแล้วไม่ถูกขับออกมาทางมูล และคาดว่าอาหารส่วนนั้นสัตว์จะดูดซึมเข้าไปในร่างกาย แต่ในความเป็นจริงสิ่งที่ขับออกมากับ

มูลไม่ได้มีเฉพาะส่วนของอาหารที่ไม่ถูกย่อยเท่านั้น ยังมีส่วนที่มาจากร่างกายของสัตว์ที่ถูกขับออกมาพร้อมกับมูลด้วย (metabolic fecal materials) เช่น น้ำย่อย หรือสารคัดหลั่งต่างๆ รวมทั้งเนื้อเยื่อในทางเดินอาหารที่หลุดลอกออกมา ถ้าคำนวณหาการย่อยได้โดยรวมเอาสิ่งเหล่านี้เข้าไปด้วย จะทำให้การประมาณค่าการย่อยได้ของอาหารนั้นต่ำกว่าความเป็นจริง และมีชื่อเรียกค่าการย่อยได้แบบนี้ว่า “Apparent digestibility” แต่ถ้ามีการวิเคราะห์หา metabolic fecal materials แล้วนำไปหักลบออกจากส่วนของอาหารที่ไม่ถูกย่อย จะได้ค่าการย่อยได้ที่เรียกว่า “True digestibility” หรือค่าการย่อยได้จริง แต่ในทางปฏิบัติการหาค่าการย่อยได้จริงเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยุ่งยากและเสียค่าใช้จ่ายสูง ส่วนใหญ่จึงนิยมใช้ค่าประมาณ โดยอ้างอิงจากนักวิจัยที่ได้ทดลองมาก่อนแล้วเช่น Minson (1990) รายงานว่า ปริมาณ metabolic material ที่ขับออกมาในมูลขึ้นอยู่กับปริมาณอาหารที่สัตว์กิน โดยเมื่อคิดในรูปของปริมาณวัตถุแห้งจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.098-0.129 g/kg ของปริมาณวัตถุแห้งที่กิน (dry matter intake, DMI) ซึ่งค่านี้สามารถนำไปใช้ได้กับพืชอาหารสัตว์ทุกประเภท อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติและค่าที่นำไปใช้อ้างอิงแล้ว จะเป็นค่า apparent digestibility มากกว่าค่า true digestibility สำหรับข้อควรพิจารณาต่างๆ ที่สำคัญในการดำเนินการทดสอบการย่อยได้ของอาหารหรือพืชอาหารสัตว์ประกอบด้วย

แผนการทดลอง (Experimental design)

การที่จะเลือกใช้แผนการทดลองแบบใดนั้น ผู้ทดลองจะต้องพิจารณาถึงวัตถุที่จะนำมาใช้ทดลอง (experimental materials) ว่ามีความสม่ำเสมอหรือความแปรปรวนมากน้อยเพียงใด เช่น การใช้แผนการทดลองแบบ crossover design จะช่วยลดความแปรปรวนระหว่างตัวสัตว์ลงได้มาก (Cottyn *et al.* 1989) แต่ถ้ามีปัจจัยในเรื่องของเวลาที่อาจมีผลกระทบต่อการทดลองเช่น อายุของพืชที่ใช้ทดลองไม่เท่ากัน กล่าวคือ เมื่อพืชมีอายุมากขึ้น ซึ่งมีผลทำให้องค์ประกอบทางเคมีหรือคุณค่าทางโภชนาการเปลี่ยนไป หรือสภาพร่างกายของสัตว์ (physiological stage) ที่เปลี่ยนแปลงไปในช่วงระหว่างการทดลอง เช่น ระยะของการให้นม (early, mid, late of lactation) ช่วงระยะการเจริญเติบโตของสัตว์ (actively growing) สิ่งต่างๆ เหล่านี้อาจทำให้ปริมาณการกินอาหาร และการย่อยได้เปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นการใช้แผนการทดลองแบบ Latin square จะช่วยลดความแปรปรวนเหล่านี้ลงได้

ระยะเวลาการปรับตัว (Adaptation period)

เป็นระยะที่ให้สัตว์ได้มีการปรับตัวให้คุ้นเคยสภาพแวดล้อมใหม่ เช่น กรงหรือคอก ขังสัตว์ อาหารทดลอง และช่วยให้สัตว์ได้มีการขับอาหารเดิมออกจากทางเดินอาหาร ตลอดจนปรับจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ในรูเมนให้มีความคงที่ การให้อาหารในช่วงระยะนี้ควรให้ในปริมาณเท่ากันและในเวลาที่ไม่เปลี่ยนแปลงทุกวัน เพื่อลดความแปรปรวนของปริมาณมูลที่ขับออกมาในแต่ละวัน การเพิ่มความถี่ในการให้อาหารพบว่าจะช่วยลดความแปรปรวนนี้ได้เช่นกัน แต่ถ้าให้อาหารวันละ 2 ครั้ง ควรให้ห่างกัน 12 ชั่วโมง อย่างไรก็ตาม การให้ตอนเริ่มและสิ้นสุดของวัน

ทำงาน (ห่างกัน 8 ชั่วโมง) ก็พออนุโลมได้ แต่ทั้งนี้ต้องให้อาหารตรงเวลาทุกวัน (Schneider and Flatt, 1975)

ระยะเวลาช่วงปรับตัวในงานทดลองกับสัตว์เคี้ยวเอื้องจะใช้เวลานานกว่าสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้องคือ อาจใช้เวลานาน 4-12 วัน (ทั่วไป 6-8 วัน) Chenost and Demarquilly (1982) แนะนำว่า ถ้าต้องการเก็บข้อมูลปริมาณการกินได้สูงสุด (maximum DMI) ควรใช้เวลาปรับตัว 10-14 วัน แต่อาจลดลงเหลือเพียง 7 วันก็ได้ ถ้าสัตว์คุ้นเคยกับอาหารนั้นมาก่อน

ชนิดสัตว์ที่ใช้ทดสอบ (Animal species)

โดยทั่วไปนิยมใช้แกะหรือโคเป็นสัตว์ทดสอบการย่อยได้ของพืชอาหารสัตว์ ยกเว้นในกรณีที่ต้องการนำผลไปใช้กับสัตว์ชนิดใดเป็นการเฉพาะก็ควรใช้สัตว์ชนิดนั้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแกะกับโค Cottyn *et al.* (1989) สรุปว่า โคมีประสิทธิภาพการย่อยอาหารหยาบคุณภาพเลวได้ดีกว่าแกะ แต่สำหรับอาหารหยาบคุณภาพดีแกะจะมีประสิทธิภาพการย่อยดีกว่าโค ดังนั้นจึงแนะนำว่า ถ้าใช้แกะเป็นสัตว์ทดลองและต้องการนำผลไปใช้กับโค ควรมีการปรับค่าเพิ่มขึ้น (positive correction) เมื่อพบว่าอาหารนั้นมีการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ (OMD) ต่ำกว่า 65 เปอร์เซ็นต์ หรือการปรับค่าลดลง (negative correction) เมื่อพบว่าอาหารนั้นมีการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ โดยมีสมการในการปรับค่าที่ได้จากแกะไปเป็นโค คือ

$$Y \text{ (as a proportion)} = 0.348 - (0.0048 \times \text{Sheep OMD})$$

สำหรับเพศของสัตว์ที่ใช้ทดสอบ โดยทั่วไปพบว่าไม่มีความแตกต่างกันในประสิทธิภาพการย่อยอาหาร แต่ส่วนใหญ่นิยมใช้เพศผู้ เนื่องจากสามารถแยกปัสสาวะออกจากมูลได้ง่ายกว่าเพศเมีย ยกเว้นกรณีที่ต้องการทดสอบการย่อยได้ของพืชอาหารสัตว์ในกรณีที่สัตว์ได้รับโภชนาในระดับสูง (high plane of nutrition) ก็จะใช้โคที่หันมมาก นอกจากนั้นยังพบว่า อายุ น้ำหนักตัว และพันธุ์ของสัตว์ ไม่ค่อยมีผลต่อการย่อยได้มากนัก แต่ทั้งนี้สัตว์ที่ใช้ทดสอบควรมีกระเพาะรูเมนที่พัฒนาและทำงานได้เต็มที่แล้ว (Givens and Moss, 1990)

ระดับการกินอาหาร (Level of feed intake)

Woods *et al.* (1999) รายงานว่า ระยะเวลาที่อาหารอยู่ในกระเพาะ (retention time) จะลดลงเมื่อปริมาณการกินอาหารเพิ่มขึ้น และการย่อยได้ของอาหารจะลดลงเมื่อปริมาณการกินอาหารเพิ่มขึ้น โดยที่ Givens (1990) พบว่าการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุลดลง 0.04 หน่วยเมื่อการกินอาหารเพิ่มขึ้น 1 เท่าจากการกินได้ที่ระดับเพื่อการดำรงชีพ อย่างไรก็ตาม Cottyn *et al.* (1989) รายงานว่า การเพิ่มปริมาณการกินอาหารมีผลเพียงเล็กน้อยต่อการย่อยได้ของอาหารหยาบที่ให้ในลักษณะที่เป็นเส้นยาว หรือสับไม่สับเกินไป (long or coarsely chopped forages)

วิธีการต่างๆ ที่ใช้วัดการย่อยของอาหารในตัวสัตว์ มีทั้งวิธีการวัดโดยตรง (direct method) และวิธีการวัดทางอ้อม (indirect method) ดังรายละเอียดที่จะกล่าวถึงต่อไป สำหรับวิธีที่ถือ

ว่าเป็นมาตรฐานในการวัดการย่อยได้ของอาหารในสัตว์คือ วิธีเก็บตัวอย่างทั้งหมด (total collection) ซึ่งมีหลักการที่สำคัญคือ ทำการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีหรือโภชนะของอาหารที่ต้องการทดสอบ จากนั้นนำอาหารไปให้สัตว์กินโดยบันทึกปริมาณอาหารที่สัตว์กินได้ แล้วทำการชั่งน้ำหนักมูลทั้งหมดที่สัตว์ถ่ายออกมา เก็บตัวอย่างมูลไปวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี และคำนวณหาผลต่างระหว่างปริมาณอาหารที่สัตว์กินเข้าไป (feed intake) และปริมาณมูลที่สัตว์ขับออกมา (fecal output) หรือจะเป็นผลต่างระหว่างปริมาณโภชนะที่สัตว์กินเข้า และปริมาณโภชนะที่ขับออกมา กับมูลก็ได้เช่นกัน ทั้งนี้โภชนะที่ขับออกมากับมูลจะรวมถึงเนื้อเยื่อของร่างกายที่ถูกขับออกมาด้วย (metabolic fecal materials) ซึ่งถ้าไม่หักส่วนดังกล่าวออก จะได้ค่าการย่อยได้ที่เรียกว่า apparent digestibility สำหรับการวัดการย่อยได้โดยวิธีเก็บตัวอย่างทั้งหมด (total collection) แบ่งออกเป็น 3 วิธีย่อยได้แก่

(1) การวัดการย่อยได้โดยตรง (Direct method)

ใช้ในกรณีที่ให้สัตว์กินพืชอาหารสัตว์ที่ต้องการทดสอบเพียงชนิดเดียว โดยสัตว์ที่นำมาใช้ทดสอบต้องมีสุขภาพที่ดี และกระเพาะรูเมนมีการทำงานที่ปกติ Cottyn *et al.* (1989) แนะนำว่า ถ้าอาหารที่ต้องการทดสอบมีการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุต่ำกว่า 0.55 หรือมากกว่า 0.75 ไม่ควรให้สัตว์กินอาหารนั้นเพียงอย่างเดียว หรือโคที่ให้นมมากต้องมีการเสริมอาหารขึ้นด้วย เพื่อปรับโภชนะให้สมดุลและเพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย และในกรณีทดสอบการย่อยได้ของฟางข้าวค่อนข้างยุ่งยาก เพราะต้องมีการเสริมทั้งพลังงานและโปรตีนให้เพียงพอ ถ้าต้องการให้สัตว์กินอาหารที่ต้องการทดสอบเพียงชนิดเดียว อาหารนั้นควรมีลักษณะหรือคุณสมบัติต่างๆ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในวัตถุดิบ ดังนี้

- มีอาหารหยาบที่มีลักษณะเป็นเส้นยาว (long forage) ไม่น้อยกว่า 20%
- มีไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fat) ไม่เกิน 5%
- มีไขมันที่อิ่มตัว (saturated fat) ไม่เกิน 10%
- มีเยื่อใยหยาบ (crude fiber) ไม่ต่ำกว่า 18%
- มีโปรตีนหยาบ (crude protein) ประมาณ 12-20%
- มีคาร์โบไฮเดรตประเภทแป้งต่ำกว่า 400 %
- มีน้ำตาลต่ำกว่า 20%

จากคำแนะนำนี้จะเห็นได้ว่า พืชอาหารสัตว์หรืออาหารหยาบโดยเฉพาะในเขตร้อนโดยส่วนใหญ่มีคุณค่าทางอาหารค่อนข้างต่ำ จำเป็นต้องมีการเสริมอาหารชนิดอื่น เพื่อปรับโภชนะให้มีความสมดุลและเหมาะสมต่อการย่อยของจุลินทรีย์ในรูเมน ดังนั้นควรใช้การทดสอบหาการย่อยได้ด้วยวิธี difference method หรือ regression method ดังจะได้อธิบายต่อไป

การคำนวณผลการย่อยได้ของวัตถุดิบ (dry mater digestibility, DMD) ดังแสดงในสมการ

$$\text{DMD, \%} = \frac{\text{DM intake} - \text{Faecal DM excreted}}{\text{DM intake}} \times 100$$

ในการคำนวณการย่อยได้ของโภชนะอื่นๆ ก็แทนค่าในสมการได้เช่นเดียวกับการย่อยได้ของวัตถุแห้ง สำหรับพืชอาหารสัตว์ยังนิยมคำนวณ สัดส่วนของการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุที่มีอยู่ในวัตถุแห้ง (digestible organic matter in the dry matter, DOMD) หรือบางครั้งเรียกว่าค่า D value ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$\text{DOMD, \%} = \frac{\text{OM intake} - \text{Faecal OM excreted}}{\text{DM intake}} \times 100$$

(2) Difference method

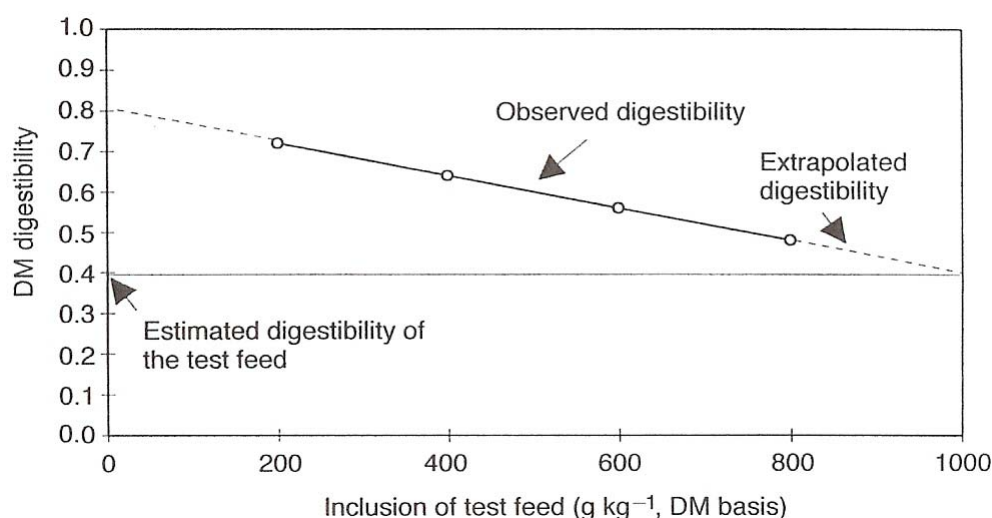
ใช้ในกรณีที่ไม่สามารถให้อาหารเพียงชนิดเดียวแก่สัตว์ทดลองได้ เช่น ถ้าให้สัตว์เคี้ยวเอื้องกินอาหารขึ้นอย่างเดียว จะทำให้ความเป็นกรดในกระเพาะรูเมนสูง (acidosis) จนทำให้สัตว์ไม่สามารถกินและย่อยอาหารต่อไปได้ หรืออาหารหยابบางอย่างที่ขาดความสมดุลของโภชนะ และขาดโภชนะที่จำเป็นบางอย่างมากโดยเฉพาะโปรตีน ซึ่งจะทำให้ระบบการย่อยอาหารของสัตว์ผิดปกติ กรณีเหล่านี้จำเป็นต้องใช้อาหารผสม (mixed feed) หรือเสริมอาหารอย่างอื่นเข้าไป เพื่อปรับอาหารให้มีความสมดุลและเหมาะสมต่อระบบการย่อยอาหารของสัตว์ หรือการทำงานของจุลินทรีย์ในรูเมน สำหรับอาหารที่นำมาผสมหรือใช้เสริมนั้น เป็นอาหารที่ทราบค่าการย่อยได้แล้ว จากนั้นนำมาคำนวณหักลบออกจากอาหารที่ต้องการทดสอบ แต่ทั้งนี้ก็มีข้อกำหนดหรือสมมุติฐานที่สำคัญคืออาหารที่นำมาผสมหรือใช้เสริมจะต้องไม่มีปฏิสัมพันธ์ (interaction หรือ associative effect) กับอาหารที่ทดสอบ หรือไม่ทำให้การย่อยได้ของอาหารที่ทดสอบเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ทั้งในทางที่เพิ่มขึ้น (positive effect) และลดลง (negative effect) ซึ่งถ้าหากผิดจากข้อกำหนดนี้ การคำนวณการย่อยได้โดยวิธีนี้ จะทำให้ค่าการย่อยได้ของโภชนะในอาหารทดสอบคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง สำหรับการคำนวณการย่อยได้ด้วยวิธี difference method ดังแสดงในสมการ

$$\text{DMD of test feed} = \frac{\text{DM intake of test feed} - (\text{Faecal DM} - \text{Faecal DM from excreted base feed})}{\text{DM intake of test feed}}$$

(3) Regression method

วิธีการนี้คือ การใช้หลักวิธีการทางสถิติ (statistical method) โดยวิธีรีเกรสชันมาช่วยในการคำนวณหาค่าการย่อยได้ ซึ่งทำโดยการให้อาหารทดสอบร่วมกับอาหารเสริมในสัดส่วนต่างๆ หลายระดับ ยกตัวอย่างเช่น ต้องการทดสอบการย่อยได้ของหญ้าชนิดหนึ่ง แต่ไม่สามารถให้สัตว์กินหญ้าชนิดนั้นเพียงอย่างเดียว จึงให้กินร่วมกับอาหารขึ้น โดยจัดสัดส่วนในอาหารคิดเป็นน้ำ

หนักแห้งเช่น ในอาหารผสม 1 กก. จัดให้มีอาหารหยาบ 200, 400, 600 และ 800 กรัม หรือคิดเป็นสัดส่วนเท่ากับ 20, 40, 60 และ 80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากนั้นนำอาหารไปทดสอบหาการย่อยได้ โดยวิธีเก็บตัวอย่างทั้งหมด (total collection) แล้วนำค่าสังเกตที่ได้มาคำนวณด้วยสมการรีเกรสชันเส้นตรง (linear regression) และทำการประมาณค่าการย่อยได้ของอาหารหยาบ โดยการทำนายค่าออกไปนอกช่วง (extrapolation) ที่ระดับอาหารหยาบ 1,000 กรัม/น้ำหนักแห้ง 1 กก. หรือ 100 เปอร์เซ็นต์ ก็จะสามารถประมาณค่าของการย่อยได้ของหญ้าเพียงอย่างเดียวได้ ดังแสดงในภาพที่ 4 ซึ่งข้อกำหนดหรือสมมุติฐานที่สำคัญเหมือนกับวิธี difference method คือ ต้องไม่มีปฏิกิริยาร่วมต่อการย่อยได้ระหว่างอาหารที่นำมาผสมกัน



ภาพที่ 4 การประมาณค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบของอาหารทดสอบ หลังจากการให้ร่วมกับอาหารเสริมในสัดส่วนต่างๆ กัน

ที่มา: Rymer (2000)

(4) การวัดการย่อยได้โดยทางอ้อม (Indirect method)

สำหรับกรณีที่ไม่สามารถวัดปริมาณอาหารที่สัตว์กินและปริมาณมูลที่ขับออกมาได้ เช่น สัตว์ที่เลี้ยงแบบปล่อยแทะเล็มในแปลงหญ้า กรณีเช่นนี้ยังสามารถประมาณการย่อยได้โดยวิธีการใช้ตัวชี้บ่ง (marker or indicator) ซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญของสารที่ใช้เป็นตัวชี้บ่งคือ ไม่ถูกย่อยและไม่ถูกดูดซึม ตลอดจนไม่ถูกเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในทางเดินอาหารของสัตว์ และถูกขับออกมากับมูลทั้งหมดในอัตราที่สม่ำเสมอ (Omed, 1986) ทั้งนี้การเก็บตัวอย่างอาหารและมูลที่จะนำมาวิเคราะห์ต้องเป็นตัวแทนที่แท้จริง (representative sample) วิธีการประมาณการย่อยได้ทำได้โดย วัดความเข้มข้นของสารตัวชี้บ่งในอาหารและในมูล โดยไม่จำเป็นต้องเก็บมูลทั้งหมด แล้วนำมาคำนวณค่า

ประมาณการย่อยได้ โดยอาศัยหลักการที่ว่า ปริมาณสารตัวชี้บ่งที่กินเข้าไปมีปริมาณเท่ากับสารตัวชี้บ่งที่ขับออกมาทางมูล ดังแสดงในสมการ

$$\text{Marker input} = \text{Marker output} \quad \text{หรือ}$$

$$\text{Feed intake} \times \text{concentration of marker in feed} = \text{Feecal output} \times \text{concentration of marker in feecal} \quad \text{หรือ}$$

$$[\text{Marker}]_{\text{Feed}} \times \text{Feed intake} = [\text{Marker}]_{\text{Faeces}} \times \text{Feecal output}$$

สำหรับ $[\text{Marker}]_{\text{Feed}}$ และ $[\text{Marker}]_{\text{Faeces}}$ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง ส่วน feed intake และ feecal output มีหน่วยเป็น kg DM/day ปริมาณมูลที่สัตว์ขับออกมามีจำนวนได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{Feecal output} = \frac{[\text{Marker}]_{\text{Feed}} \times \text{Feed intake}}{[\text{Marker}]_{\text{Faeces}}}$$

เมื่อทราบค่าปริมาณมูลที่สัตว์ขับออกมาแล้ว นำไปคำนวณค่าการย่อยได้ดังสมการ

$$\text{Digestibility, \%} = \frac{\text{Feed intake} - \text{Feecal output}}{\text{Feed intake}} \times 100 \quad \text{หรือ}$$

$$\text{Digestibility, \%} = 1 - \frac{[\text{Marker}]_{\text{Feed}} \times \text{Feed intake}}{[\text{Marker}]_{\text{Faeces}} \times \text{Feed intake}} \times 100 \quad \text{หรือ}$$

$$\text{Digestibility, \%} = 1 - \frac{[\text{Marker}]_{\text{Feed}}}{[\text{Marker}]_{\text{Faeces}}} \times 100$$

สารที่ใช้เป็นตัวชี้บ่งอาจเป็นสารที่มีอยู่ในอาหารตามธรรมชาติ เรียกว่าตัวชี้บ่งภายใน (internal marker) หรืออาจเป็นสารเคมีที่เติมลงไปในการอาหาร ซึ่งเรียกว่าตัวชี้บ่งภายนอก (external marker) แต่การผสมสารเคมีกับพืชอาหารสัตว์ทำได้ยาก ในระยะหลังมักใช้วิธีการออกเ้าทางปาก หรือใช้ในรูปแบบของแคปซูลที่สลายตัวช้า และค่อยๆ ปลดปล่อยสารตัวชี้บ่งออกมา วิธีการเหล่านี้ทำให้การจัดการยุ่งยากขึ้น และอาจทำให้สัตว์เกิดความเครียดขึ้นได้ ตัวอย่างสารที่ใช้เป็นตัวชี้บ่งภายใน เช่น lignin, ADF, indigestible acid detergent lignin (IADF), acid insoluble ash (AIA ส่วนใหญ่จะใช้ซิลิกา), n-alkanes ของไขมันสาขยาว (C-25 ถึง C-35) สำหรับตัวชี้บ่งภายนอกที่นิยมใช้กันมากคือ chromic oxide (Cr_2O_3)

แหล่งของความแปรปรวนที่สำคัญในการประมาณค่าการย่อยได้ด้วยวิธีนี้คือ เกิดความคลาดเคลื่อนในการสุ่มตัวอย่างอาหารและมูลที่ทำให้ไม่ได้ตัวแทนที่แท้จริง และความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารตัวชี้บ่งทั้งในอาหารและมูล ซึ่งถ้าหากเกิดความผิดพลาดในการวิเคราะห์จุดใดจุดหนึ่งขึ้น ก็ไม่สามารถคำนวณผลการทดลองได้ นอกจากนั้นแล้วสารตัวชี้บ่งส่วนใหญ่ไม่ว่าจะถูกย่อยไม่ได้เลย อาจมีบางส่วนถูกย่อยหรือเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไป

และเกิดการสูญหายไปทางเดินอาหาร ทำให้ปริมาณการตรวจพบ (recovery percentage) ไม่ครบ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามข้อกำหนด

การเก็บตัวอย่างพืชที่สัตว์กิน โดยให้ได้ตัวแทนที่แท้จริง (representative sample) เป็นสิ่งที่ทำได้ยากในสัตว์ที่เลี้ยงแบบปล่อยแทะเล็ม โดยเฉพาะในแกะที่มีพฤติกรรมการเลือกกิน การใช้สัตว์ทดลองที่ผ่าตัดและฝังกระบอกเก็บตัวอย่างที่หลอดอาหาร (fistulated oesophagus) จะช่วยให้การเก็บตัวอย่างอาหารที่สัตว์กินได้อย่างถูกต้องยิ่งขึ้น

2.2.3 การทดสอบการย่อยได้เฉพาะที่ในตัวสัตว์ (*In situ* technique)

การวัดการย่อยได้ของอาหารเฉพาะจุดใดจุดหนึ่งในทางเดินอาหารของสัตว์โดยตรง เรียกว่า *In situ* technique วิธีที่นิยมใช้วัดอัตราการย่อยสลายของอาหารหรือโภชนะในกระเพาะรูเมน (rate of degradation in the rumen) คือ เทคนิคการทดสอบการย่อยได้ในถุงไนลอน (nylon bag technique) ซึ่งถุงที่ใช้เป็นวัสดุที่ทำจากใยสังเคราะห์ เช่น nylon, dacron หรือ polyester ซึ่งมีคุณสมบัติไม่ถูกย่อยสลายโดยน้ำย่อยของสัตว์หรือจุลินทรีย์ มีขนาดเล็กประมาณ 30-60 ไมครอน (µm) ที่จุลินทรีย์สามารถผ่านเข้าไปย่อยอาหารได้ แต่ชิ้นอาหารที่ยังไม่ถูกย่อยจะไม่สามารถเล็ดลอดออกมาได้ วิธีการทำโดยนำอาหารจำนวนเล็กน้อยบรรจุใส่ถุง จากนั้นนำถุงไปจุ่มแช่ (incubate) ไว้ในกระเพาะรูเมนของสัตว์ที่ผ่าตัดเจาะกระเพาะรูเมนและฝังกระบอกพลาสติกที่มีฝาปิดไว้แล้ว (fistulated animal) ตามระยะเวลาต่างๆ กัน การประมาณค่าการย่อยสลายในกระเพาะรูเมน (rumen degradability) คือ การวัดส่วนของอาหารที่หายไปจากถุง หรืออาหารทั้งหมดคลบด้วยอาหารส่วนคงเหลืออยู่ในถุง Blümmel and Ørskov (1993) พบว่า การย่อยสลายของอาหารในรูเมนมีสหสัมพันธ์ (correlation) กับค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง (*In vivo* dry matter digestibility, DMD) ดังนี้

$$\text{DMD, \%} = \frac{0.232a + 0.0552b + 8c - 1.208}{1.66 + 0.49a + 0.0297b - 4c} \times 100$$

ซึ่ง a = ส่วนที่ละลายน้ำได้, b = ส่วนที่ไม่ละลายน้ำแต่ถูกหมักย่อยได้ และ c = อัตราการย่อยสลาย (ส่วน/ชั่วโมง)

เนื่องจากการศึกษาการย่อยสลายของอาหารด้วยวิธี *In situ* มีข้อจำกัดหลายอย่าง และมีจุดที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ง่าย Broderick and Cochran (2000) ได้เสนอแนะวิธีการเพื่อปรับให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน (standardize procedures for *In situ* methodology) ดังนี้

อาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์

ควรให้อาหารผสม (mixed ration) ที่มีส่วนผสมของอาหารหยาบต่ออาหารข้นในสัดส่วนประมาณ 60:40 เพื่อให้ใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงที่จะนำไปใช้ และอาหารหยาบควรมีคุณภาพดี โดยทั่วไปนิยมใช้หญ้าแห้ง ทั้งนี้พยายามให้สัตว์ได้รับโภชนะเพียงพอต่อความต้องการในระดับเพื่อการดำรงชีพ

ถุงใส่อาหารทดสอบ

ทำจากวัสดุสังเคราะห์ที่ไม่ถูกย่อยโดยน้ำย่อยของสัตว์หรือจุลินทรีย์ มีคุณสมบัติป้องกันไม่ให้อาหารที่มีชิ้นขนาดเล็กหลุดลอดออกไปได้ ในขณะที่เดียวกันยอมให้ของเหลวในกระเพาะรูเมน รวมทั้งจุลินทรีย์ และผลผลิตสุดท้ายที่ได้จากการย่อยสลายสามารถผ่านเข้า-ออกถุงได้ โดยสะดวก AFRC (1992) แนะนำให้ใช้ถุงที่มีขนาดรู (pore size) 30-60 μm ใส่อาหารลงไปประมาณ 5 กรัม หรือให้มีสัดส่วนของอาหารต่อพื้นที่ถุง (sample: surface area ratio) คือ 10-15 มิลลิกรัมของน้ำหนักแห้งต่อพื้นที่ถุง 1 ตารางเซนติเมตร

อาหารทดสอบ

เพื่อความสะดวกในการทำงาน การวิเคราะห์ตัวอย่าง และเลียนแบบสภาพการเคี้ยวอาหาร และการเคี้ยวเอื้องของสัตว์ Uden and Van Soest (1984) แนะนำว่า อาหารที่ใช้ทดสอบควรบดผ่านตะแกรงขนาด 2 มม. (โดยทั่วไปใช้ในช่วง 1.5-3 มม.) หรืออาหารหยาบอาจใช้ตะแกรงขนาด 4-5 มม. ก็ได้ แต่ก่อนนำไปวิเคราะห์ต้องทำการบดซ้ำอีกครั้ง

สัตว์ที่จะใช้ทดสอบ

แกะหรือโคมีการย่อยสลายของอาหารในรูเมนไม่แตกต่างกันมากนัก สามารถเลือกใช้อย่างใดอย่างหนึ่งได้ แต่การใช้แกะเป็นสัตว์ทดสอบมีข้อจำกัดคือ กระเพาะรูเมนมีขนาดเล็กทำให้ใส่ถุงตัวอย่างได้จำนวนน้อย (AFRC, 1992)

จำนวนซ้ำ

Ørskov (1982) รายงานว่า แหล่งของความผันแปรในการทดลอง (source of variation) เรียงลำดับจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ ตัวสัตว์ วันที่ทดสอบ และถุงอาหารทดสอบ ในขณะที่ Wilkerson *et al.* (1995) และ Vanzant *et al.* (1996) กลับพบว่า วันที่ทดสอบมีความผันแปรมากกว่าตัวสัตว์ ส่วนใหญ่แนะนำให้ใช้สัตว์ 2-4 ตัว ไม่ค่อยเน้นเรื่องซ้ำของวันและจำนวนถุงมากนัก นอกจากนั้น Nocek (1988) และ Madson and Hvelplund (1994) แนะนำให้ใช้อาหารมาตรฐาน (standard feed) ร่วมในการทดสอบด้วยทุกครั้ง

สภาพแวดล้อมในการบ่ม

ควรพยายามให้มีการเคลื่อนที่ของของเหลวและก๊าซเข้า-ออกจากถุงได้สะดวก โดยให้ถุงจุ่มแช่อยู่ในน้ำรูเมนตลอดเวลา แต่สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระภายในกระเพาะรูเมน หรือนำถุงอาหารทดสอบหลายๆ ใบ (20-30ใบ) บรรจุใส่ในถุงขนาดใหญ่ (ประมาณ 36 x 42 ซม.) ที่ทำจาก polyester ถักเป็นตาข่ายหยาบๆ มัดเชือกปากถุงให้ปลายเชือกมาผูกโยงไว้ที่ฝาปิดกระบอกด้านนอก (fistula cap) เพื่อให้สามารถค้นหาถุงอาหารได้ง่าย นำถุงใหญ่นี้ใส่เข้าไปในกระเพาะรูเมน พยายามให้ถุงอยู่ลึกลงไปด้านล่างของกระเพาะ (ventral rumen) ถ้าหากถุงนี้ลอยขึ้นมาด้านบนของกระเพาะอาจใช้วัสดุที่มีน้ำหนักพอประมาณใส่ไว้ในถุงเพื่อถ่วงน้ำหนักก็ได้

วิธีการเอาถุงอาหารใส่หรือนำออกจากกระเพาะรูเมน

ส่วนใหญ่นิยมใส่พร้อมกันทั้งหมดแล้วทยอยนำออกตามเวลาที่กำหนด หรืออาจจะทยอยใส่ตามเวลาแล้วนำออกพร้อมกันทั้งหมดก็ได้ แต่ละวิธีมีข้อดี-ข้อเสียแตกต่างกันคือ วิธีแรกอาจเกิดความผันแปรจากการล้างถุงแต่ละชุดไม่เหมือนกัน แต่การปรับวิธีการล้างให้มาตรฐานจะช่วยลดปัญหานี้ได้ สำหรับวิธีที่สองจะมีปัญหาในเรื่องของสภาพภายในกระเพาะรูเมน (incubation condition) แตกต่างกันในแต่ละเวลาที่นำถุงใส่เข้าไป ซึ่งการปรับสภาพภายในกระเพาะรูเมนให้คงที่หรือเหมือนกันตลอดเวลา เป็นเรื่องที่ทำได้ยากกว่าการปรับวิธีการล้างถุงให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน

วิธีการล้างถุง

การล้างถุง (rinsing technique) ทำเพื่อหยุดกิจกรรมการทำงานของจุลินทรีย์ และลดการปนเปื้อนของอาหาร วิธีการล้างอาจล้างด้วยมือ ทำโดยคลี่ถุงให้กางออกแล้วเปิดน้ำก๊อก (อุณหภูมิน้ำเย็นปกติ) ให้ไหลชะถุง พร้อมทั้งใช้นิ้วมือบีบคลี่ถุงเบาๆ ให้ทั่ว จนกระทั่งน้ำที่ออกจากถุงมีลักษณะใส วิธีนี้มีความผันแปรค่อนข้างสูง (Nocek, 1988; Wilkerson *et al.* 1995) อีกวิธีหนึ่งคือการล้างด้วยเครื่องซักผ้า Coblenz *et al.* (1997) แนะนำให้ใช้ถังซักที่มีความจุ 45 ลิตร ใช้การล้าง 1 นาทีแล้วปั่นอีก 2 นาที พบว่าในโตรเจนในน้ำที่ล้างออกมาในครั้งแรกมีมาก และจะยังไม่คงที่จนหลังจากการล้างน้ำที่ 4 ไปแล้ว ดังนั้นจึงแนะนำให้ล้างและปั่นไม่น้อยกว่า 5 รอบ

การปรับค่าการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์

ปริมาณการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ มักไม่ค่อยมีปัญหาในอาหารทดสอบที่มีไนโตรเจนระดับสูง แต่จะมีผลกระทบในการทดสอบพืชอาหารสัตว์ที่มีโปรตีนต่ำ (low-protein forage) มากกว่า ซึ่งถ้าหากมีการปรับค่าการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ (microbial correction) แล้ว จะทำให้ระยะเวลาก่อนที่จุลินทรีย์จะเริ่มหมักย่อยอาหาร (lag time) ลดลง และค่าอัตราและปริมาณการย่อยได้สูงขึ้น Wardery *et al.* (1993) แนะนำว่า ควรทำการปรับค่าถ้าตรวจพบว่าจุลินทรีย์ตกค้างในอาหารที่อยู่ในถุงมาก หรือเมื่อพิจารณาว่ามีผลกระทบมากต่อผลการทดสอบ โดยเฉพาะอาหารหยาบที่มีคุณภาพต่ำ

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลสามารถทำได้หลายวิธี ทั้งวิธีการแปลงค่าเป็นค่า Log แล้วนำมาคำนวณด้วยสมการรีเกรสชันเส้นตรง (linear regression of log transformed) หรือใช้สมการรีเกรสชันที่ไม่เป็นเส้นตรง (non-linear regression) ก็ได้ วิธีแรก ทำโดยนำค่าอาหารที่เหลือในถุงแต่ละช่วงเวลา (หลังจากหักลบส่วนที่ไม่ถูกย่อยสลายออกไปแล้ว, undegradable pool C) มาแปลงเป็นค่า natural logarithm แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณด้วยสมการรีเกรสชันเส้นตรงกับตัวแปรที่เป็นเวลาในการบ่ม หรือ incubation time ทั้งนี้ Ørskov and McDonald (1979) ได้เสนอสมการที่แสดงถึงประสิทธิภาพของการย่อยสลาย (effective degradability) ของอาหารว่า เป็นผลมาจาก ปริมาณของ pool A (ส่วนที่

ละลายได้) รวมกับ อัตราหรือความเร็วในการย่อยสลาย (rate of degradation, k_d) ของ pool B (ส่วนที่ไม่ละลายแต่ถูกหมักในรูเมนได้) และอัตราการไหลผ่านของออกจากกระเพาะรูเมน (rate of passage, k_p) ของ pool B ดังแสดงในสมการ

$$\text{Effective degradability} = A + \{B [k_d / (k_d + k_p)]\}$$

สำหรับจำนวนช่วงเวลา (incubation time) ที่จะต้องนำข้อมูลมาใช้วิเคราะห์ Broderick (1994) แนะนำว่า ควรมีเท่ากับ 5 ช่วงหรือมากกว่า หรือมากพอที่จะแสดงให้เห็นถึงรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในช่วงต่างๆ ทั้งช่วงระยะต้น ช่วงที่การย่อยสลายเกิดขึ้นเร็ว ช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงช้า และช่วงที่คงที่หรือไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลง (asymptote)

แหล่งของความคลาดเคลื่อนของ *In situ* technique

- มีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ ทำให้การประมาณค่าการย่อยสลายของวัตถุแห้งและโปรตีน ต่ำกว่าความเป็นจริง
- ชี้นอาหารที่มีขนาดเล็กซึ่งยังไม่ถูกย่อยสลายแต่เล็ดลอดออกไปจากถุงทำให้การประมาณค่าการย่อยสลายของอาหารสูงกว่าความเป็นจริง
- การสูญหายไป (disappearance) ของส่วนที่ละลายได้แต่ไม่สามารถย่อยสลายได้ (soluble undegraded nutrients) ซึ่งจะถูกลบรวมอยู่ในส่วนของ fraction A (ส่วนใหญ่มักคิดว่าสามารถย่อยสลายได้ทั้งหมด) ทำให้การประมาณค่าส่วนนี้สูงกว่าความเป็นจริง
- การแยกอาหารทดสอบมาใส่ไว้ในถุง ไม่อาจทำให้อาหารรวมเป็นเนื้อเดียวกันกับอาหารที่อยู่ในกระเพาะ (ruminal digesta) ทำให้อาหารทดสอบไม่ถูกย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์ การประมาณค่าที่ได้จึงอาจต่ำกว่าความเป็นจริง

วิธีการป้องกันหรือลดความคลาดเคลื่อนของปัญหา 2 อย่างแรก ทำได้โดยการวิเคราะห์หา Nucleic acid เพื่อประมาณค่าการปนเปื้อนของไนโตรเจน และวัตถุแห้งส่วนที่มาจากจุลินทรีย์ ร่วมกับการปรับค่าไนโตรเจน และวัตถุแห้ง ในอาหารที่มีชี้นขนาดเล็กที่ไหลออกจากถุงได้เร็ว หรือ fraction A (Madson *et al.* 1995) แต่อย่างไรก็ตามปัญหา 2 อย่างหลังไม่สามารถแก้ไขได้ง่ายนัก แม้ว่าโปรตีนที่ละลายได้เป็นส่วนที่ถูกย่อยสลายได้มาก แต่ไม่อาจกล่าวได้ว่าถูกย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์ในรูเมน จากข้อมูลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เกี่ยวกับการย่อยสลายของโปรตีนที่ละลายได้ (*In vitro* degradability for soluble protein) พบว่า มีค่าตั้งแต่ 0.10 ถึง 0.80 ส่วนต่อชั่วโมง สำหรับข้อจำกัดทางด้านกายภาพที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเข้าย่อยอาหารในถุงได้อย่างเต็มที่ รวมทั้งส่วนที่ถูกย่อยแล้วแต่ยังคงค้างอยู่ในถุง มีผลทำให้ค่า *In situ* digestion rate ลดลง Meyer and Mackie (1986) พบว่ามีจุลินทรีย์เพียง 60 เปอร์เซ็นต์ ที่อยู่ในถุงเมื่อเทียบกับอาหารที่อยู่รอบถุงข้างนอก โดยผู้ทดลองใช้ถุงที่มีรูขนาด 53 μm นอกจากนั้น การเกิดก๊าซสะสมอยู่ในถุงก็เป็นการลดโอกาสที่อาหารจะสัมผัสกับของเหลวในกระเพาะรูเมน สาเหตุต่างๆ เหล่านี้ล้วนทำให้การย่อยสลายของอาหารในถุงเกิดขึ้นได้อย่างไม่สมบูรณ์

2.2.4 การทดสอบการย่อยได้ในห้องปฏิบัติการ (*In vitro* digestibility)

การทดสอบการย่อยได้ในตัวสัตว์ (*In vivo*) มีข้อจำกัดหลายอย่างเช่น เป็นงานที่ต้องใช้เวลา แรงงาน และค่าใช้จ่ายสูง ต้องใช้อาหารจำนวนมาก มีความแปรปรวนระหว่างตัวสัตว์ จำเป็นต้องมีจำนวนซ้ำ (replication) เพียงพอ เป็นการเพิ่มต้นทุนในการเลี้ยง การดูแลสัตว์ และเพิ่มจำนวนตัวอย่างที่ต้องเก็บและวิเคราะห์ นอกจากนั้นในปัจจุบันยังมีเรื่องของสวัสดิภาพสัตว์เข้ามาเกี่ยวข้อง มีกฎเกณฑ์ควบคุมการใช้สัตว์ทดลองที่เข้มงวด ทำให้การใช้สัตว์ทดลองทำได้ยากขึ้น จึงไม่เหมาะที่จะใช้เป็นงานประจำในการประเมินคุณภาพของพืชอาหารสัตว์ ดังนั้นการใช้เทคนิคการทดสอบการย่อยได้ในห้องปฏิบัติการ (*In vitro* technique) จึงได้รับความสนใจและความนิยมนักโภชนศาสตร์สัตว์มากขึ้น แม้ว่าข้อมูลที่ได้จะไม่ได้บ่งชี้ถึงตำแหน่งของอาหารที่ถูกย่อยในทางเดินอาหาร และอาหารหรือโภชนะที่ถูกดูดซึมมีเส้นทาง (kinetics of digestion) ในการนำไปใช้ประโยชน์ในร่างกายสัตว์ได้อย่างไร สำหรับในที่นี้จะได้กล่าวถึง 2 วิธีดังนี้

(1) การบ่มอาหารด้วยน้ำย่อย (Enzymatic incubation)

หลักการเบื้องต้นในการทดสอบการย่อยได้ในห้องปฏิบัติการคือ การนำอาหารไปบ่ม (incubate) ในน้ำย่อยของจุลินทรีย์ที่ได้จากกระเพาะรูเมนของสัตว์ หรือเป็นน้ำย่อยสังเคราะห์ที่มีคุณสมบัติเหมือนกับจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนก็ได้เช่นกัน นักวิทยาศาสตร์ที่ถือว่าเป็นผู้บุกเบิกวิธีการนี้คือ Tilley and Terry (1963) ซึ่งใช้การทดสอบการย่อยได้ในห้องปฏิบัติการ เพื่อทำนายการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ (*In vitro* organic matter digestibility, *IVOMD*) ในพืชอาหารสัตว์ และตลอดทางเดินอาหารของสัตว์ (total tract) โดยทำการย่อยอาหาร 2 ขั้นตอน (two-stage technique) ซึ่งมีวิธีการโดยสังเขปคือ นำพืชอาหารสัตว์ไปบ่มกับน้ำรูเมน (buffered ruminal inoculum) เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำมาย่อยต่อด้วยน้ำย่อย Pepsin ในสภาพที่เป็นกรดอีก 24 ชั่วโมง ซึ่งพบว่าเป็นวิธีการที่ดีมาก แม้ว่าจำนวนจุลินทรีย์ในน้ำรูเมนซึ่งเก็บจากโคตัวเดียวกันกินอาหารเหมือนกัน จะมีจำนวนที่แตกต่างกันในแต่ละวัน แต่จุลินทรีย์จะมีการขยายจำนวนอย่างรวดเร็วภายในไม่กี่ชั่วโมงหลังจากนำไปบ่มกับอาหาร หลังจากนั้นจะคงที่ไปตลอด 48 ชั่วโมง ดังนั้นจำนวนจุลินทรีย์จึงมีผลเพียงช่วงระยะแรก แต่ไม่มีผลต่อค่า *IVOMD* ในตอนสุดท้าย

Goering and Van Soest (1970) ได้ใช้วิธี *In vitro* NDF ประมาณค่า *In vivo* OMD และ DMD โดยนำตัวอย่างไปผ่านการย่อยด้วยน้ำรูเมนเป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วนำมาย่อยต่อด้วยสารละลายที่เป็นกลาง (neutral detergent solution) พบว่า ค่า *In vitro* NDF มีความคงที่และมีความสัมพันธ์กันสูง (98%) กับค่าที่ได้จากวิธี *In vivo*

การใช้น้ำย่อย cellulase ประมาณการย่อยได้ของเชื้อ NDF ในกระเพาะรูเมน ถือว่าเป็นวิธีที่ดีอีกวิธีหนึ่ง ซึ่งทำโดยการใช้น้ำย่อยผสม fibrolytic enzymes elaborated ที่เตรียมจากเชื้อ *Trichoderma* spp. ในยุโรปนิยมใช้ Acid-pepsin ย่อยก่อน (pre-treatment) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือ

สกัดด้วย neutral detergent solution (NDS) ก่อนแล้วย่อยตามด้วย *Trichoderma cellulase* ต่ออีก 24 ชั่วโมง ในหลายกรณีพบว่าการใช้ pepsin-cellulase เป็น pre-treatment จะได้ค่าทำนาย OMD ดีขึ้น ในขณะที่การใช้ NDS เป็น pre-treatment จะได้ผลดีในตัวอย่างที่เป็นพืชที่มีลักษณะแห้ง (dried herbage) ในอาหารหยาบที่มีแป้งอยู่มากเช่น ข้าวโพดหมัก แนะนำว่า การใช้ amylase-neutral detergent เป็น pre-treatment จะได้ผลดีขึ้น

Martens (2001) ได้ศึกษาคุณค่าของอาหารในหญ้า 4 ชนิดได้แก่ หญ้าจาร์ราดิจิต หญ้ากินนี หญ้ารูซี่ และหญ้าพาสพาลัมอุบลที่ตัดตั้งแต่อายุ 20-98 วัน โดยทำการทดลองที่มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และได้ทำนายค่าศักยภาพการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ (potential digestible organic matter) โดยวิธี *In vitro* cellulase method ซึ่งวิธีการประกอบด้วย 3 ขั้นตอนโดยสังเขป ดังนี้

- นำตัวอย่างอาหารไปบ่มในสารละลาย pepsin/HCl-solution (0.5 M HCl) ที่อุณหภูมิ 40° C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

- นำตัวอย่างอาหารมาให้ความร้อน โดยการต้มด้วยน้ำเดือดใน water bath เป็นเวลา 10 นาที

- นำอาหารส่วนที่เหลือ (residue) ไปบ่มต่อยด้วยน้ำย่อย cellulase buffer solution ที่อุณหภูมิ 40° C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นถ่ายตัวอย่างลงใน crucible และนำไปอบที่อุณหภูมิ 105° C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงเพื่อหาน้ำหนักแห้ง แล้วเผาตัวอย่างต่อที่อุณหภูมิ 600° C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงเพื่อหาปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายใน cellulase และคำนวณค่าการละลายได้ในน้ำย่อย cellulase ดังสมการ

$$\text{Cellulose solubility, \%} = \frac{W - \text{OA}_{\text{insoluble}}}{W} \times 100$$

W = weight amount of 100% dry organic matter

OA_{insoluble} = organic matter insoluble in cellulase

นำค่าที่ได้ไปแทนค่าในสมการทำนายการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ ดังนี้

$$\text{Digestible OM} = 0.93 \times \text{OM (g/kg DM)} - 0.89 \times \text{OA}_{\text{insoluble}} \text{ (g)}$$

Martens (2001) ได้สรุปว่า หญ้าทั้ง 4 ชนิดมีเชื้อรา CF สูงกว่าระดับที่เหมาะสมสำหรับโคนม คือมากกว่า 18 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นปัญหาที่พบทั่วไปของหญ้าเขตร้อน มีเพียงหญ้าที่ตัดอายุ 20 วันที่ให้โปรตีนได้เพียงพอ ส่วนที่อายุมากกว่า 20 วันจำเป็นต้องเสริมโปรตีนจากแหล่งอื่นสำหรับการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ จะเพียงพอเฉพาะหญ้าที่ตัดในช่วง 30 วันแรก ซึ่งมีเพียงหญ้าจาร์ราดิจิตและหญ้ากินนีที่พบว่ามีโปรตีนเพียงพอ ส่วนหญ้าพาสพาลัมอุบลมีการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุต่ำกว่าความต้องการของโคในทุกอายุการตัด ในขณะที่หญ้ารูซี่การย่อยได้ยังคงสูงไปจนถึงอายุ 65 วัน สำหรับพลังงานไม่ถือว่าเป็นปัญหาใหญ่ ถ้าโคสามารถกินหญ้าได้วันละ 12 กก. เพราะโคต้องการอาหารที่มีพลังงาน 4.8 MJ NEL/kg DM ซึ่งหญ้าส่วนใหญ่มีพลังงานเพียงพอ แต่อย่างไรก็ตาม

ตาม หากโปรตีนต่ำกว่า 6-8 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ปริมาณการกินอาหารลดลง ซึ่งส่วนใหญ่จะพบในหญ้าที่ตัดหลัง 40-50 วันไปแล้ว

การทำนายการย่อยสลายของโปรตีนด้วยวิธีการย่อยในห้องปฏิบัติการ (*In vitro* prediction of ruminal protein degradability) การวัดอัตราและปริมาณ (rate and extent) ของโปรตีนที่ย่อยสลาย โดยใช้น้ำย่อยที่มีส่วนผสมของจุลินทรีย์หลายชนิด (mixed ruminal organisms) เป็นวิธีที่มีความยุ่งยากซับซ้อน ทั้งนี้เนื่องจากมีโปรตีนที่ถูกย่อยสลายบางส่วนจะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ นอกจากนั้นตัวจุลินทรีย์เองก็ถูกย่อยสลายได้เช่นกัน มีโปรตีนในอาหารบางส่วนตกค้างอยู่ในสารละลายที่ใช้บ่ม (inoculum solution) การวัดการสังเคราะห์ จุลินทรีย์ (microbial catabolism) สามารถทำได้โดยการวัดในหลอดทดลองที่ใส่ทุกอย่างลงไปเหมือนกัน ยกเว้นไม่ใส่อาหารทดสอบ (blank) Broderick and Merchen (1992) พบว่าการใช้ยาปฏิชีวนะ Chloramphenicol ร่วมกับ Hydrazine ในการยับยั้งไม่ให้จุลินทรีย์นำโปรตีนที่ถูกย่อยสลายไปใช้ และไม่ทำให้การทำงานของน้ำย่อยที่ย่อยโปรตีน (proteolytic activity) ลดลงในระหว่างการบ่มในระยะสั้นที่เวลา 6 ชั่วโมง

(2) การประเมินคุณค่าทางโภชนาด้วยวิธีการผลิตก๊าซ (*In vitro* Gas Test)

หลักการที่สำคัญคือ การประมาณค่าการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ (organic matter digestibility) และค่าพลังงานเมทาโบไลซ์ (metabolizable energy) โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการผลิตก๊าซที่เกิดขึ้นในหลอดทดลอง ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทน ที่เกิดจากการนำอาหารไปบ่ม (incubate) ในของเหลวจากกระเพาะรูเมนของสัตว์ (rumen liquor) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปริมาณการผลิตก๊าซที่เกิดขึ้นในหลอดทดลองพบว่ามีสหสัมพันธ์กับการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุและพลังงานในอาหาร ดังแสดงในตารางที่ 2.1

Table 2.1 Prediction equation of organic matter digestibility and energy content from gas production

Nutritive value	Prediction equation
DOM ration (%) ^{1/}	$= 14.88 + 0.889 \times Gb + 0.045 \times XP + 0.065 \times XA$
ME ration (MJ/kg DM) ^{1/}	$= 1.242 + 0.146 \times Gb + 0.007 \times XP + 0.0224 \times XL$
ME concentrate (MJ/kg DM) ^{1/}	$= 1.06 + 0.157 \times Gb + 0.0084 \times XP + 0.022 \times XL - 0.0081 \times XA$
ME roughage (MJ/kg DM) ^{1/}	$= 2.20 + 0.136 \times Gb + 0.0057 \times XP + 0.00029 \times XL^2$
NEL ration (MJ/kg DM) ^{2/}	$= 0.101 \times Gb + 0.051 \times XP + 0.112 \times XL$
ME ration (MJ/kg DM) ^{2/}	$= 0.139 \times Gb + 0.074 \times XP + 0.179 \times XL + 1.55$

DOM = digestible organic matter, ME = metabolisable energy, NEL = net energy for lactation

^{1/} formula from Close and Menke (1986), ^{2/} formula from Steingas and Menke (1986)

Gb = gas production, XP = crude protein, XL = crude lipid or ether extract, XA = ash

2.3 ปฏิกริยาร่วมระหว่างอาหาร (Associative effects)

Mould (1988) อธิบายความหมายของการเกิดปฏิกริยาร่วมระหว่างอาหารว่าหมายถึง ค่าการย่อยได้รวม (apparent digestibility) ของอาหารผสม (mixed diets) มีค่าไม่เท่ากับผลรวมของอาหารแต่ละชนิดเมื่อคำนวณแยกกันแล้วนำผลมารวมกัน โดยส่วนใหญ่แล้วการเกิดปฏิกริยาร่วมมักเกิดผลในทางลบ (negative effect) กล่าวคือ การย่อยได้รวมของอาหารผสมจะลดลง ทำให้ค่าพลังงานของอาหารลดลงด้วย อย่างไรก็ตามในกรณีที่มีการย่อยได้ของอาหารหยาบคุณภาพต่ำมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเสริมด้วยอาหารที่มีโปรตีนสูง กรณีเช่นนี้เกิดขึ้นเนื่องจากการแก้ปัญหาการขาดโภชนา ซึ่งไม่ถือว่าการเกิดปฏิกริยาร่วมระหว่างอาหาร

สำหรับการเกิดผลในทางบวก (positive effect) ก็มีโอกาสดังกล่าวได้เช่นกัน ยกตัวอย่างโดยเฉพาะในกรณีที่การเสริมอาหารที่ช่วยปรับปรุงสภาพแวดล้อมในกระเพาะรูเมนให้เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ที่ย่อยเยื่อใย เช่น Silva and Ørskov (1984) พบว่า การย่อยได้ของฟางข้าวบาร์เลย์ที่ไม่ได้ผ่านการปรุงแต่ง (untreated barley straw) สูงขึ้นในแกะที่ได้รับฟางข้าวบาร์เลย์ที่ผ่านการปรุงแต่ง (ammonia treated straw) หรือฟางธรรมชาติที่เสริมด้วยปลาป่นเป็นอาหารหยาบหลัก เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ได้รับฟางข้าวบาร์เลย์ธรรมชาติเป็นอาหารหยาบหลัก แม้ว่าจะมีการเสริมยูเรียเพื่อให้มีระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียในรูเมนที่เท่ากันก็ตาม

ดังที่กล่าวมาแล้วว่า การเกิดปฏิกริยาร่วมส่วนใหญ่แล้วมักเกิดผลในทางลบ และพบว่าการย่อยได้ของอาหารหยาบลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการเสริมอาหารคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยสลายได้เร็ว (readily fermentable carbohydrate) รวมทั้งการได้รับกลูโคสในระดับสูง Mould *et al.* (1983) ทดลองใช้หญ้าแห้งบด (ground hay) ร่วมกับข้าวบาร์เลย์อัดเม็ด (pelleted barley) ในสัดส่วน 3:0, 2:1 และ 1:2 พบว่า การย่อยได้รวมของวัตถุแห้งเมื่อเทียบกับการคำนวณลดลง 6.0 และ 9.1 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการย่อยได้ของหญ้าแห้งลดลงจาก 510 เหลือ 454 และ 312 g/kg DM หรือลดลงเท่ากับ 10.9 และ 38.8 เปอร์เซ็นต์ ในกลุ่มที่ได้รับอาหารที่สัดส่วน 2:1 และ 1:2 ตามลำดับ เมื่อเกิดปฏิกริยาร่วมที่ให้ผลในทางลบและทำให้ค่าพลังงานในอาหารลดลง ซึ่งอาจเกิดขึ้นเนื่องจาก การถูกยับยั้งหรือขัดขวางการย่อยได้ของเซลลูโลสหรือแป้ง ทั้งที่เป็นผลโดยตรงไม่ว่าจะมาจากอาหารที่เสริมรวมทั้งการแปรรูปอาหาร และที่เป็นผลโดยทางอ้อมที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมในทางเดินอาหาร การแก้ไขปัญหาก็เกิดจากปฏิกริยาร่วมระหว่างอาหาร อาจทำได้ดังนี้

2.3.1 การควบคุมอัตราการหมัก (control rate of fermentation)

การใช้อาหารที่แป้งถูกปลดปล่อยออกมาช้าๆ (slow release of starch) เช่นข้าวบาร์เลย์ทั้งเมล็ดดังกล่าวมาแล้ว ซึ่งจะไม่ทำให้การย่อยได้ของเยื่อใยลดลง การแปรรูปบางอย่างเช่นการบดละเอียด การทำให้แป้งสุก เหล่านี้จะทำให้การย่อยสลายของแป้งเร็วขึ้น ส่งผลให้การย่อยได้ของเยื่อ

ใยลดลง อย่างไรก็ตามการใช้เมล็ดพืชที่ไม่แปรรูปเลย (whole grain) ก็ทำให้การย่อยได้ของแป้งต่ำ เนื่องจากมีเมล็ดพืชบางส่วนที่ไหลผ่านระบบทางเดินอาหารโดยไม่ถูกย่อยสลายเลย

อาหารชั้นที่ผ่านขบวนการแปรรูปเช่น การบด การอัดเม็ด การให้ความร้อน ฯลฯ สามารถให้ในปริมาณมากร่วมกับอาหารหยาบโดยไม่ทำให้การย่อยได้ของเยื่อใยลดลง วิธีการคือให้อาหารชั้นในปริมาณน้อยแต่ให้อยู่บ่อยครั้ง เพราะจะทำให้ pH ในรูเมนสูงขึ้นและระดับของ pH มีความคงที่มากกว่าการให้อาหารชั้นในปริมาณมากแต่ให้เพียงวันละ 1-2 ครั้ง นอกจากนั้นการใช้อาหารที่มีเยื่อใยที่ย่อยได้ง่าย (highly digestible cellulose) เช่น หนุ่ยแห้งคุณภาพดี จากกากหัวบีต (beet pulp) และฟางทรีตด้วยแอมโมเนีย เป็นแหล่งเสริมพลังงาน จะหลีกเลี่ยงไม่ให้ระดับ pH ในรูเมนต่ำเกินไป อีกทั้งยังช่วยรักษาสภาพแวดล้อมในรูเมนให้เหมาะกับการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มที่ย่อยเยื่อใยด้วย

2.3.2 การให้อาหารครบส่วน (Total mixed ration, TMR)

การให้อาหารหยาบพร้อมกับอาหารชั้น เป็นวิธีที่จะช่วยลดความแปรปรวนของ pH ในช่วงวันได้ (diurnal variation) โดยที่ค่าเฉลี่ยของ pH จะอยู่ที่ประมาณ 6.3-6.4 อย่างไรก็ตามที่ pH ระดับนี้อาจเพียงพอที่จะลด (บางส่วน) การทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มที่ย่อยเยื่อใย แต่ผลที่เกิดขึ้นจะเกิดอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา แม้ pH จะลดลงน้อยกว่า แต่อาจมีผลเสียมากกว่าการให้อาหารชั้นวันละ 1-2 ครั้งได้ หรือในกรณีของการเสริมอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้เร็ว จะทำให้ pH ในรูเมนลดลงเร็วมากหลังจากให้อาหาร บางครั้งอาจลดลงถึง 5.0 และจะใช้เวลาประมาณ 5-6 ชั่วโมงในการที่ pH จะกลับมาอยู่ที่ระดับ 6.6-6.8 อย่างไรก็ตาม ช่วงเวลาที่ pH ลดลงต่ำกว่า 6.0 อาจไม่ยาวนานเพียงพอที่จะทำให้เกิดความเสียหายกับจุลินทรีย์กลุ่มที่ย่อยเยื่อใยทั้งหมด ซึ่งมันจะสามารถกลับมาทำงานได้อีกเมื่อ pH สูงขึ้น แต่ถ้า pH ลดลงต่ำกว่า 6.0 ตลอดเวลา ก็จะยับยั้งการทำงานและทำลายจุลินทรีย์กลุ่มนี้ทั้งหมด

การเพิ่มความถี่ในการให้อาหารชั้น (frequency of feeding) จะทำให้การย่อยได้ของวัตถุดิบแห้งและโปรตีนเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอาหารคุณภาพต่ำ และยังช่วยลดความแปรปรวนในช่วงวันของความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่าย แอมโมเนีย และ pH ในรูเมน Kaufmann (1976) พบว่าการเพิ่มความถี่ในการให้อาหาร ทำให้ปริมาณการกินได้ของอาหารชั้นเพิ่มขึ้น โดยไม่ทำให้ pH ลดลงมาก และรักษาสัดส่วนของ acetic:propionic ให้อยู่ในระดับใกล้เคียงกับ 3 และช่วยป้องกันการลดของไขมันนมได้

การประมาณการลดลงของการย่อยได้ของแป้ง สามารถทำได้โดยการวิเคราะห์หาปริมาณแป้งในมูล โดยทั่วไปเมล็ดพืชที่ผ่านการแปรรูป จะมีแป้งเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่ไม่ถูกย่อยสลายในรูเมน ดังนั้นปริมาณแป้งในมูลจึงเป็นตัวชี้บ่งที่ดีในการวัดการเกิดปฏิกิริยาร่วมระหว่างอาหาร ค่าดัชนี 'Cellulolysis Index' ที่ใช้ลิกนินเป็นตัวชี้บ่ง (marker) ใช้ประมาณสัดส่วนของ cellulose และ lignin ในมูลและในอาหาร เพื่อใช้เปรียบเทียบการย่อยได้ของ cellulose ของอาหารแต่ละชนิด ภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีความเหมาะสม

2.4 ปริมาณการกินอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ปริมาณการกินได้ของอาหารอย่างอิสระเต็มที่ (voluntary feed intake) เป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างมากต่อประสิทธิภาพการให้ผลผลิตของสัตว์ แต่การทำนายค่าการกินได้ของวัตถุดิบแห้ง (dry matter intake) ให้ได้อย่างแม่นยำเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก ทั้งนี้เนื่องจากกลไกควบคุมปริมาณการกินอาหาร (regulation of feed intake) มีปัจจัยหลายอย่างเข้ามาเกี่ยวข้อง อาทิ ปัจจัยด้านลักษณะทางกายภาพของอาหาร ส่วนประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร (physical and nutritional factors) และปัจจัยด้านสรีรวิทยาของสัตว์ที่เกี่ยวข้องกับขบวนการย่อย การดูดซึม การนำโภชนะไปใช้ประโยชน์ ตลอดจนความต้องการโภชนะของสัตว์แต่ละประเภท (metabolic factors) ซึ่งปัจจัยต่างๆ เหล่านี้มีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน รวมทั้งมีปฏิสัมพันธ์ต่อกัน (interaction) เป็นอย่างมาก ดังนั้นการใช้ปัจจัยเพียงอย่างเดียวหนึ่งมาใช้ในการทำนายการกินได้ของอาหารจึงเป็นเรื่องที่ทำได้ยาก

Poppi *et al.* (2000) รายงานว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการควบคุมปริมาณการกินได้ (feed intake) ประกอบด้วยอัตราการไหลผ่านของอาหาร (rate of passage) การย่อยได้ (digestibility) และศักยภาพการย่อยได้ของอาหาร (potential digestibility, PD) ซึ่งหมายถึงส่วนของอาหารที่สูญหายไปหลังจากนำอาหารนั้นไปบ่มในกระเพาะรูเมนเป็นระยะเวลาสั้น โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณการกินได้เรียงลำดับจากมากไปน้อยดังต่อไปนี้ $k_p > PD > k_{ds} > k_b > l_p$ ซึ่ง

k_p = Fractional passage rate of small particle

PD = Potential digestibility

k_{ds} = Fractional digestion rate of small particle

k_b = Fractional breakdown of large particle to small particle

l_p = Proportion of large particle entering the rumen

Poppi *et al.* (2000) เสนอแนะว่า วิธีการประเมินปริมาณการกินได้ของอาหารและการใช้ประโยชน์ของโภชนะ ควรมีคุณสมบัติสำคัญ 4 ประการดังนี้ (1) ความสมดุลของโภชนะที่ปลดปล่อยออกมาจากอาหารที่ย่อยได้ (2) อัตราการปลดปล่อย และการดูดซึมโภชนะ (3) อัตราความเร็วในการย่อยอาหารให้แตกตัวเป็นชิ้นเล็ก และ (4) อัตราและศักยภาพการย่อยได้ของอาหารนั้น ลักษณะเหล่านี้จะช่วยให้ การผสมผสานระหว่างปัจจัยทางด้านกายภาพและขบวนการย่อยและดูดซึมอาหาร รวมเข้าอยู่ในสมการที่ทำนายกลไกควบคุมการกินได้อย่างถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น

2.5 พลังงานและโปรตีนในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

2.5.1 การประเมินค่าพลังงาน

พลังงานทั้งหมดที่มีอยู่ในอาหาร (gross energy, GE) เมื่อสัตว์กินอาหารเข้าไป จะมีพลังงานส่วนหนึ่งที่ย่อยได้ (digestible energy, DE) และพลังงานอีกส่วนหนึ่งที่ย่อยไม่ได้ซึ่งจะถูกขับออกมาทางมูล (fecal energy, FE) ในส่วนของพลังงานที่ย่อยได้ (DE) นี้ ร่างกายไม่สามารถนำไปใช้

ประโยชน์ได้ทั้งหมด ยังมีการสูญเสียพลังงานบางส่วนไปทางปัสสาวะ (urinary energy, UE) และจากก๊าซที่เกิดขึ้นในขบวนการหมักของอาหารในกระเพาะรูเมนโดยเฉพาะก๊าซมีเทน (methane energy, CH₄E) พลังงานส่วนที่เหลือจากที่กล่าวมาแล้วจึงเป็นส่วนที่ร่างกายนำไปใช้ประโยชน์ได้ หรือเรียกว่าพลังงานเมตาบอไลซ์ (metabolizable energy, ME) ในกระบวนการนำพลังงาน ME ไปใช้ประโยชน์นั้น ร่างกายจะมีการผลิตความร้อนและมีการสูญเสียความร้อนเกิดขึ้น หรือเรียกว่า heat increment (HI) ซึ่งความร้อนดังกล่าวส่วนใหญ่จะเกิดจากขบวนการย่อยและดูดซึมโภชนะในระบบทางเดินอาหารส่วนต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งขบวนการหมักอาหารหยาบในกระเพาะรูเมนจะมีการผลิตความร้อนขึ้นในปริมาณมาก หลังจากนั้นพลังงานที่เหลือทั้งหมดคือ พลังงานสุทธิ (net energy, NE) ถือว่าเป็นพลังงานที่สัตว์จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ได้แก่ พลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (net energy for maintenance, NEM), เพื่อการเพิ่มน้ำหนักตัว (net energy for gain, NEG) และเพื่อการผลิตนม (net energy for lactation, NEL) ซึ่งสามารถสรุปเป็นสมการได้ดังนี้ (CSIRO, 1990)

$$\begin{aligned} \text{GE} &= \text{Gross Energy} \\ \text{DE} &= \text{GE} - \text{FE} \\ \text{ME} &= \text{GE} - (\text{FE} + \text{UE} + \text{CH}_4\text{E}) \text{ หรือ} \\ &= \text{DE} - (\text{UE} + \text{CH}_4\text{E}) \\ \text{NE} &= \text{ME} - \text{HI} \end{aligned}$$

ค่าพลังงาน DE สามารถประมาณได้จากค่าพลังงาน TDN (ซึ่งเป็นพลังงานที่ย่อยได้ทั้งหมดของโภชนะส่วนที่ให้พลังงาน หรือ total digestible nutrient, TDN) คือ 1 kg TDN = 4.409 Mcal DE สำหรับค่าพลังงาน ME จะมีค่าประมาณ 80-82 เปอร์เซ็นต์ ของพลังงาน DE หรือมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงเมื่อค่าการย่อยได้ของพลังงาน DE อยู่ในช่วง 50-88 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถคำนวณค่าพลังงาน ME ได้จากสมการ NRC (1988) ดังนี้

$$\text{ME (Mcal/kg DM)} = -45 + 1.01 \text{ DE (Mcal/kg DM)}$$

ค่าพลังงาน ME ในอาหารเป็นค่าที่วัดเมื่อสัตว์กินอาหารที่ระดับเพื่อการดำรงชีพ (maintenance intake level) โดยที่ ARC (1980) แสดงหน่วยเป็น $q_m = \text{ME}_m / \text{GE}_m$ และต่อมา Ministry of Agriculture Fisheries and Food (MAFF 1984) ประเทศอังกฤษแสดงหน่วยเป็น MJ ME/kg DM หรือเขียนเป็นสัญลักษณ์ย่อว่า M/D

พลังที่สูญเสียไปทางปัสสาวะและก๊าซมีเทนจะมีสัดส่วนประมาณ 0.19 ของพลังงาน DE ซึ่งแหล่งหลักของการผลิตก๊าซมีเทนเกิดจากขบวนการหมักของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน และมีสัดส่วนประมาณ 0.08 ของพลังงาน DE ความร้อนที่ได้จากการผลิตก๊าซมีเทนจะมีประโยชน์ในการช่วยรักษาอุณหภูมิร่างกายให้อบอุ่นในกรณีที่สัตว์เกิดความเครียดเนื่องจากอากาศหนาว (cold stress)

2.5.2 ความต้องการพลังงานในโคนม

ร่างกายจำเป็นต้องนำพลังงานไปใช้เพื่อประโยชน์ในด้านต่างๆ ดังกล่าวมาแล้ว ดังนั้นการขาดพลังงานจะมีผลเสียต่อสุขภาพและการให้ผลผลิตของสัตว์เป็นอย่างมาก เช่น ในลูกโคและโครุ่นจะทำให้ชะงักการเจริญเติบโต และระยะเวลาการเข้าสู่วัยเจริญพันธุ์ (puberty) หรือการเป็นหนุ่ม-เป็นสาวช้าออกไป ทั้งนี้เนื่องจากการเข้าสู่วัยเจริญพันธุ์จะขึ้นอยู่กับน้ำหนักตัวเป็นสำคัญ ส่วนการขาดพลังงานในโครีดนม ทำให้ผลผลิตน้ำนมลดลง โคลูกสูญเสียน้ำหนักตัว และถ้าขาดพลังงานเป็นเวลานานจะทำให้สมรรถภาพทางระบบสืบพันธุ์ค่อยลง

สำหรับโคที่ไม่ให้นม (non-lactating cows) การนำพลังงาน DE และ ME ไปใช้ประโยชน์เพื่อการดำรงชีพและเพื่อการเจริญเติบโตจะมีประสิทธิภาพที่แตกต่างกัน แต่ในโคที่กำลังให้นม (lactating cows) ประสิทธิภาพในการนำพลังงานไปใช้ประโยชน์เพื่อการดำรงชีพและการผลิตน้ำนมจะใกล้เคียงกัน ดังนั้นการแสดงค่าความต้องการพลังงาน NEM อาจจะแสดงในรูปค่าพลังงาน NEL แทนก็ได้ NRC (1988) ได้แนะนำค่าความต้องการพลังงานของโคนมในรูปต่างๆ ไว้ดังนี้

ความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพ มีค่าเท่ากับ 133 kcal ME หรือ 155 kcal DE หรือ 35.2 g TDN/BW^{0.75} ต่อวัน สำหรับค่า NEM จะขึ้นอยู่กับกิจกรรม (activity) ของสัตว์ โดยทั่วไปจะใช้ค่าที่ 80 kcal/BW^{0.75} ซึ่งได้มีการบวกเผื่อไว้แล้ว 10 เปอร์เซ็นต์ และถ้าหากสัตว์ต้องเดินเป็นระยะทางไกล แนะนำให้บวกเพิ่มขึ้นอีก 3 เปอร์เซ็นต์ทุก 1 กิโลเมตรที่สัตว์เดิน ในกรณีของสัตว์ที่ปล่อยแทะเล็มในทุ่งหญ้า ความต้องการพลังงาน NEM จะขึ้นอยู่กับคุณภาพของแปลงหญ้าด้วยกล่าวคือ ถ้าเป็นแปลงหญ้าที่มีความสมบูรณ์ ให้บวกเพิ่มขึ้นอีก 10 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าเป็นแปลงหญ้าที่ไม่สมบูรณ์ต้องบวกเพิ่มขึ้นอีกถึง 20 เปอร์เซ็นต์

ความต้องการพลังงานเพื่อการตั้งท้อง มีค่าประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ของความต้องการเพื่อการดำรงชีพ ซึ่งเท่ากับ 24 kcal NEL หรือ 40 kcal ME หรือ 46 kcal DE หรือ 10.6 g TDN/BW^{0.75} ต่อวัน

ความต้องการพลังงานเพื่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวในช่วงรีดนม มีค่าเท่ากับ 6 Mcal ต่อ 1 กก.ของการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวที่ไม่รวมน้ำหนักของอาหารในระบบทางเดินอาหาร (kg of change in empty body weight) ในการนำพลังงานสะสมสำรองในร่างกายจากเนื้อเยื่อไขมัน (adipose tissue) มาใช้เพื่อการผลิตนมจะมีประสิทธิภาพประมาณ 82 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นปริมาณพลังงาน NEL สำรองในร่างกายที่สูญเสียไปเนื่องจากน้ำหนักตัวที่ลดลง 1 กก. มีค่าเท่ากับ $6.0 \times 0.82 = 4.92$ Mcal การจะกำหนดให้โคนมมีน้ำหนักเพิ่มเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับสภาพความสมบูรณ์ของร่างกายของโค (body condition) และ ระยะเวลาของการตั้งท้อง (stage of pregnancy) เป็นเกณฑ์ ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพของการทดแทนพลังงานในเนื้อเยื่อในโครีดนมจะดีกว่าโคในระยะหยุดรีดนม โดยทั่วไปถ้าโคในระยะหยุดรีดนมมีสภาพร่างกายที่สมบูรณ์ดี ควรให้อาหารหยাবคุณภาพปานกลาง และค่อยๆ

เพิ่มปริมาณอาหารขึ้นขึ้นทีละน้อย จนถึงระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ของ น.น.ตัวในช่วง 2-3 สัปดาห์สุดท้ายก่อนคลอด ทั้งนี้เพื่อให้โครวมทั้งจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนได้ปรับตัวให้พร้อมที่จะได้รับอาหารขึ้นในระดับสูงในช่วงหลังคลอดใหม่ แต่ทั้งนี้ปริมาณอาหารขึ้นที่ใช้ไม่ควรเกิน 40 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุดิบทั้งหมด

ความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการผลิตนม (NEL) หมายถึงปริมาณพลังงานทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำนม ซึ่งจะผันแปรไปตามปริมาณไขมันนม โดยมีค่าประมาณ 0.74 Mcal/kg 4% fat corrected milk และสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$NEL \text{ (Mcal/kg milk)} = 0.3512 + [0.0962 (\%fat)]$$

ความต้องการพลังงานของโคนสวและโคเพศผู้ ความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโต (NEG) หมายถึงพลังงานทั้งที่เพิ่มขึ้นในเนื้อเยื่อ ซึ่งเป็นผลมาจากน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นและความเข้มข้นของพลังงานที่สะสมในเนื้อเยื่อ ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับอัตราการเจริญเติบโตและระยะการเจริญเติบโต (stage of growth) หรือน้ำหนักตัวของสัตว์เป็นสำคัญ นอกจากนั้นยังขึ้นกับขนาดของพันธุ์โคคือ โคพันธุ์เล็ก (small breed) หรือโคพันธุ์ใหญ่ (large breed) อีกด้วย ซึ่ง NRC (1988) ได้นำเสนอค่าพลังงาน NEG ไว้ดังนี้

โคสวพันธุ์ใหญ่ (growing large-breed heifers)

$$NEG \text{ (Mcal/day)} = (0.035 BW^{0.75}) (LWG^{1.119}) + LWG$$

โครุ่นเพศผู้พันธุ์ใหญ่ (growing large-breed bulls)

$$NEG \text{ (Mcal/day)} = (0.025 BW^{0.75}) (LWG^{1.097}) + LWG$$

โคสวพันธุ์เล็ก (growing small-breed heifers)

$$NEG \text{ (Mcal/day)} = (0.045 BW^{0.75}) (LWG^{1.119}) + LWG$$

โครุ่นเพศผู้พันธุ์เล็ก (growing small-breed bulls)

$$NEG \text{ (Mcal/day)} = (0.035 BW^{0.75}) (LWG^{1.097}) + LWG$$

BW = น้ำหนักตัว (กก.) และ LWG = น้ำหนักเพิ่ม (กก./วัน)

สำหรับความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (NEM) ทั้งในโครุ่นที่กำลังเจริญเติบโตและโคเพศผู้ที่โตเต็มที่แล้วมีค่าเท่ากับ $0.086 \text{ Mcal of NEM/BW}^{0.75}$

2.5.3 ค่าพลังงานในอาหาร

ค่าพลังงาน TDN, DE และ ME เป็นค่าที่วัดจากการกินได้ที่ระดับเพื่อการดำรงชีพ (maintenance intake level) ส่วนค่าพลังงาน NEM, NEG และ NEL เป็นค่าที่วัดจากการกินได้ที่ระดับเพื่อการให้ผลผลิต (production intake level) ซึ่งโดยทั่วไปจะสูงกว่าที่ระดับเพื่อการดำรงชีพประมาณ 3 เท่า ค่าพลังงานต่างๆ ดังกล่าวสามารถประมาณได้จากสมการของ NRC (1988) ได้ดังต่อไปนี้

$$\text{TDN} = \% \text{CP (DCP)} + \% \text{CF(DCF)} + \% \text{NFE(DNFE)} + \% \text{EE(DEE)} \times 2.25$$

โดย D = %Digestibility

$$\text{DE (Mcal/kg DM)} = 0.04409 \times \text{TDN (\%)}$$

$$\text{ME (Mcal/kg DM)} = -0.45 + 1.01 \text{ DE}$$

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

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

โดยที่ ME คำนวณจาก $\text{ME} = 0.82 \text{ DE}$

$$\text{NEL (Mcal/kg DM)} = 0.0245 \times \text{TDN (\% DM} - 0.12)$$

หมายเหตุ ME^2 และ ME^3 หมายถึงเลขยกกำลัง

ทั้งนี้ค่า NEL คำนวณจากค่าสมการของ Moe and Tyrrell (1976 quoted in NRC, 1988) ซึ่งมาจากค่า maintenance TDN values โดยลดค่าเฉลี่ยของ TDN ที่ระดับ production intake level ลง 8 เปอร์เซ็นต์ จากข้อกำหนดที่ว่า การย่อยได้จะลดลง 4 เปอร์เซ็นต์เมื่อระดับการกินได้เพิ่มขึ้น 1 เท่าของระดับการกินได้เพื่อการดำรงชีพ อย่างไรก็ตามยังไม่มีงานวิจัยที่ใช้อาหารที่มี TDN ต่ำกว่า 56 เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยโคนม ดังนั้นการใช้อาหารหยาบคุณภาพปานกลางถึงคุณภาพต่ำ (TDN 50 เปอร์เซ็นต์หรือต่ำกว่า) แล้วการนำสมการดังกล่าวไปใช้ จะเป็นการคำนวณนอกช่วง (extrapolation) ซึ่งอาจมีความเสี่ยงในการเกิดความคลาดเคลื่อนได้

การทำนายค่า TDN ส่วนใหญ่ได้มาจากการคำนวณโดยใช้สมการรีเกรสชัน ซึ่งมักเป็นการใช้ความสัมพันธ์ในทางลบระหว่างปริมาณเชื้อใยกับพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งพบว่ามีข้อจำกัดหลายอย่างเช่น มีความคลาดเคลื่อนของค่าทำนายสูง ส่วนใหญ่ใช้ได้เฉพาะกับบางกลุ่มประชากร และสมการส่วนใหญ่มาจากพืชอาหารสัตว์ มีเพียงส่วนน้อยที่ใช้ประมาณค่าพลังงานในอาหารขึ้น

Wiess and Conrad (2000) ใช้ส่วนประกอบทางเคมีในอาหารสัตว์ทำนายค่าพลังงาน TDN โดยปรับค่าการย่อยได้ของโภชนะในสมการให้อยู่ในรูปค่าการย่อยได้จริง (true digestibility) เมื่อนำสมการไปทดสอบทั้งในพืชอาหารสัตว์และอาหารขึ้นจำนวน 248 ตัวอย่าง พบว่าสมการที่ได้มีความแม่นยำและเที่ยงตรง ซึ่งมีค่า mean square error เท่ากับ 61 g/kg TDN ซึ่งใกล้เคียงกับที่ได้จากการทดลองในสัตว์ (In vivo) โดยมีรายละเอียดของสมการทำนายดังนี้

$$\begin{aligned} \text{(I)} \quad \text{TDN}_M &= 0.98 (1000 - \text{NDF}_N - \text{CP} - \text{Ash} - \text{IADICP} - \text{EE}) + k_{\text{dCP}} \times \text{CP} \\ &\quad + 2.25 (\text{EE} - 10) + 0.75 (\text{NDF}_N - \text{LIG}) (1 - (\text{LIG}/\text{NDF}_N)^{.667}) - 70 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(II)} \quad \text{TDN}_M &= 0.98 (1000 - \text{NDF}_N - \text{CP} - \text{Ash} - \text{IADICP} - \text{FA} - 10) + k_{\text{dCP}} \times \text{CP} \\ &\quad + 2.25 \text{FA} + 0.75 (\text{NDF}_N - \text{LIG}) (1 - (\text{LIG}/\text{NDF}_N)^{.667}) - 70 \end{aligned}$$

TDN_M หมายถึงค่าพลังงาน TDN ในอาหาร ซึ่งวัดที่ระดับเพื่อการดำรงชีพ (maintenance)

ส่วนที่ 1 ค่า $0.98 (1000 - \text{NDF}_N - \text{CP} - \text{Ash} - \text{IADICP} - \text{EE})$ เป็นค่าพลังงาน TDN ที่ได้จากส่วนของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใย (nonstructural carbohydrate, NSC) หรือเป็นส่วนที่ละลายได้และอยู่ในเซลล์ (cell soluble) ซึ่งถ้าเทียบกับ TDN ระบบเดิมคือส่วนของ nitrogen free extract (NFE) นั่นเอง ซึ่งโภชนะส่วนนี้มีการย่อยได้สูง และมีค่าค่อนข้างคงที่ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้จริงประมาณ 0.98

ค่า NDF_N คือค่าเยื่อใย NDF ที่ปรับค่าโดยหักโปรตีนที่ไม่ละลายและอยู่ในเยื่อใยส่วน NDF (NDICP) และ ADF (ADICP) ออกไปแล้ว ดังนั้น $\text{NDF}_N = \text{NDF} - \text{NDICP} - \text{ADICP}$ ซึ่งค่าทั้งหมดมีหน่วยเป็น g/kg DM

สำหรับค่า IADICP หมายถึง indigestible acid detergent insoluble crude protein หรือเป็นส่วนของโปรตีนในเยื่อใย ADF (ADICP) ที่ไม่สามารถย่อยได้ หรือบางเรียกว่า acid detergent insoluble nitrogen (ADIN) แต่ที่จริงแล้วโปรตีนนี้มีบางส่วนที่สามารถย่อยได้ โดยในพืชอาหารสัตว์จะย่อยได้เฉลี่ยเท่ากับ 0.34 และอาหารข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.66 หรือคิดเป็นส่วนของที่ย่อยไม่ได้เท่ากับ 0.7 และ 0.4 ตามลำดับ ดังนั้น forages IADICP = $0.7 \times \text{ADICP}$ และ concentrate IADICP = $0.4 \times \text{ADICP}$

ส่วนที่ 2 ค่า $k_{\text{dCP}} \times \text{CP}$ เป็นค่าพลังงาน TDN ที่ได้จากส่วนของโปรตีน ค่าการย่อยได้จริงของโปรตีนจากพืชอาหารสัตว์ส่วนใหญ่มีค่าประมาณ 0.9 และเท่ากับ 1.0 สำหรับอาหารที่มีอาหารข้นในสัดส่วนที่สูง และการย่อยได้จริงของโปรตีนจะลดลงเมื่ออาหารถูกทำให้ผ่านความร้อน ปริมาณของโปรตีน ADICP หรือ ADIN เมื่อแสดงในรูปสัดส่วนของโปรตีนหยาบทั้งหมด (g/kg total CP) จะมีความสัมพันธ์กันสูงกับการย่อยได้ของโปรตีนในพืชอาหารสัตว์ และสามารถนำไปใช้ประมาณค่าการย่อยได้จริงของโปรตีนในพืชอาหารสัตว์ได้ดี ดังแสดงในสมการที่ (1) แต่กับอาหารข้นไม่ค่อยมีความสัมพันธ์กันมากนัก Nakamura *et al.* (1994) และ Van Soest (1989) รายงานว่าค่าการย่อยได้จริงของโปรตีนในอาหารข้นหรือบางครั้งเรียกว่า adjusted protein digestibility จะลดลง 0.004 หน่วยต่อทุก 1 หน่วยของ ADICP ที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในสมการที่ (2)

$$(1) k_{\text{dCP-F}} = \text{EXP} (-0.0012 \times \text{ADICP})$$

$$(2) k_{\text{dCP-C}} = 1 - 0.004 \times \text{ADICP}$$

$$k_{\text{dCP-F}} = \text{true digestibility of forages CP}$$

$$k_{\text{dCP-C}} = \text{true digestibility of concentrate CP}$$

ADICP มีหน่วยเป็น g/kg total CP ดังนั้นค่าพลังงานที่ได้จากส่วนของโปรตีน จึงประมาณได้จากสมการที่ (3)

$$(3) \text{Ecp} = k_{\text{dCP}} \times \text{CP}$$

ในการนำไปใช้โดยทั่วไปแนะนำให้ใช้ค่าประมาณ $ADICP = 85 \text{ g/kg total CP}$ และค่า $k_{dCP-F} = 0.9$ สำหรับพืชอาหารสัตว์ที่ไม่ถูกผ่านความร้อน (unheated forage) แต่ถ้าพืชอาหารสัตว์นั้นถูกความร้อนทำลายควรทำการวิเคราะห์หาปริมาณ ADICP ด้วย และควรใช้สมการที่ (1) ในการประมาณค่าการย่อยได้ แต่อาหารชิ้นส่วนใหญ่่มักไม่ถูกความร้อนทำลาย จึงไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์หา ADICP และการประมาณค่าการย่อยได้จริง แนะนำให้ใช้สมการที่ (2)

ส่วนที่ 3 ค่า $2.25 \times (EE - 10)$ เป็นค่าพลังงาน TDN ที่ได้จากส่วนของไขมัน (ether extract, EE) ในกรณีที่ไม่ได้วิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมัน (fatty acid, FA) แนะนำให้ใช้สมการที่ (I) แต่ถ้ามีการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันด้วยควรใช้สมการที่ (II) ค่า 2.25 หมายถึงไขมันให้พลังงานมากกว่าคาร์โบไฮเดรต 2.25 เท่า และค่า -10 หมายถึง EE ในอาหารสัตว์ทั่วไปจะมีส่วนที่ไม่ใช่กรดไขมันอยู่ประมาณ 10 g/kg DM ซึ่งเป็นส่วนที่ย่อยไม่ได้และไม่ให้พลังงานแก่สัตว์

ส่วนที่ 4 ค่า $0.75 (NDF_N - LIG) (1 - [LIG/NDF_N]^{.667})$ เป็นค่าพลังงาน TDN ที่ได้จากส่วนของเยื่อใย NDF ค่าทั้งหมดมีหน่วยเป็น g/kg DM สำหรับ LIG คือ acid detergent-sulfuric acid lignin และสัมประสิทธิ์การย่อยได้จริงของเยื่อใย NDF (k_{dNDF}) มีค่าเท่ากับ 0.75

ส่วนที่ 5 ค่า -70 เป็นค่าประมาณของพลังงานจากวัตถุแห้งที่มาจากส่วนของร่างกายที่ถูกขับออกมาทางมูล (metabolic fecal dry matter) Van Soest (1982) ใช้ค่า metabolic fecal ที่ $130 \text{ g/kg DM intake}$ โดยในมูล 1 กก. จะประกอบด้วย Ash, CP, water soluble-nitrogen-free material และ EE เฉลี่ยเท่ากับ 300, 300, 250 และ 150 กรัม ตามลำดับ สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้จริงของ CP, EE และ NFC (หรือ water soluble-nitrogen-free material ซึ่งก็คือเซลล์ส่วนที่ละลายได้ในมูล) มีค่าเท่ากับ 0.7, 0.32 และ 0.98 ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อนำมาคำนวณเป็นค่าพลังงาน TDN ของ metabolic fecal energy (MF_{TDN}) จะได้เท่ากับ 72 ซึ่งได้มาจากผลรวมของโภชนะส่วนต่างๆ ดังนี้

$$E_{CP} = 130 \times .3 \times .7 = 27$$

$$E_{EE} = 130 \times .15 \times .32 \times 2.25 = 14$$

$$E_{NFC} = 130 \times .25 \times .98 = 31$$

$$MF_{TDN} = 27 + 14 + 31 = 72 \text{ แต่นิยมปัดค่าเป็นจำนวนเต็มคือ 70}$$

อย่างไรก็ตามบางครั้งพบว่า ค่า MF_{TDN} อาจไม่คงที่ มีการผันแปรตามปริมาณเยื่อใยในอาหาร และปริมาณการกินได้ของสัตว์ ดังนั้นจึงยังต้องการข้อมูลเพิ่มเติมในการปรับปรุงสมการให้มีความถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

2.5.4 การประเมินคุณค่าของโปรตีน

Agricultural Research Council (ARC, 1984) อธิบายว่า โปรตีนที่ไปยังลำไส้เล็กมาจาก 2 ส่วนคือ ส่วนที่ย่อยสลายในรูเมน (ruminally degraded protein, RDP) แล้วถูกจุลินทรีย์นำไปสังเคราะห์เป็นโปรตีนในเซลล์ของจุลินทรีย์ก่อน (microbial crude protein, MCP) และเมื่อจุลินทรีย์

นั้นผ่านออกจากรูเมนไปจะถูกย่อยที่ลำไส้เล็ก สำหรับอีกส่วนหนึ่งคือโปรตีนจากอาหารที่ไม่ถูกย่อยสลายในรูเมน (undegradable dietary protein, UDP หรือ escape protein หรือ bypass protein) แต่จะไปถูกย่อยที่ลำไส้เล็กโดยตรง ทั้งนี้ระบบของ ARC ได้มีการคำนึงถึงความต้องการโปรตีนเพื่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในรูเมน ซึ่งต้องการไนโตรเจนในรูปที่ใช้ประโยชน์ได้ทันที นอกจากนั้นยังต้องการพลังงานจากอินทรีย์วัตถุที่สามารถหมักได้ (fermentable organic matter, FOM) อีกด้วย การขาดโปรตีนส่วนที่ย่อยสลายในรูเมน (degradable protein) จะส่งผลให้อัตราการย่อยได้ลดลงทั้งของเยื่อใยและอาหารที่มีสัดส่วนของอาหารชั้นที่สูง นอกจากนั้นการผลิต MCP ยังถูกจำกัดโดยปริมาณการกินได้ของอาหารพลังงาน (dietary energy intake) ซึ่งมักจะขาดในโคที่ให้ผลผลิตสูง ดังนั้นในการให้อาหารโคนมต้องคำนึงถึงทั้งปริมาณโปรตีนที่ย่อยสลายในรูเมนให้เพียงพอต่อประสิทธิภาพของขบวนการหมักอาหารของจุลินทรีย์ในรูเมน และต้องมีโปรตีนส่วนที่ไม่ถูกย่อยสลายในรูเมนเพียงพอสำหรับ โดยเฉพาะโคที่ให้ผลผลิตน้ำนมสูง

Agricultural and Food Research Council (AFRC 1993) ได้เสนอระบบความต้องการโปรตีนของโคนม ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันในสหราชอาณาจักร (The UK metabolisable protein system) ซึ่งแตกต่างจาก ARC (1984) ตรงที่มีการแบ่งความเร็วในการย่อยสลายของโปรตีนหรือสารประกอบไนโตรเจนในรูเมนออกเป็น 2 ระดับคือ พวกที่ถูกย่อยสลายได้เร็ว (quickly degradable nitrogen, QDN) ในทางปฏิบัติคือโปรตีนส่วนที่ละลายในน้ำ และพวกที่ถูกย่อยสลายได้ช้า (slowly degradable nitrogen, SDN)

ระบบของ AFRC (1993) แสดงคุณค่าของอาหารในรูปต่างๆ คือ ใช้ค่าพลังงาน fermentable metabolisable energy (FME) และ metabolisable energy (ME) สำหรับโปรตีนแสดงในรูปโปรตีนหยาบ (CP) และ ความสามารถในการย่อยสลาย (protein degradability) ที่อัตราการไหลผ่านของอาหาร (outflow rate) 3 ระดับ

คณะทำงานได้ให้คำจำกัดความของโปรตีนที่เป็นประโยชน์ (metabolisable protein, MP) คือ ปริมาณโปรตีนแท้ (กรดอะมิโน) ทั้งหมดที่ย่อยได้ ซึ่งสัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในขบวนการ metabolism ต่างๆ ได้หลังจากที่อาหารนั้นถูกย่อยและดูดซึมแล้ว MP ประกอบด้วย 2 ส่วนดังนี้

- โปรตีนแท้จากจุลินทรีย์ที่ย่อยได้ (digestible microbial true protein, DMTP) เป็นโปรตีนที่สังเคราะห์โดยจุลินทรีย์จาก fermentable metabolisable energy (FME) หรือจาก non protein nitrogen (NPN) โดยมีสมมุติฐานว่าโปรตีนส่วนนี้สามารถย่อยได้ 85 เปอร์เซ็นต์ และในจำนวนที่ย่อยได้นี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์

- โปรตีนที่ย่อยได้ที่ลำไส้เล็กที่มาจากอาหารส่วนที่ไม่ถูกย่อยสลายในรูเมน (digestible undegraded feed protein, DUP) โดยจะมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ ของส่วนที่ไม่ถูกย่อยสลายในรูเมน (UDP) สามารถประมาณได้จากค่าไนโตรเจนส่วนที่ไม่ละลายในกรด (acid detergent insoluble lignin, ADIN) หรือ modified ADF contents (MADF) ดังนั้น MP มีค่าเท่ากับ

$$MP = 0.6375 \text{ MCP} + \text{DUP}$$

ค่าโปรตีนต่างๆ ที่สำคัญได้แก่ QDN, SDN และ UDP ได้มาจากการวัดค่า dg คือค่าสัมประสิทธิ์อัตราการย่อยสลายของโปรตีนในอาหาร (rate of degradation coefficients; a, b, c) ซึ่งได้จากการนำอาหารใส่ในถุงไนลอน แล้วนำไปจุ่มแชไว้ในรูเมน และวัดโปรตีนที่หายไปจากถุงที่ระยะเวลาต่างๆ กัน (Ørskov, 2000)

AFRC (1992) กำหนดความต้องการ MP ทั้งหมดสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยการแยกคำนวณแต่ละส่วนของการใช้ประโยชน์ในร่างกาย (metabolic function) แล้วนำค่ามารวมกัน โดยที่ความต้องการ MP ทั้งหมดเป็นอิสระจากพลังงานในอาหาร ความเข้มข้นของโปรตีน และระดับของโภชนา (plane of nutrition) ซึ่งถือว่าปัจจัยเหล่านี้มีผลกระทบต่อปริมาณ MP ที่สัตว์ได้รับ แต่ไม่มีผลต่อความต้องการ MP ของสัตว์

National Research Council (1988) แนะนำให้ใช้ค่าความต้องการโปรตีนในรูปที่เรียกว่าโปรตีนที่ถูกดูดซึมในระบบทางเดินอาหาร (absorbed protein, AP) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการดูดซึมกรดอะมิโนที่ลำไส้เล็ก ซึ่งข้อแตกต่างกับระบบเดิมที่ใช้ค่าการย่อยได้ของโปรตีนหยาบ (digestible crude protein, DCP) ซึ่งโปรตีนส่วนเกินที่เกิดจากขบวนการหมักและถูกดูดซึมในรูปแอมโมเนียที่รูเมน ก็ถูกนับรวมอยู่ใน DCP ด้วย แต่ค่านี้จะไม่นำมาคิดรวมกับค่าโปรตีนที่ถูกดูดซึม (absorbed protein, AP) อีกทั้งระบบ AP ยังมีการจำแนกสัดส่วนของโปรตีนในอาหารส่วนที่ไม่ถูกย่อยสลายในรูเมน (escape protein) ในขณะที่ระบบ DCP ไม่ได้คำนึงส่วนดังกล่าว ดังนั้นความต้องการโปรตีนของระบบ AP จึงเท่ากับหรือต่ำกว่าระบบ DCP เสมอ

National Research Council (NRC 1989) เสนอแนะว่า เนื่องจากข้อมูลเกี่ยวกับค่าการย่อยสลายของโปรตีนในรูเมนยังมีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นจึงยังคงใช้การกำหนดความต้องการโปรตีนของโคนมเป็น 2 ระบบคือ (1) ใช้ค่าความต้องการโปรตีนหยาบ (crude protein requirement, CP) และ (2) ใช้ค่าความต้องการโปรตีนในรูปที่ย่อยสลายในรูเมน (ruminally degradable intake protein, DIP) และโปรตีนส่วนที่ไม่ถูกย่อยสลายในรูเมน (ruminally undegradable intake protein, UIP) ค่าความต้องการโปรตีนของทั้ง 2 ระบบ เป็นค่าที่ไม่สามารถคำนวณแปลงค่าไป-มาระหว่างกันได้ (interchangeable) โปรตีนส่วนที่ไม่ถูกย่อยสลายในรูเมนมีความสำคัญมากในโคที่อยู่ในระยะที่กำลังโตเร็ว และโคที่ให้ผลผลิตนมในระดับสูง

นอกจากนั้นแล้ว NRC (1989) ได้แยกโปรตีนจากส่วนของร่างกายที่ขับออกทางมูล (metabolic fecal nitrogen, MFN) ออกจากค่าความต้องการโปรตีนเพื่อการดำรงชีพ ทั้งนี้เนื่องจากพิจารณาเห็นว่าปริมาณโปรตีนดังกล่าวเป็นความสัมพันธ์กับปริมาณวัตถุแห้งที่ย่อยไม่ได้ที่สัตว์กินเข้าไป (indigestible dry matter intake, IDMI) มากกว่าที่จะเป็นความสัมพันธ์กับน้ำหนักตัวเหมือนเช่นในระบบเดิม ดังนั้นความต้องการโปรตีนเพื่อการดำรงชีพจะคิดเฉพาะโปรตีนของร่างกายที่ขับออก

ทางปัสสาวะ และที่สูญเสียจากการหลุดลอกของผิวหนังเท่านั้น สำหรับความต้องการโปรตีนเพื่อการให้ผลผลิต ได้จำแนกออกเป็นเพื่อการตั้งท้อง เพื่อการเจริญเติบโต และเพื่อการผลิตน้ำนม

จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้อง เป็นตัวที่มีบทบาทสำคัญมากทั้งในขบวนการหมักและย่อยสลายอาหารให้อยู่ในรูปของโภชนะที่สัตว์สามารถดูดซึมนำไปใช้ประโยชน์ได้ อีกทั้งตัวของจุลินทรีย์เองเมื่อผ่านออกจากรูเมนไปที่ลำไส้เล็ก ก็จะถูกน้ำย่อยของสัตว์ย่อยและดูดซึมนำไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งนับว่าเป็นแหล่งโภชนะที่สำคัญอย่างหนึ่งของสัตว์ ดังนั้นการให้อาหารที่มีความสมดุลของโภชนะ จึงมีผลต่อการเจริญเติบโตและกิจกรรมการหมักของจุลินทรีย์ในรูเมน ซึ่งมีผลต่อสัตว์ในทางอ้อมด้วย

2.5.5 ความต้องการพลังงานและโปรตีนของจุลินทรีย์

ปัจจัยเบื้องต้นที่มีผลต่อการสังเคราะห์โปรตีนในเซลล์ของจุลินทรีย์ (microbial crude protein, MCP) คือ พลังงานและไนโตรเจนที่จุลินทรีย์ในรูเมนได้รับ และอัตราการไหลออกของอาหารจากรูเมน ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับของการกินอาหาร โดยทั่วไปแล้วพลังงาน ME ที่สัตว์ได้รับจะเป็นปัจจัยหลักที่กำหนดการสังเคราะห์ MCP ทั้งนี้ปริมาณผลผลิตของจุลินทรีย์จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณของอินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้ในรูเมน (organic matter apparently digested in the rumen, OMADR) Jones *et al.* (1996) แนะนำค่า OMADR ที่เหมาะสมเท่ากับ 0.67 ส่วน ARC (1984) เสนอค่าเท่ากับ 0.65 โดยลดค่าลงจากอาหารที่มีการเสริมไขมัน หรือเท่ากับ 0.68 สำหรับการให้อาหารหยาบหมัก ในขณะที่ AFRC (1992) เสนอค่าพลังงาน fermentable energy (FME) มีหน่วยเป็น FME MJ/day หรือ FME MJ/kg DM โดยพิจารณาว่า FME เป็นส่วนหนึ่งของพลังงาน ME ซึ่งจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการสังเคราะห์เซลล์ของจุลินทรีย์ได้ และได้มีการหักลบค่าพลังงานจากไขมันและกรดอินทรีย์ต่างๆ ที่เป็นผลผลิตจากขบวนการหมัก (fermentable products) ของอาหารหยาบหมัก ทั้งนี้เนื่องจากโภชนะดังกล่าวเป็นส่วนที่ไม่มีประโยชน์ต่อจุลินทรีย์ในรูเมน แต่ทั้งนี้ไม่ได้หักลบค่าพลังงานในส่วนของโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในรูเมน (undegradable dietary protein, UDP) ออกจากค่า FME จึงทำให้ค่าที่ได้สูงกว่าความเป็นจริง โดยเฉพาะอาหารที่มีโปรตีนสูงเช่น ปลาป่นซึ่งให้พลังงาน ME เกือบ 56 เปอร์เซ็นต์ จาก UDP ส่วน ARC (1984) ประมาณค่าเฉลี่ยผลผลิตโปรตีนจากจุลินทรีย์ที่ 32 g microbial N/kg OMADR หรือ

= 1.34 g N/MJ ME สำหรับอาหารที่มีความสมดุลของโภชนะดี

= 1.0 g N/MJ ME สำหรับหญ้าหมัก

= 1.4 g N/MJ ME สำหรับหญ้าหมักร่วมกับการเสริมอาหารขึ้น

NRC (1989) แนะนำให้ใช้สมการเส้นตรง (linear equation) ในการประมาณ microbial nitrogen (MN) ไว้คือ $MN (g N/Mcal) = -30.93 + 11.45 NEL$

AFRC (1992) เสนอค่า 7.4, 9.0, 9.5 และ 9.8 g of MCP/MJ ME ที่ระดับการกินอาหารที่ 1 ถึง 4 เท่าของระดับการกินอาหารเพื่อการดำรงชีพ ตามลำดับ

Energy value DM (MJ/kg) = 0.0124 CP + 17.3 ; (CP มีหน่วยเป็น g/kg DM)

สมการนี้ได้ค่าเฉลี่ยผลผลิตโปรตีนจากจุลินทรีย์เท่ากับ 1.5 g N/MJ ME หรือ 9.6 g MCP/ MJ ME ดังนั้นจะเห็นได้ว่าทั้ง ARC (1984) และ NRC (1989) ได้ให้ค่าทำนายผลผลิตโปรตีนจากจุลินทรีย์ใกล้เคียงกัน

ประสิทธิภาพของการผลิต MCP ที่ได้จากพลังงาน FME (หรือเรียกว่า YFME) โดย AFRC (1993) แสดงค่าเป็น g MCP/ MJ FME จะถูกกำหนดโดยระดับการกินได้ (L) ที่ระดับเพื่อการดำรงชีพ ไปจนถึง 4.5 เท่า และประสิทธิภาพการสังเคราะห์ MCP จะเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลงตามระดับการกินได้ จนกระทั่งถึง 4.5 เท่า ของระดับการกินได้เพื่อการดำรงชีพ ซึ่งสามารถแสดงค่าประมาณในแต่ละระดับของการกินได้อย่างง่ายๆ ได้ดังนี้

Maintenance level of feeding (X) = 9 g MCP/ MJ FME

Growing cattle (2 X) = 10 g MCP/ MJ FME

Late pregnancy (3 X) = 11 g MCP/ MJ FME

จุลินทรีย์กลุ่มที่ใช้คาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้าง (structural carbohydrate, SC) ในขบวนการหมักเช่น cellulose และ hemicellulose เป็นจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตช้า ใช้แอมโมเนียเป็นแหล่งไนโตรเจนหลักเพื่อการสังเคราะห์ จะไม่ใช่ peptides และ amino acids เป็นแหล่งอาหาร ดังนั้นแหล่งของ N ที่ใช้จะอยู่ในรูปของแอมโมเนีย สำหรับ peptides และ amino acids จะนำไปใช้เป็นสารตั้งต้น (precursor) ในการผลิต branched chain fatty acids ซึ่งเป็นปัจจัยในการเจริญเติบโต (growth factor) ของจุลินทรีย์หลายชนิด โดยเฉพาะกลุ่ม cellulolytic fermenters

สำหรับจุลินทรีย์กลุ่มที่ใช้คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้าง (non-structural carbohydrate, NSC) ในขบวนการหมักเช่น แป้ง น้ำตาล และเฟคติน เป็นจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตได้เร็วกว่า พบว่าอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ทั้ง 2 กลุ่ม เป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราการย่อยสลายของคาร์โบไฮเดรต และเมื่ออัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ต่ำร่วมกับการไหลออกของอาหารจากรูเมนช้า สัดส่วนการใช้พลังงานเพื่อการดำรงชีพของจุลินทรีย์จะเพิ่มขึ้น ดังนั้นมีผลทำให้ผลผลิตของจุลินทรีย์ลดลง ในทางตรงกันข้ามถ้าอาหารมีโภชนะที่เป็นประโยชน์ต่อจุลินทรีย์มาก ความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพของจุลินทรีย์จะลดลง โดยมีค่าประมาณที่ 0.150 และ 0.05 กรัมของคาร์โบไฮเดรต/กรัมของแบคทีเรีย/ชั่วโมง สำหรับจุลินทรีย์ที่หมัก NSC และ SC ตามลำดับ

NRC (1989) ประมาณค่าพลังงานที่สูญเสียซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากขบวนการ deamination ของยูเรีย ในกรณีสัตว์ได้รับโปรตีนในอาหารสูงเกินความต้องการ มีค่าเท่ากับ 30 kJ ต่อทุก 1 กรัมของโปรตีนที่มากกว่าความต้องการ ดังนั้นการเพิ่มโปรตีนในอาหารสูงเกินความต้องการ 5 เปอร์เซ็นต์ ในโคที่กินอาหารวันละ 20 กก. จะทำให้ผลผลิตน้ำนมลดลง 1 ลิตร/วัน

AFRC (1993) ยังคงใช้ค่าการย่อยได้ของโปรตีนแท้จากจุลินทรีย์ (microbial true protein) ที่ลำไส้เล็กเท่ากับ 85% เปอร์เซ็นต์ ส่วนการย่อยได้ของโปรตีนจากอาหาร (UDP) ประมาณโดยการหัก ADIN ออกดังนี้

$$\text{DUP} = 0.9 (\text{UDP} - 6.25 \times \text{ADIN})$$

2.6 การศึกษาความต้องการโภชนะของโคนมไทย

จากการรวบรวมข้อมูลของสมคิด และคณะ (2541) เกี่ยวกับการประเมินความต้องการโภชนะของโคนมไทย จากผลงานโครงการวิจัยอาหารสัตว์ไทย-เยอรมัน ที่ได้ศึกษาคุณค่าทางโภชนะของหญ้าบางชนิด ที่ตัดในอายุต่างๆ กัน ทั้งในรูปของหญ้าสด หญ้าหมัก และหญ้าแห้ง รวมทั้งข้าวโพด ข้าวฟ่าง และวัสดุเศษเหลือทางการเกษตรโดยเฉพาะฟางข้าว และฟางหมักยูเรีย จากข้อมูลดังกล่าวพอที่จะสรุปได้ว่า หญ้าที่ตัดเมื่ออายุต่ำกว่า 8 สัปดาห์ จะมีโปรตีนประมาณ 8-10 เปอร์เซ็นต์ มีพลังงาน TDN ประมาณ 50-55 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งใกล้เคียงกับฟางหมักยูเรีย จัดว่าเป็นอาหารหยาบคุณภาพปานกลางเหมาะสำหรับใช้เลี้ยงโคนมที่ให้นมต่ำกว่าวันละ 15 กก. สำหรับข้าวโพดหมักที่ตัดในช่วงที่เมล็ดเป็นแป้งระยะน้ำนม (milky stage) และเป็นแป้งแข็ง (dough stage) จะมีพลังงาน TDN เท่ากับ 56 และ 60 เปอร์เซ็นต์ เหมาะสำหรับใช้เลี้ยงโคนมที่ให้นมวันละ 15 กก. และ 20 กก. ตามลำดับ สำหรับฟางข้าวที่ไม่ได้หมักยูเรีย และหญ้าที่ตัดเมื่ออายุเกินกว่า 8 สัปดาห์ จะมีโปรตีนดินต่ำ (2-6 เปอร์เซ็นต์) และพลังงาน TDN ต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ จึงจัดว่าเป็นอาหารหยาบคุณภาพต่ำ ถ้าหากนำมาใช้เลี้ยงโคนมต้องเสริมอาหารขึ้นในระดับสูงมาก

สมคิดและคณะ (2541) ได้เสนอสมการ multiple regression ทำนายค่าพลังงาน TDN ของอาหารหยาบประเภทต่างๆ ไว้ดังนี้

Table 2.2 Prediction equation of total digestible nutrient (TDN) content in different type of roughages from chemical composition in feed

Roughage type ⁽¹⁾	Prediction equation	R ²	RSD ⁽²⁾	N
1	TDN = - 0.534 + .792CP+1.897EE+0.123CF+0.729NFE	0.66	4.74	44
2	TDN = 10.75+0.315CP+7.251EE+0.713CF-0.108NFE	0.78	2.80	15
3	TDN = 111.59+0.560CP+6.852EE+0.936CF+2.375NFE	0.99	1.08	6
4	TDN = 49.615 - 1.016CP+0.27CF	0.90	0.27	4
	= 28.966+0.314NDF	0.68	0.58	4

⁽¹⁾ 1 = fresh forages, 2= dry forages, 3 = silage; 4 = urea treated straw

⁽²⁾ RSD: Residual standard deviation

ที่มา: สมคิด และคณะ (2541)

จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่า ค่า TDN ส่วนใหญ่ได้มาจากส่วนประกอบทางเคมีในอาหารโดยวิธีวิเคราะห์แบบประมาณ (proximate analysis) เป็นที่ทราบกันดีว่าค่าเชื้อใย CF ที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธีนี้จะมีค่าต่ำกว่าความเป็นจริง (underestimate) ก็คือต่ำกว่าค่าเชื้อใย NDF หรือแม้แต่ ADF ที่วิเคราะห์โดยวิธี detergent analysis ดังนั้นการใช้สมการทำนายค่า TDN จากค่าเชื้อใย NDF และ NSC (nonstructural carbohydrate) น่าจะเหมาะสมกว่า แต่ด้วยความจำกัดของข้อมูลในประเทศ ไทย สมคิดและคณะ (2541) ได้เสนอค่าปรับ ADF ไว้คือ $ADF = 1.61 + 1.3 CF$

สำหรับความต้องการเชื้อใยในสูตรอาหาร เนื่องจากพืชอาหารสัตว์ในเขตร้อน (tropical zone) มีปริมาณเชื้อใยสูงกว่าในเขตอบอุ่น (temperate zone) โคมนในเขตร้อนอาจมีความต้องการเชื้อใยมากกว่าก็ได้ ดังที่สมคิดและคณะแนะนำให้ใช้เชื้อใย ADF ที่ระดับ 29.8 เปอร์เซ็นต์

Martens (2001) ประมาณความต้องการพลังงานและโปรตีนตามคำแนะนำของ *GfE* (Association for Nutrition Physiology of Domestic Animals, 1997, ประเทศเยอรมันนี) โดยใช้ข้อมูลจากโคนมจำนวน 25 ตัว ของฟาร์มมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ซึ่งเป็นโคนมพันธุ์ลูกผสมขาว-ดำ (75-87.5% HF) น้ำหนักตัว 400-450 กก. ผลผลิตน้ำนม 305 วันเท่ากับ 2,907 กก. มีค่าเฉลี่ยไขมันนม โปรตีน แล็คโตส และของแข็งไม่รวมมันเนย (SNF) เท่ากับ 3.87, 3.08, 4.58 และ 8.30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พบว่าโคดังกล่าวมีความต้องการโภชนาการดังนี้

ความต้องการพลังงานสุทธิ (Net energy)

- ความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพเท่ากับ

$$MJ NEM/day = 0.293 \times kg BW^{0.75}$$

- ความต้องการพลังงานเพื่อการผลิตนมเท่ากับ

$$MJ NEL/kg \text{ milk} = 0.37 \times \%fat + 0.21 \times \%protein + 0.95$$

ความต้องการโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ (usable protein requirement, uCP)

Usable protein of feed (uCP) มีค่า = $[187.7 - (115.4 \times (UDP/CP_{w,u}))] \times DOM + 1.03 \times UDP$ (for feedstuff with $\leq 7\%$ crude fat in the dry matter) ซึ่ง

UDP = undegradable crude protein (g/kg DM)

$CP_{w,u}$ = crude protein without urea (g/kg DM)

DOM = digestible organic matter (kg/kg DM)

- ความต้องการโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการดำรงชีพของโคที่มีน้ำหนักตัว 450 กก. เท่ากับ 360 uCP (g/day)

- ความต้องการโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้เพื่อการผลิตนม 1 กก. ที่ระดับโปรตีนในนม 3.0, 3.2 และ 3.4 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 78, 82 และ 86 uCP (g/day) ตามลำดับ

ดังนั้นโคนมที่หนัก 450 กก. ให้นมวันละ 10 กก. มีไขมันนม 3.5 เปอร์เซ็นต์ และโปรตีนในนม 3.0 เปอร์เซ็นต์ ถ้าหากโคกินอาหารคิดเป็นน้ำหนักแห้งได้วันละ 12 กก. โคมีความต้องการโภชนะต่างๆ และความเข้มข้นของโภชนะในอาหารดังต่อไปนี้

พลังงาน	57.4 MJ NEL/day (4.8 MJ NEL/kg DM)
โปรตีน	1,380 g/day (โปรตีนขั้นต่ำในอาหาร 9%DM)
เยื่อใย (CF)	18% DM
อินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้ (OMD)	66%

2.6.1 ความต้องการโภชนะของโคนมรุ่นลูกผสมขาว-ดำ

สมคิดและคณะ (2541) รายงานว่าการลด TDN และ CP ลงต่ำกว่าที่ NRC (1988) แนะนำ มีผลทำให้การเจริญเติบโตของโครุ่นลดลง และเสนอแนะว่าโคนมรุ่นในประเทศไทยมีความต้องการพลังงานสุทธิเพื่อการเจริญเติบโต (net energy for gain, NEG) และโปรตีนสูงกว่า NRC หรือต้องการ TDN และ CP สูงกว่า NRC เท่ากับ 16 และ 3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังต่อไปนี้

Table 2.3 The estimation of energy and protein requirements of purebred and crossbred of Holstein heifers

Energy and protein requirements	Purebred ^{1/}	Crossbred ^{2/}
NE for maintenance (NEM, Mcal/d)	0.086 BW ^{0.75}	0.086 BW ^{0.75}
NE for gain (NEG, Mcal/kg)	0.045 BW ^{0.75} (LWG/1000) ^{1.119}	0.077BW ^{0.75} (LWG/1000) ^{1.119}
	+1.0LWG/1000	+1.0LWG/1000
TDN (kg/d)	1.0 NRC	1.16 เท่าของ NRC
Crude protein (CP, kg/d)	0.12 DMI x 1000	0.125 DMI x 1000
	1.0 NRC	1.03 เท่าของ NRC

^{1/} NRC (1988), ^{2/} สมคิด และคณะ (2541), LWG = live weight gain (kg/d)

2.6.2 ความต้องการโภชนะของโครีดนมลูกผสมขาว-ดำ

พันธุ์โคนมในประเทศไทยส่วนใหญ่จะเป็นพันธุ์ลูกผสมขาว-ดำ จากสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยเป็นแบบร้อนชื้น อาจจะมีผลทำให้ความต้องการโภชนะของโครีดนมลูกผสมขาว-ดำแตกต่างไปจากคำแนะนำของ NRC (1988) ได้ สมคิด และคณะ (2541) ได้ทดลองทดสอบอาหารโครีดนมจำนวน 1,450 ตัว ทำการเก็บข้อมูลเป็นเวลา 4 เดือน โดยปรับลดโปรตีนในอาหารชั้นลงจาก 20 เป็น 18 เปอร์เซ็นต์ (หรือลดลงคิดเป็น 9 เปอร์เซ็นต์) ส่วนโภชนะอื่นได้แก่ พลังงาน แร่ธาตุ และวิตามิน ให้ตามอัตราที่ NRC กำหนด ผลการทดลองพบว่าโคที่ได้รับโปรตีนต่ำจะให้ผลผลิตนมลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P < 0.01) โดยกลุ่มที่ได้รับโปรตีนต่ำจะให้นม 12.8 ± 0.26 กก./ตัว/วัน เทียบกับ $14.2 \pm$

0.24 กก./ตัว/วัน ในกลุ่มที่ได้รับโปรตีนสูง นอกจากนั้นการลดโปรตีนยังมีแนวโน้มทำให้โคมีปัญหาคอสมมติเพิ่มขึ้น

สรุปโดยภาพรวม แม้จะมีคำแนะนำการให้อาหารโคนมลูกผสมขาว-ดำ สำหรับโคนมของประเทศไทยอยู่บ้าง แต่ทั้งนี้ยังต้องการข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อยืนยันและเสริมความสมบูรณ์ในอีกหลายด้าน ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยความร่วมมือจากนักวิชาการที่เกี่ยวข้องดำเนินการวิจัยต่อไปอย่างต่อเนื่อง รวมทั้งต้องปรับวิธีการวิจัยให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน เพื่อให้สามารถปรับใช้ข้อมูลร่วมกันได้ การมีเอกสารคำแนะนำมาตรฐานการให้อาหารโคนมสำหรับประเทศไทยมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการพัฒนาการเลี้ยงโคนมของประเทศ ผู้ที่จะได้รับประโยชน์โดยตรงคือเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมทั่วประเทศ ในการที่จะช่วยลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโคนมของประเทศให้สูงขึ้นในระดับที่สามารถแข่งขันกับต่างประเทศได้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ขอบข่ายของงานวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการศึกษาคุณค่าทางอาหาร (feeding value) ของหญ้าอาหารสัตว์เขตร้อน โดยแบ่งงานศึกษาออกเป็น 2 เรื่องหลัก ได้แก่ (1) การศึกษาคุณค่าทางอาหารของหญ้าแห้ง 4 ชนิด ที่ตัดเมื่ออายุ 30, 45 และ 60 วัน และ (2) การศึกษาคุณค่าทางอาหารของหญ้าพาสปาลัมอุบลในรูปของหญ้าหมัก และการตอบสนองของระดับพลังงานและโปรตีนในโคนม แต่ละเรื่องแบ่งการทดลองออกเป็น การทดลองย่อย โดยมีรายละเอียด และขั้นตอนวิธีการดังต่อไปนี้

3.1 การศึกษาคุณค่าทางอาหารของหญ้าแห้ง

ชนิดของหญ้าที่ทำการศึกษามี 4 ชนิด ได้แก่

- 1 หญ้าพาสปาลัมอุบล (Ubon paspalum grass, *Paspalum atratum* cv. Ubon)
- 2 หญ้ารูซี (Ruzi grass, *Brachiaria ruzizensis*)
- 3 หญ้ากินนีสีม่วง (Purple guinea grass, *Panicum maximum* cv. Purple)
- 4 หญ้าจาร์ราจิต (Jarra digit grass, *Digitaria milaniana* cv. Jarra)

หญ้าแต่ละชนิดตัดทำหญ้าแห้งที่อายุต่างกัน 3 ระยะคือ 30, 45 และ 60 วัน นับหลังจากวันตัดครั้งที่แล้ว (regrowth) ดังนั้นจำนวนสิ่งทดลองทั้งหมด (treatment combination) เท่ากับ 12 ทรีทเมนต์ โดยมีขั้นตอนและวิธีการทำหญ้าแห้งดังนี้

เริ่มทำหญ้าแห้ง ในระหว่างเดือนตุลาคม - ธันวาคม 2541 ในการทำหญ้าแห้ง ใช้หญ้าที่ได้จากแปลงหญ้าเดิมที่ฟาร์มคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ซึ่งปลูกมาแล้ว 3 ปี หญ้าแต่ละชนิดเลือกจากแปลงที่มีความสม่ำเสมอ มีถั่วและวัชพืชปะปนอยู่น้อย ซึ่งสามารถคัดเลือกแปลงที่เหมาะสมได้ชนิดละประมาณ 10 ไร่ ยกเว้นหญ้าพาสปาลัมอุบล ซึ่งมีพื้นที่ปลูกในฟาร์มคณะเกษตรศาสตร์เพียง 4 ไร่ จึงได้คัดเลือกจากแปลงของเกษตรกรเสริมอีก 4 ราย พื้นที่ปลูกรวมประมาณ 6 ไร่ โดยทุกแปลงทำการตัดหญ้าครั้งสุดท้ายเพื่อปิดแปลง (closing date) เมื่อ วันที่ 15 กันยายน 2541 ใส่ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) อัตรา 25 ก.ก. ต่อไร่ หลังการตัดครั้งแรก และหลังจากนั้นใส่ปุ๋ยยูเรียในอัตราเดิมอีกทุกๆ 30 วัน

เมื่อหญ้ามีอายุครบตามที่กำหนด ทำการตัดหญ้าด้วยเครื่องที่ตัดท้ายรถแทรกเตอร์ (mower) ตากหญ้าทิ้งไว้ในแปลงจนกระทั่งแห้ง ซึ่งใช้เวลาประมาณ 2-3 วัน ในระหว่างที่ตากมีการใช้เครื่องคราด (racker) เกลี่ยพลิกกลับหญ้าวันละ 2 ครั้งในช่วงเช้าและบ่าย เมื่อหญ้าแห้งสนิททำการอัดฟ่อนด้วยเครื่องอัดฟ่อน (baler) แล้วขนไปเก็บไว้ในโรงเก็บหญ้าแห้ง

นำหญ้าแห้งทั้ง 12 ทริทเมนต์ดังกล่าว มาทำการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี และทดสอบการย่อยได้ ทั้งในสัตว์ (In vivo) และในห้องปฏิบัติการ (In vitro) ด้วยวิธีการต่างๆ ดังนี้

3.1.1 วิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของหญ้าแห้ง ประกอบด้วย

(1) วิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีโดยวิธีประมาณ (proximate analysis) เพื่อวิเคราะห์หาค่าวัตถุแห้ง (dry matter, DM), โปรตีนหยาบ (crude protein, CP), เถ้า (ash), ไขมัน (ether extract, EE), เยื่อใยหยาบ (crude fiber, CF), และไนโตรเจนฟรีเอ็กซ์แทรกซ์ (nitrogen free extract, NFE) ตามวิธีของ AOAC. (1990)

(2) วิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบของเยื่อใยโดยใช้สารฟอก (detergent analysis) ซึ่งประกอบด้วย neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), acid detergent lignin (ADL), และ acid detergent insoluble nitrogen (ADIN) ตามวิธีของ Van Soest and Robertson (1985)

(3) วิเคราะห์หาค่าพลังงานทั้งหมดในอาหาร ด้วยเครื่อง adiabatic bomb calorimeter เพื่อหาค่า พลังงานทั้งหมด (gross energy, GE)

3.1.2 ศึกษาคุณค่าทางอาหารของหญ้าแห้ง

นำหญ้าแห้งทั้ง 4 ชนิดมาทำการศึกษาระดับการกินได้ของวัตถุแห้ง (dry matter intake, DMI) และสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะต่างๆ (nutrient digestion coefficients) ทั้งในสัตว์ (In vivo) และในห้องปฏิบัติการ (In vitro) ทำการทดสอบปริมาณการกินได้และการย่อยได้ของอาหารในสัตว์ ด้วยวิธีการเก็บตัวอย่างทั้งหมด (total collection) โดยทำการทดลองทั้งหมด 4 ครั้ง ตามชนิดของหญ้า ทั้งนี้มีข้อกำหนดว่า หากหญ้าชนิดใดมีโปรตีนต่ำกว่า 8 เปอร์เซ็นต์ จะทำการเสริมกากถั่วเหลือง เพื่อยกระดับโปรตีนขึ้นเป็นประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ เพื่อปรับสภาพการย่อยอาหารของโคให้เป็นปกติ หลังจากนั้นจะทำการทดลองอีกการทดลองหนึ่ง เพื่อทดสอบหาค่าการย่อยได้ของกากถั่วเหลือง เพื่อนำค่ามาหักลบออกจากงานทดลองนี้ ด้วยวิธีการคำนวณที่เรียกว่า by difference method ซึ่งจะทำให้ทราบค่าการย่อยได้เฉพาะของหญ้าได้

3.1.3 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

งานทดลองที่ 3.1.1 วิเคราะห์ความแปรปรวนของสิ่งทดลอง (analysis of variance, ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบ Factorial arrangement in CRD โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปัจจัย 2 อย่าง คือ ชนิดหญ้า และอายุการตัด และปฏิสัมพันธ์ (interaction) ระหว่างชนิดหญ้า และอายุการตัด ซึ่งคำนวณโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป (SAS, 1985)

งานทดลองที่ 3.1.2 วิเคราะห์ความแปรปรวนของสิ่งทดลอง (ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบ Randomized complete block design (RCBD) โดยวิเคราะห์แยกกันในหญ้าแต่ละชนิด เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอายุการตัดที่ 30, 45 และ 60 วัน ด้วยวิธี Duncan's multiple rank test (DMRT) ซึ่งคำนวณโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป (SAS, 1985)

3.2 การทดสอบหาค่าการย่อยได้ของกากถั่วเหลือง

ทำการทดลองในสัตว์โดยใช้วิธีการเก็บตัวอย่างทั้งหมดเช่นเดียวกับงานทดลองในหัวข้อ

3.1.2 ทำการทดลองทั้งหมด 2 ครั้ง ดังนี้

3.2.1 การย่อยได้ของกากถั่วเหลืองเมื่อใช้หญ้าแห้งจากหญ้ากินนีสีม่วง เป็นอาหารหยาบ

3.2.2 การย่อยได้ของกากถั่วเหลืองเมื่อใช้หญ้าจาร์ราดิติ เป็นอาหารหยาบ

หญ้าทั้ง 2 ชนิดตัดทำหญ้าแห้งเมื่ออายุ 40 วัน และเสริมกากถั่วเหลืองที่ระดับ 0, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักแห้ง คำนวณหาค่าการย่อยได้ของโภชนะในกากถั่วเหลืองด้วยวิธี by difference method เพื่อนำค่าที่ได้ไปประมาณการย่อยได้ของหญ้าแห้งที่มีการเสริมกากถั่วเหลืองในการทดลองที่ 3.1.2 ทั้งนี้โดยมีเงื่อนไขที่สำคัญคือ ต้องไม่เกิดปฏิกริยาร่วม (associative effect) ระหว่างอาหาร หรือการเสริมกากถั่วเหลืองต้องไม่ทำให้การย่อยได้ของหญ้าแห้งเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม จึงจะสามารถนำค่าไปประมาณการย่อยได้ของหญ้าแห้งได้

การทดลองหาการกินได้และการย่อยของหญ้าแห้ง 4 ชนิด และกากถั่วเหลืองดังกล่าวข้างต้น ด้วยวิธีเก็บตัวอย่างทั้งหมด ซึ่งมีรายละเอียด วิธีการ และขั้นตอนดังต่อไปนี้

สัตว์ทดลอง ใช้โคนมสาวพันธุ์ลูกผสมขาว-ดำ มีระดับเลือดพันธุ์ขาว-ดำ อยู่ในช่วงประมาณ 75-93 เปอร์เซ็นต์ อายุประมาณ 15-20 เดือน น้ำหนักตัวอยู่ในช่วง 250-350 กก.จำนวนทั้งหมด 12 ตัว จัดแบ่งออกเป็น 4 (replications) กลุ่มๆ ละ 3 ตัว ตามอายุและน้ำหนักตัว สำหรับงานทดลองที่ 3.1.2 สุ่มโคในแต่ละกลุ่มให้ได้รับหญ้าแห้งชนิดเดียวกัน แต่ตัดที่อายุต่างกัน 3 ระยะคือ 30, 45 และ 60 วัน ส่วนงานทดลองที่ 3.2.1 และ 3.2.2 สุ่มโคให้ได้รับหญ้าแห้งชนิดเดียวกัน แต่เสริมกากถั่วเหลืองต่างกัน 3 ระดับคือ 0, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ก่อนนำโคเข้าทดลองทำการฉีดวัคซีนป้องกันโรคปากและเท้าเปื่อย และโรคคอบวม รวมทั้งกำจัดพยาธิภายนอก-ภายใน และฉีดวิตามิน A, D และ E เสริมเพื่อป้องกันการขาดวิตามิน เนื่องจากโคต้องกินหญ้าแห้งติดต่อกันเป็นเวลานาน

อาหารทดลอง เป็นหญ้าแห้งชนิดต่างๆ ที่ตัดเมื่ออายุต่างกัน 3 ระยะดังกล่าว (ทดลองครั้งละ 1 ชนิดแยกกัน) การให้อาหารโคทดลอง ทำการสับหญ้าแห้งให้มีชิ้นยาวประมาณ 3-5 ซม. เพื่อลดการเลือกกินและป้องกันการหกหล่นของอาหาร ก่อนเริ่มการทดลองได้สุ่มหญ้าแห้งไปวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน (CP) ตัวอย่างใดที่พบว่าโปรตีนต่ำกว่า 8 เปอร์เซ็นต์ จะทำการเสริมกากถั่วเหลือง เพื่อยกระดับโปรตีนในสูตรอาหารให้อยู่ที่ประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ การให้อาหารแบ่งให้วันละ 2 ครั้ง เมื่อเช้าเวลา 07.00 น. และเมื่อเย็นเวลา 16.00 น. โดยให้กากถั่วเหลืองก่อนแล้วตามด้วยหญ้าแห้ง

กรงทดสอบอาหาร (metabolism crate) กรงนี้อยู่ภายในคอกที่เปิดโล่ง มีการระบายอากาศที่ดี มีลักษณะเป็นช่องขังเดี่ยว แบบผูกยืนโรงมีโซ่และประกับคอก (ลักษณะคล้ายกับของรีดนม) ด้านหน้ามีรางน้ำและรางอาหารเฉพาะตัว บริเวณที่โคยืนทำเป็นแคร่ยกสูงจากพื้นประมาณ 15

ชม. ขนาด 100 x 120 ซม. ด้านบนพื้นแคร์ปูด้วยแผ่นยางหนาประมาณ 0.5 ซม. เพื่อป้องกันโคลนและเจ็บกีบ ด้านท้ายแคร์วางกระบะรับมูล ซึ่งทำมาจากแผ่นเหล็กสแตนเลส ขนาด 60 x 100 x 10 ซม. (กว้าง x ยาว x ลึก) เพื่อรองรับมูลที่โคขับถ่ายออกมาทั้งหมด

การเก็บตัวอย่างและการเก็บข้อมูล นำโคเข้าทดลองในกรงทดสอบอาหาร โดยพืชอาหารสัตว์แต่ละ ชนิด จะใช้เวลาในการทดลอง 23 วันแบ่งเป็น 4 ระยะ แต่ละระยะของการทดลองมีรายละเอียดการปฏิบัติงานดังนี้

- วันที่ 1-5 เป็นระยะเวลาปรับตัว (adaptation period) เพื่อให้โคคุ้นเคยกับคอกและอาหารทดลอง ให้โคกินอาหารหยาบหรือหญ้าที่ต้องการทดสอบเต็มที่ (*ad libitum*) ส่วนกากถั่วเหลืองกำหนดปริมาณให้เป็นรายตัวตามสัดส่วนปริมาณอาหารหยาบที่กิน และมีน้ำสะอาดให้โคกินได้ตลอดเวลา

- วันที่ 6-12 เป็นระยะเวลาเก็บข้อมูลปริมาณการกินได้อย่างเต็มที่ (voluntary feed intake) พยายามให้โคทุกตัวมีหญ้าแห้งเหลือวันละ 1-2 กก. เพื่อให้แน่ใจว่าโคกินได้เต็มที่ การให้อาหารทำโดยชั่ง นน.อาหารที่ให้ทุกมื้อ และชั่ง นน. อาหารที่เหลือตอนเช้าวันรุ่งขึ้น (ก่อนที่จะให้อาหารวันต่อไป) ทุกวันได้ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างอาหารที่ให้ (feed offered) และอาหารที่เหลือ (feed refusal) เพื่อนำไปอบหา นน.แห้งที่โคกินแต่ละวัน

- วันที่ 13-17 ลดปริมาณหญ้าแห้งลงเหลือ 90 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณที่โคกินได้อย่างเต็มที่ (จากค่าเฉลี่ยในวันที่ 6-12) พยายามให้โคกินอาหารให้หมด เพื่อลดปัญหาที่จะต้องเก็บอาหารที่เหลือไปวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีภายหลัง

- วันที่ 18-23 ระยะเก็บตัวอย่าง (collection period) นอกจากบันทึกข้อมูลปริมาณการกินอาหารแล้ว ได้ทำการชั่งน้ำหนักมูลที่โคขับถ่ายออกมาทั้งหมดในแต่ละวัน นำมูลทั้งหมด (แยกมูลโคเป็นรายตัว) มาผสมคลุกเคล้าด้วยเครื่องนวดแป้งขนมจีน จากนั้นสุ่มตัวอย่างมูลส่วนหนึ่งไปอบหาน้ำหนักแห้ง และสุ่มมูลอีกส่วนหนึ่ง 10 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักมูลสดในวันนั้นเก็บไว้ในถุงพลาสติก แล้วนำไปแช่ในตู้เย็นแช่แข็ง อาหารที่ให้และอาหารที่เหลือก็ทำการสุ่มตัวอย่างเก็บไว้ในตู้เย็น

- เมื่อเก็บตัวอย่างได้ครบทั้ง 6 วัน นำมูลออกมาจากตู้แช่แข็งปล่อยให้ละลาย จากนั้นนำมูลของทั้งหมดจาก 6 วันมารวมกัน (แยกมูลโคเป็นรายตัว) แล้วผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน ทำการสุ่มเก็บตัวอย่าง 10 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักมูลสดทั้งหมดอีกครั้ง สุ่มตัวอย่างมูลส่วนหนึ่งไปอบหา นน.แห้ง (อุณหภูมิ 100 °C นาน 24 ชม.) ส่วนที่เหลือนำไปอบที่ อุณหภูมิ 60 °C นาน 48 ชม. แล้วนำไปบดผ่านตะแกรงขนาด 1 มม. และสุ่มเก็บตัวอย่างไว้ 500 กรัม บรรจุไว้ในกระป๋องพลาสติก เพื่อรอการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีต่อไป กรณียของตัวอย่างอาหารที่ให้และอาหารที่เหลือก็ทำในลักษณะเดียวกัน

3.3 การประเมินคุณค่าทางอาหารด้วยวิธีการย่อยในถุงไนลอน และการผลิตก๊าซ

3.3.1 การประเมินคุณค่าทางอาหารด้วยวิธีการย่อยในถุงไนลอน (*In sacco nylon bag*)

ประมาณค่าอัตราการย่อยสลายของอาหารภายในกระเพาะรูเมน (Rate of degradation in the rumen) โดยใช้วิธีการย่อยในถุงไนลอน ทำการทดลองในโคเจาะกระเพาะรูเมน 2 ตัว โดยมีรายละเอียด ขั้นตอน และวิธีการดังนี้

โคทดลอง ใช้โคนมเพศผู้ตัวจำนวน 2 ตัว อายุประมาณ 4 ปี น้ำหนักตัวประมาณ 450 กก. เป็นโคที่ผ่านการเจาะกระเพาะรูเมนและติดกระบอกพลาสติกที่มีฝาปิดไว้แล้ว (rumen fistulated animal) ก่อนการทดลอง 2 สัปดาห์ ทำการปรับสภาพโค โดยให้กินหญ้าแห้ง (ใช้หญ้าแห้งอายุตัด 45 วัน ชุบน้ำเกลือร่วมกับหญ้าแห้งที่ใช้ทดสอบ) และเสริมอาหารข้นซึ่งมีโปรตีน 15-16 เปอร์เซ็นต์ ในอัตรา 3 กก.ต่อตัวต่อวัน โดยแบ่งให้เช้า-เย็นมือละ 1.5 กก. ทั้งนี้เพื่อเป็นการปรับสภาพแวดล้อมในกระเพาะรูเมนให้เหมาะสมกับจุลินทรีย์ที่จะย่อยอาหารได้อย่างปกติ

การเตรียมตัวอย่างอาหารและการทดสอบ

- ชั่งตัวอย่างอาหารที่ต้องการศึกษา ซึ่งบดผ่านตะแกรงขนาด 1 มม. ประมาณ 2.5 กรัม ใส่ในถุงผ้าไนลอนโพลีเอสเตอร์ (ขนาดรูปประมาณ 50 ไมครอน) ขนาด 8 x 13.5 ซม.

- มัดปากถุงตัวอย่างอาหารให้แน่น จากนั้นนำถุงไปผูกร้อยไว้กับโซ่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม. ความยาวประมาณ 1 เมตร และที่ปลายโซ่จะมีท่อนเหล็กหนักประมาณ 500 กรัม ผูกถ่วงน้ำหนักไว้ เพื่อป้องกันไม่ให้อาหารลอยขึ้นมาด้านบนของกระเพาะรูเมน

- นำโซ่ที่ผูกถุงตัวอย่างอาหารไปจุ่มแช่ (incubate) ไว้ในกระเพาะรูเมนของโคที่เจาะกระเพาะ 2 ตัว เป็นเวลา 0, 4, 8, 12, 24, 48 และ 72 ชม. โดยที่ เวลา 0 ชม. เป็นการนำถุงอาหาร 2 ถุง ไปล้างในน้ำสะอาดไม่ได้นำไปใส่ในกระเพาะรูเมน สำหรับเวลาอื่นๆ ใช้ตัวอย่างอาหารทั้งหมด 4 ถุง โดยแบ่งใส่โค 2 ตัวๆ ละ 2 ถุง รวมทั้งหมด 26 ถุงต่อทริทเมนต์ โดยวิธีทยอยนำเข้าเป็นชุดตามเวลา เมื่อสิ้นสุดเวลาการทดสอบ นำถุงอาหารออกมาจากกระเพาะรูเมนพร้อมกันทั้งหมด

- เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำถุงตัวอย่างออกมาล้างด้วยน้ำสะอาด จนกระทั่งน้ำที่ล้างมีลักษณะใส และนำถุงตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 95 °C นาน 48 ชม. หลังจากนั้นนำออกมาชั่งเพื่อหาน้ำหนักตัวอย่างที่เหลือ

- การคำนวณผล ค่าการย่อยสลายของวัตถุแห้ง (*In situ dry matter degradability, ISDMD*) หรือโกชนะต่างๆ สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$ISDMD, \% = (W_o - W_t - W_{tb} / W_o) \times 100$$

W_o = น้ำหนักของวัตถุแห้งหรือโกชนะในถุง

W_t = น้ำหนักของวัตถุแห้งหรือโกชนะที่ยังคงเหลืออยู่ในถุง

W_{tb} = น้ำหนักของวัตถุแห้งหรือโกชนะที่ยังคงเหลืออยู่ในถุงเปล่า

ที่ไม่ได้ใส่อาหาร (blank)

จากนั้นนำค่าที่ได้ทั้งหมดมาคำนวณหาอัตราการย่อยสลายของอาหาร โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป NEWAY สำหรับค่าศักยภาพการย่อยสลายได้สูงสุด (potential degradability, PD) สามารถคำนวณได้จากสมการของ Huntington and Givens (1995) ได้ดังนี้

$$PD, \% = a + b \times (1 - \exp^{-ct}) \quad \text{โดยที่}$$

PD = Potential degradability

a = ค่าการย่อยสลายที่ชั่วโมงที่ 0 (Y intercept) เป็นค่าที่แสดงถึงส่วนที่ละลายได้และถูกย่อยสลายได้ทั้งหมด หรือเป็นส่วนที่ล้างออกจากถังได้เร็ว (หรือเรียกว่า washing loss)

b = ค่าผลต่างระหว่างค่า intercept (a) กับค่าการย่อยสลายที่ชั่วโมงสุดท้าย (asymptote) เป็นค่าที่แสดงถึงส่วนที่ไม่ละลาย แต่มีศักยภาพที่จะถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน

c = อัตราความเร็วคงที่ในการถูกย่อยสลายของอาหารส่วน b มีหน่วยเป็น ส่วนต่อชั่วโมง (fraction/h)

3.3.2 การประเมินคุณค่าของอาหารด้วยวิธีการผลิตก๊าซ (*In vitro* gas production)

ทำการศึกษาโดยวิธีการผลิตก๊าซ ตามวิธีของ Menke and Steingas (1988) และ Blümmel and Ørskov (1993) เพื่อการประมาณค่าการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ (organic matter digestibility) และพลังงาน ME ในอาหารโดยมีรายละเอียดวิธีการดังนี้

- ชั่งตัวอย่างอาหารประมาณ 500 มก. ที่บดผ่านตะแกรงขนาด 1 มม. ใส่ในหลอดทดลองซึ่งเป็นหลอดแก้วมีลักษณะคล้ายกับกระบอกฉีดยาขนาดใหญ่ (glass syringe) ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 36 มม. ภายใน 32 มม. ยาว 200 มม. และมีความจุ 150 มล. มีขีดบอกปริมาตรถึง 100 มม. อ่านได้ละเอียด 1 มม. ที่ปลายหลอดสวมปิดด้วยสายยางซิลิโคน เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 5 มม. ยาวประมาณ 40 มม. และมีคลิปหนีบพลาสติกที่ปิด เปิดให้ก๊าซออกได้ ทาวาสลินบางๆ ที่แกนคันหลอด (piston) แล้วนำไปสอดใส่ในหลอดแก้ว นำหลอดทดลองไปเก็บไว้ในตู้บ่มซึ่งปรับอุณหภูมิไว้ที่ 39 °C เพื่อรอผสมกับสารละลายและน้ำรูเมนต่อไป

- เก็บน้ำรูเมน (rumen fluid) จากโคที่เจาะกระเพาะไว้แล้วผสมเข้าด้วยกัน 2 ตัว การเลี้ยงดูโคทำเช่นเดียวกับการทดสอบการย่อยได้ในถุงในลอนดังกล่าวมาแล้วข้างต้น วิธีการเก็บน้ำรูเมน เก็บในช่วงเช้าประมาณ 06.00 น. ก่อนเริ่มให้อาหารมือเช้า ทำโดยการล้วงเอาอาหารจากหลายๆ ส่วนภายในกระเพาะรูเมน นำมาบีบคั้นเอาน้ำใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 2 ลิตร กรองผ่านผ้าขาวบาง 2 ชั้น ขวดเก็บน้ำรูเมนนี้ต้องอยู่ในสภาพที่ปราศจากออกซิเจน โดยก่อนนำมาใช้ต้องปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปให้เต็มแล้วปิดฝาให้สนิท และเก็บไว้ในกระติกที่หล่อด้วยน้ำอุ่นไว้ที่อุณหภูมิประมาณ 39 °C นำน้ำรูเมนที่เก็บมาได้ไปผสมกับสารละลายที่เตรียมไว้การเตรียมสารละลายที่ใช้ในการบ่มอาหาร (inoculum solution) มีรายละเอียด ดังนี้

สารละลายแร่ธาตุรอง (micro-mineral solution) ประกอบด้วย

13.2 g CaCl_2 ; 2 H_2O

10.0 g MnCl_2 ; 4 H_2O

1.0 g CoCl_2 ; 6 H_2O

8.0 g FeCl_3 ; 6 H_2O

ละลายในน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ได้ 100 มล.

สารละลายแร่ธาตุหลัก (macro-mineral solution) ประกอบด้วย

5.7 g Na_2HPO_4 anhydrous

6.2 g KH_2PO_4 anhydrous

0.6 g MgSO_4 ; 7 H_2O

ละลายในน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร

สารละลายบัฟเฟอร์น้ำรูเมน (rumen buffer solution) ประกอบด้วย

4.0 g NH_4HCO_3 และ 35 g NaHCO_3

ละลายในน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร

Reducing solution ประกอบด้วย

4.0 ml NaOH 1 N

625 mg Na_2S ; 9 H_2O

ละลายในน้ำกลั่น 95 มล. เตรียมใหม่ทุกครั้งที่ใช้

Resazurin solution ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ (w/v)

ทำการเตรียมสารละลายต่างๆ ให้พร้อมก่อนที่จะเก็บน้ำรูเมน การเตรียมสารต้องทำภายใต้สภาพที่อ้อมด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ (ปล่อยก๊าซเบาๆ ผ่านสายยางเข้าไปที่ด้านในกันขวดเตรียมสาร) ขวดเก็บสารละลายแช่อยู่ในอ่างน้ำอุ่น 39°C และกวนด้วยแท่งแม่เหล็กกวนสารตลอดเวลา ขั้นตอนการผสมสารบ่มอาหารกับน้ำรูเมนทำดังนี้

เติมน้ำกลั่นลงไปในช่วงเตรียมสาร 400 มล. จากนั้นเติมสารละลายแร่ธาตุรอง 0.1 มล. สารละลายแร่ธาตุหลักและ rumen buffer อย่างละ 200 มล. สารละลาย Resazurin 1 มล. และ reducing solution 40 มล. ก่อนที่จะเติมน้ำรูเมนลงไป ต้องปรับอุณหภูมิของสารละลายให้ได้ 39°C ก่อน และสีของสารละลายต้องเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นชมพู และสุดท้ายไม่มีสี ซึ่งแสดงว่าสารละลายเกิดขบวนการ reduction สมบูรณ์แล้ว นำน้ำรูเมนที่เก็บได้ 1 ส่วนไปผสมกับสารละลายที่เตรียมไว้ข้างต้น 2 ส่วน โดยเตรียมใส่ในช่วง Woulff-bottle ที่อยู่ในอ่างน้ำอุ่น 39°C และกวนด้วยแท่งแม่เหล็กกวนสาร พร้อมทั้งปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในสารตลอดเวลา

การนำสารละลายผสมน้ำรูเมนมาบ่มกับอาหารทดลอง

ใช้ปิเปตอัดโนมัตติดูดสารผสม 40 มล. เติมเข้าไปในหลอดทดลอง โดยเติมทางด้านปลายผ่านทางสายยางซิลิโคน หลอดทดลองต้องอุ่นให้ได้อุณหภูมิ 39 °C ถ้าหากมีฟองอากาศอยู่ภายในหลอดทดลองให้ค่อยๆ ดันไล่ออกให้หมด ใช้คลิปหนีบปิดท่ออย่างซิลิโคนป้องกันไม่ให้ก๊าซและของเหลวไหลออก จากนั้นอ่านและบันทึกปริมาตรเริ่มต้น แล้วนำหลอดทดลองไปบ่มไว้ในจานหมุน (rotor) ที่อยู่ในตู้อบ ควบคุมอุณหภูมิภายในตู้ให้คงที่ที่ 39 °C ตลอดเวลา เมื่อครบ 24 ชั่วโมงทำการอ่านและบันทึกปริมาตรอีกครั้ง เพื่อคำนวณหาปริมาณก๊าซที่ผลิตได้ทั้งหมด ข้อควรระวังคืออาหารชั้นจะมีการผลิตก๊าซจำนวนมาก โดยเฉพาะในช่วง 6-8 ชั่วโมงแรกของการบ่ม ดังนั้นช่วงนี้ควรอ่านและบันทึกทุก 2-3 ชั่วโมง หลังจากอ่านเสร็จให้เปิดคลิปและดันก๊าซออกทิ้งและปิดคลิปกลับคืน พร้อมทั้งบันทึกปริมาตรเริ่มต้นใหม่อีกครั้ง ปริมาตรก๊าซที่บันทึกได้ทุกครั้งนำไปบวกสะสมจนครบ 24 ชั่วโมง ทั้งนี้หลอดทดลองที่ไม่ได้ใส่อาหาร (blank) และหลอดทดลองหุ้ยาแห้งและอาหารชั้นมาตรฐานก็ทำพร้อมกันไปกับอาหารทดสอบด้วย แต่ละตัวอย่างทำ 3 ซ้ำแล้วนำมาหาเฉลี่ย

การคำนวณผลการทดลอง

ผลผลิตก๊าซ (Gb) คือ ปริมาตรก๊าซทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นจากชั่วโมงที่ 0 จนถึงชั่วโมงที่ 24 ($V_{24} - V_0$) ลบด้วยปริมาตรก๊าซที่ผลิตได้ในหลอดที่ไม่ได้ใส่อาหาร (G_{b_0}) คูณด้วยน้ำหนักของตัวอย่างโดยปรับให้เป็นน้ำหนักแห้งที่ 200 มก. (200/w) และคูณด้วยค่าปรับที่ได้จากค่าเฉลี่ยของหุ้ยาแห้งและอาหารชั้นมาตรฐาน ($F_H + F_C$)/2 ซึ่งแสดงในรูปของสมการได้ดังนี้

$$Gb \text{ (ml/200 mg DM, 24h)} = \frac{(V_{24} - V_0 - G_{b_0}) \times 200 \times (F_H + F_C)}{W}$$

V_0 = ตำแหน่งของแกนดันหลอด (Piston) ที่บอกปริมาตรเมื่อเริ่มต้นชั่วโมงที่ 0

V_{24} = ตำแหน่งของแกนดันหลอด (Piston) ที่บอกปริมาตรเมื่อสิ้นสุดการวัดในชั่วโมงที่ 24

G_{b_0} = ค่าเฉลี่ยของปริมาตรก๊าซที่ผลิตได้ใน 24 ชั่วโมงของหลอดทดลองที่ไม่ได้ใส่อาหาร (blank)

$F_H = 44.16 * (Gb_H - G_{b_0})$ เป็นค่าปรับ (correction factor) สำหรับอาหารหยาบ

$F_C = 62.6 * (Gb_C - G_{b_0})$ เป็นค่าปรับ (correction factor) สำหรับอาหารชั้น

W = น้ำหนักของอาหารที่ทดสอบในรูปของน้ำหนักแห้ง

หมายเหตุ * ผลผลิตก๊าซของอาหารมาตรฐานแต่ละชุดจะแตกต่างกันไป

ปริมาตรก๊าซมีหน่วยเป็นมิลลิลิตร และน้ำหนักมีหน่วยเป็นกรัม

จากนั้นนำค่าที่ได้ไปแทนค่าในสมการ เพื่อทำนายหาค่าการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ (organic matter digestibility, %OMD) และค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้สำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง (metabolizable energy for ruminants, ME) ดังสมการข้างล่าง

$$\text{Organic matter digestibility, \%} = 14.88 + 0.889 \text{ Gb} + 0.045 \text{ XP} + 0.065 \text{ XA}$$

$$\text{ME}^{1/} (\text{MJ ME/kg DM}) = 1.06 + 0.157 \text{ Gb} + 0.0084 \text{ XP} + 0.022 \text{ XL} - 0.0081 \text{ XA}$$

$$\text{ME}^{2/} (\text{MJ ME/kg DM}) = 2.20 + 0.136 \text{ Gb} + 0.0057 \text{ XP} + 0.00029 \text{ XL}^2$$

ME^{1/} = อาหารข้น, ME^{2/} = อาหารหยาบ เมื่อ XP, XA และ XL คือ เปอร์เซ็นต์ของ โปรตีน เถ้า และไขมัน ในวัตถุแห้ง ตามลำดับ

3.4 การศึกษาคุณค่าทางอาหารของหญ้าหมัก

ชนิดหญ้าที่ทำการศึกษานี้คือ หญ้าพาสพาลัมอุบลที่ตัดเมื่ออายุประมาณ 45 วัน นำมาหมักร่วมกับมันสำปะหลังบด 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักหญ้าสด โดยมีรายละเอียดและขั้นตอนในการทำหญ้าหมักดังนี้

หญ้าพาสพาลัมอุบลที่นำมาทำหญ้าหมัก ได้จากแปลงหญ้าที่ปลูกมาแล้ว 2 ปี ในฟาร์มคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี โดยเลือกจากแปลงหญ้าที่มีความสมบูรณ์ มีวัชพืชปะปนน้อย ก่อนทำหญ้าหมักได้ทำการตัดหญ้าเดิมทิ้งเพื่อปิดแปลง แล้วทำการใส่ปุ๋ยยูเรียในอัตรา 25 กก.ต่อไร่ จากนั้นปล่อยให้หญ้าเจริญเติบโตใหม่ (regrowth) จนอายุได้ประมาณ 40-45 วัน (ความชื้นประมาณ 25-30 เปอร์เซ็นต์) จึงใช้รถแทรกเตอร์ติดเครื่องตัดหญ้าชนิดมีใบมีดลับ 2 ครั้ง (double chopper) ตัด ทำให้ขึ้นหญ้ามีความยาวประมาณ 2-5 ซม. แล้วนำไปหมักในบ่อคอนกรีตขนาดเล็กที่ตั้งอยู่บนผิวดิน (trench silo) ขนาด 2 x 3 x 1.8 ม. จำนวน 6 บ่อ และอีกส่วนหนึ่งหมักในถุงพลาสติกขนาดใหญ่ ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 ม. สูง 2 เมตร (บรรจุหญ้าหมักได้ประมาณ 600 กก./ถุง) จำนวน 12 ใบ การหมักจะใช้แรงคนย่ำเพื่ออัดที่ละชั้น ชั้นละประมาณ 200 กก. และหว่านมันเส้นบดลงไป ในอัตรา 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักหญ้าสด หมักทิ้งไว้เป็นเวลาอย่างน้อย 30 วันก่อนนำมาใช้เลี้ยงสัตว์ โดยทำการหมักหญ้าในช่วงวันที่ 5-20 กรกฎาคม 2543

ในการศึกษาคุณค่าทางอาหารของหญ้าหมัก มีวิธีการขั้นตอนคล้ายกับการศึกษาในหญ้าแห้ง นอกจากนั้นยังได้ศึกษาการตอบสนองในการนำไปเลี้ยงโคนมด้วย โดยแบ่งงานทดลองออกเป็นงานทดลองย่อยดังนี้

3.4.1 การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของหญ้าหมัก

(1) วิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีโดยวิธีประมาณ (proximate analysis) เพื่อวิเคราะห์หาค่าวัตถุแห้ง (dry matter, DM), โปรตีนหยาบ (crude protein, CP), เถ้า (ash), ไขมัน (ether extract, EE), เยื่อใยหยาบ (crude fiber, CF), และ nitrogen free extract (NFE) ตามวิธีของ AOAC. (1990)

(2) วิเคราะห์หาองค์ประกอบของเยื่อใยโดยใช้สารฟอก (detergent analysis) ซึ่งประกอบด้วย neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), acid detergent lignin (ADL), และ acid detergent insoluble nitrogen (ADIN) ตามวิธีของ Van Soest and Robertson (1985)

(3) วิเคราะห์หาค่าพลังงานทั้งหมดในอาหาร (gross energy, GE) ด้วยเครื่อง Adiabatic bomb calorimeter

3.4.2 การศึกษาคุณค่าทางอาหารของหญ้าหมัก

นำหญ้าหมักมาทำการทดสอบหาปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง (dry matter intake, DMI) และสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะ (nutrients digestion coefficient) ทั้งในสัตว์ตัว (In vivo) และในห้องปฏิบัติการ (In vitro) ด้วยวิธีต่างๆ ดังต่อไปนี้

ทดสอบการย่อยได้ในสัตว์ตัว (In vivo) โดยวิธีการเก็บตัวอย่างทั้งหมด (Total collection) โดยมีรายละเอียด วิธีการ และขั้นตอนดังต่อไปนี้

- สัตว์ทดลองและอาหารทดลอง ใช้โคนมสาวพันธุ์ลูกผสมขาว-ดำ มีระดับเลือดพันธุ์ขาว-ดำ อยู่ในช่วงประมาณ 75-93 เปอร์เซนต์ อายุประมาณ 15-20 เดือน น้ำหนักตัวอยู่ในช่วง 200-250 กก. จำนวนทั้งหมด 10 ตัว จัดแบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม (replications) กลุ่มๆ ละ 2 ตัว ตามอายุ และน้ำหนักตัว สุ่มโคนในแต่ละกลุ่มให้ได้รับหญ้าหมักอย่างเดียว (T1) หรือหญ้าหมักร่วมกับอาหารข้นโปรตีน 18 เปอร์เซนต์ ในอัตรา 1 เปอร์เซนต์ของน้ำหนักตัว (T2) การให้อาหารแบ่งให้วันละ 2 ครั้ง โดยมีมือเช้าให้เวลา 07.00 น. และมีมือเย็นเวลา 16.00 น. โดยกลุ่มที่เสริมอาหารข้นจะให้อาหารข้นก่อนแล้วแล้วตามด้วยหญ้าหมัก

- การเก็บตัวอย่างและข้อมูลต่างๆ ได้แก่ ปริมาณการกินได้อย่างเต็มที่ (voluntary feed intake) อาหารที่ให้ (feed offered) อาหารที่เหลือ (feed refusal) และตัวอย่างมูล ทำเช่นเดียวกับวิธี total collection ในหญ้าแห้ง

3.5 การศึกษาการตอบสนองต่อระดับพลังงานและโปรตีนในแม่โครีดนม

นำหญ้าหมักมาทดลองเลี้ยงโคนม ร่วมกับการให้อาหารข้นโดยปรับให้โคได้รับพลังงานและโปรตีนในระดับต่างๆ กัน และศึกษาถึงการตอบสนองในด้านผลผลิตน้ำนม ส่วนประกอบทางเคมีในน้ำนม และการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว จากการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานและโปรตีนในสูตรอาหาร ในการศึกษาได้แบ่งงานทดลองออกเป็น 2 งานทดลองย่อย ดังนี้

3.5.1 การศึกษาอิทธิพลของระดับพลังงานและโปรตีน

การศึกษการตอบสนองของแม่โคนมที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมครบส่วน (total mixed ration, TMR) ซึ่งได้รับหญ้าหมักจากหญ้าพาสลัมอุบลเป็นอาหารหลัก โดยนำมาให้สัตว์กินในคอกขังเดี่ยว (individual tie stall) นำข้อมูลที่ได้จากการงานทดลองที่ 3.4 มาใช้ในการประกอบสูตรอาหารผสมครบส่วน (total mixed ration, TMR) กำหนดให้โปรตีน (CP) และพลังงาน (TDN) เป็นปัจจัยที่

ทำการศึกษา โดยผันแปรระดับพลังงานและระดับโปรตีนต่างกัน 2 ระดับคือเท่ากับ 1.0 และ 1.2 เท่า ของความต้องการตามคำแนะนำของ NRC (1988) ทำการทดลองในแม่โคที่ให้นมวันละประมาณ 10-15 กก. โดยมีวัตถุประสงค์เฉพาะคือ

(1) เพื่อทราบการตอบสนองการให้ผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบทางเคมีในน้ำนม ของแม่โคที่ได้รับอาหาร TMR ซึ่งมีหญ้าหมักจากหญ้าพาสปาลัมอูบลเป็นอาหารหลัก

(2) เพื่อประเมินความต้องการพลังงาน และโปรตีน ของแม่โคนมที่ให้นมระดับ ปานกลางของประเทศไทย

(3) เพื่อศึกษาปฏิสัมพันธ์ (interaction) ระหว่างระดับของพลังงานและโปรตีนต่อผล ผลิตน้ำนม และองค์ประกอบทางเคมีในน้ำนม

แผนการทดลองและเก็บข้อมูลต่างๆ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

สิ่งทดลอง (Treatment)

จัดสิ่งทดลองแบบ Factorial โดยมีปัจจัยที่ทำการศึกษาคือ พลังงาน (energy, E) ในรูปของพลังงานที่ย่อยได้ทั้งหมด (total digestible nutrient, TDN) และโปรตีน (protein, P) ในรูปของโปรตีนหยาบ (crude protein, CP) แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับคือ 1.0 และ 1.2 ซึ่งหมายถึง ระดับพลังงานและโปรตีนที่ให้เท่ากับ 100 และ 120 เปอร์เซ็นต์ของความ ต้องการ ตามคำแนะนำของ NRC (1988) ดังนั้นสิ่งทดลองประกอบด้วย 4 ทรีทเมนต์ โดยมีระดับพลังงานต่อโปรตีน (E:P) T1 = 1.0:1.0, T2 = 1.0:1.2, T3 = 1.2:1.0 และ T4 = 1.2:1.2 ในทรีทเมนต์ที่ 1 ถึง 4 ตามลำดับ

อาหารและการให้อาหารทดลอง

- วิธีการให้อาหาร จะให้ผสมกันทั้งอาหารหยาบ อาหารข้น และวิตามิน-แร่ธาตุ ผสมด้วยมือโดยคลุกเคล้าให้เข้ากันดี แล้วนำไปให้โคกินพร้อมกันไปในรูปแบบที่เรียกว่าอาหารผสม ครบส่วน (total mixed ration, TMR) แบ่งให้วันละ 2 มื้อเท่าๆ กัน โดยมีมือเช้าและเย็นในเวลา 08.00 น. และ 16.00 น. โดยขังโคทดลองไว้ในคอกผูกขึ้นโรง มีรางน้ำและรางอาหารให้กินเฉพาะตัว

- การคำนวณสูตรอาหาร ทำการปรับอาหารให้เป็นรายตัวสัปดาห์ละ 1 ครั้ง ซึ่ง คำนวณให้ตามการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว ปริมาณน้ำนม และเปอร์เซ็นต์ไขมันนม ทั้งนี้คำนวณให้ โคมีการเพิ่มน้ำหนักตัวในอัตรา 0.25 กก.ต่อวัน โดยใช้ข้อมูลจากค่าเฉลี่ยของสัปดาห์ที่ผ่านมา การ คำนวณใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป X-RATION ที่พัฒนาโดย Promma (1999)

- อาหารหยาบ ใช้หญ้าหมักที่ทำจากหญ้าพาสปาลัมอูบล ดังที่ได้อธิบายมาแล้วข้าง ดัน อาหารข้น ใช้ข้าวโพดเป็นแหล่งอาหารพลังงาน กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีน และเสริมแร่ ธาตุและวิตามินสำเร็จรูป (premixes) ที่มีขายในท้องตลาด

สัตว์ทดลองและแผนการทดลอง

- ใช้โคนมพันธุ์ลูกผสมขาว-ดำ (Holstein Friesian) จำนวน 16 ตัว มีระดับเลือดพันธุ์ขาวดำประมาณ 75-87.5 เปอร์เซนต์ อายุเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3-5 ปี น้ำหนักตัวเฉลี่ย 410 กก. เคยให้นมมาแล้ว (lactation number) 1-3 ครั้ง จำนวนวันหลังคลอดลูกเฉลี่ย 82 วัน ซึ่งผ่านระยะการให้นมสูงสุด (peak of lactation) มาแล้ว โคเหล่านี้ให้ผลผลิตน้ำนมอยู่ในช่วงประมาณ 10-15 กก.ต่อวัน

- สุ่มโคเข้าทดลองตามแผนการทดลองแบบ Randomized complete block design (RCBD) โดยแบ่งโคออกเป็น 4 กลุ่มๆ ละ 4 ตัว (replications) ตามปริมาณการให้นม, ขนาดหรือน้ำหนักตัว และครั้งที่ของการให้นม สุ่มโคในกลุ่มแต่ละตัวให้ได้รับอาหารทดลอง 1 ใน 4 สูตรข้างต้น ทำการทดลองทั้งหมด 2 ครั้ง แต่ละช่วงใช้เวลา 5 สัปดาห์ เมื่อสิ้นสุดการทดลองครั้งแรก ทำการสุ่มสัตว์เข้าทดลองซ้ำอีกครั้งหนึ่ง ดังรายละเอียดวิธีทดลองและเก็บข้อมูล ดังนี้

สัปดาห์ที่ 1 เป็นระยะปรับตัว (preliminary period) นำโคเข้าผูกขึ้นโรงให้อาหารเป็นรายตัว (individual feeding pen) ให้โคทุกตัวกินอาหารสูตรควบคุม (T1, E:P = 1.0:1.0) บันทึกปริมาณน้ำนม เก็บตัวอย่างนม 2 วันนำไปวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับคำนวณอาหารในสัปดาห์ต่อไป

สัปดาห์ที่ 2-5 ของการทดลอง เป็นระยะเก็บข้อมูล (collection period) เปลี่ยนอาหารเป็นสูตรอาหารทดลอง ทำการเก็บตัวอย่างและบันทึกข้อมูลดังนี้

- บันทึกปริมาณอาหารที่ให้ และที่เหลือ และคำนวณเป็นปริมาณอาหารที่กินทุกวัน ในรูปของน้ำหนักแห้ง
- บันทึกปริมาณน้ำนมเข้า-เย็น ทุกครั้งหลังการรีดนม
- สุ่มเก็บตัวอย่างน้ำนมเข้า-เย็น สัปดาห์ละ 2 วันตลอดช่วงการทดลอง
- ชั่งน้ำหนักโคสัปดาห์ละ 4 ครั้ง (2 วัน ในเวลาเช้าและเย็น หลังการรีดนมทุกวัน จันทร์ และวันพฤหัสบดี)

สัปดาห์ที่ 6 เป็นช่วงพักการทดลองและปรับอาหาร ให้โคทุกตัวกินอาหารสูตรควบคุม (T1) ก่อนทำการสุ่มโคชุดใหม่ (คัดโคนมชุดเดิมที่ให้นมต่ำกว่าวันละ 10 กก. ออก) และคัดโคที่ให้นม 10-15 กก./วัน มาทดแทนเพื่อเข้างานทดลองครั้งที่ 2 ต่อไป ซึ่งมีอาหารทดลองเช่นเดียวกับงานทดลองครั้งแรก และดำเนินการทดลองในลักษณะเดียวกันกับสัปดาห์ที่ 2-5 ดังกล่าวข้างต้น

การวิเคราะห์ตัวอย่าง

- ตัวอย่างน้ำนมวิเคราะห์หาค่า fat, protein, lactose และ solid not fat (SNF) โดยเครื่อง Near Infra-Red (NIR, Milkoscan 50A)
- ตัวอย่างอาหารและมูลวิเคราะห์หาค่า dry matter (DM), ash, organic matter (OM), crude protein (CP), crude fiber (CF), ether extract (EE) และ nitrogen free extract (NFE) โดยวิธี

proximate analysis และวิเคราะห์หาเชื้อใย neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), acid detergent lignin (ADL) และ acid detergent insoluble nitrogen (ADIN) โดยวิธี detergent analysis

3.5.2 การศึกษาอิทธิพลของการลดระดับพลังงานในอาหาร

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์จำเพาะเพื่อ ศึกษาผลของการลดระดับพลังงานในอาหารต่อการตอบสนองของแม่โคนมที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมครบส่วน (TMR) ซึ่งได้รับหญ้าหมักจากหญ้าพาสพาลัมอุบลเป็นอาหารหลัก

การทดลองครั้งนี้ได้ทดลองให้โคนมกลุ่มหนึ่ง กินอาหารที่ลดระดับพลังงานลงเหลือ 90 เปอร์เซ็นต์ ส่วนระดับโปรตีนเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ (E:P = 0.9:1.0) จากระดับที่แนะนำโดย NRC (1988) เปรียบเทียบกับโคอีกกลุ่มหนึ่งที่ได้รับทั้งพลังงานและโปรตีนที่ระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ (E:P, 1.0:1.0) โดยมีรายละเอียดของการทดลองดังนี้

สัตว์ทดลอง

ใช้โคนมพันธุ์ลูกผสมขาว-ดำ (Holstein Friesian) จำนวน 12 ตัว ซึ่งเป็นโคชุดเดียวกันกับที่ใช้ในงานทดลองที่ 3.5.1 ที่สิ้นสุดงานทดลองในครั้งที่ 2 ทำการสุ่มโคเข้าทดลองตามแผนการทดลองแบบ Randomized complete block design (RCBD) โดยแบ่งโคออกเป็น 6 กลุ่ม (replications) กลุ่มๆ ละ 2 ตัว ตามปริมาณการให้นม, ขนาดหรือน้ำหนักตัว และครั้งที่ของการให้นม สุ่มโคในกลุ่มแต่ละตัวให้ได้รับอาหารทดลอง 1 ใน 2 สูตร (treatment) ข้างต้น รายละเอียดวิธีทดลองและเก็บข้อมูล ทำเช่นเดียวกับงานทดลองที่ 3.5.1

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

งานทดลองที่ 3.5.1 วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) ของสิ่งทดลอง ในแต่ละครั้งแยกกันระหว่างการทดลองครั้งที่ 1 และ 2 โดยทำการทดสอบอิทธิพลของพลังงาน (E) อิทธิพลของโปรตีน (P) และปฏิสัมพันธ์ (interaction) ระหว่างพลังงานและโปรตีน (E*P) และความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของทั้ง 4 ทรีทเมนต์ ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์สถิติสำเร็จรูป (SAS, 1985) งานทดลองที่ 3.5.2 วิเคราะห์ความแปรปรวนของสิ่งทดลอง (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ 2 ทรีทเมนต์ ด้วยค่า F-test โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์สถิติสำเร็จรูป (SAS, 1985)

บทที่ 4

ผลการศึกษาคคุณค่าทางอาหารของหญ้าแห้ง

4.1 ส่วนประกอบทางเคมีของหญ้าแห้ง

จากการนำหญ้าจาร์ราดิจิต หญ้ากินนีสีม่วง หญ้ารูซี่ และหญ้าพาสพาลัมอุบล ซึ่งตัดทำเป็นหญ้าแห้งเมื่ออายุ 30, 45 และ 60 วัน ไปวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี โดยการวิเคราะห์แบบประมาณ (proximate analysis) วิเคราะห์ส่วนประกอบของเยื่อใยโดยใช้สารฟอก (detergent analysis) และวิเคราะห์พลังงานทั้งหมดในอาหาร (gross energy) ด้วยเครื่อง Adiabatic bomb calorimeter ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1 โดยมีรายละเอียดต่อไปนี้

อินทรีย์วัตถุ (OM) พบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) ในหญ้าแต่ละชนิดรวมทั้งอายุการตัด และไม่พบปฏิสัมพันธ์ ($P>0.05$) ระหว่างชนิดของหญ้าและอายุการตัด

โปรตีนหยาบ (CP) พบว่า หญ้าจาร์ราดิจิตและหญ้ารูซี่มีโปรตีนสูงกว่า ($P<0.05$) หญ้ากินนีสีม่วงและหญ้าพาสพาลัมอุบล นอกจากนั้นยังพบว่าปฏิสัมพันธ์ ($P<0.01$) ระหว่างชนิดของหญ้าและอายุการตัดคือ หญ้าจาร์ราดิจิตและหญ้ารูซี่ซึ่งเป็นหญ้าที่มีโปรตีนสูง จะมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนลดลงมากเมื่อเพิ่มอายุการตัดจาก 30 ไปเป็น 45 วัน แต่จากช่วงอายุ 45 ไปเป็น 60 วัน โปรตีนลดลงไม่มากนัก

ไขมัน (EE) พบว่า หญ้าแต่ละชนิดมีปริมาณไขมันที่แตกต่างกัน ($P<0.05$) โดยหญ้าจาร์ราดิจิตมีปริมาณไขมันสูงที่สุด ส่วนหญ้าพาสพาลัมอุบลมีปริมาณไขมันต่ำที่สุด เมื่อพิจารณาจากอายุการตัดพบว่า การตัดที่อายุ 30 วัน หญ้าจะมีปริมาณไขมันสูงกว่า ($P<0.05$) หญ้าที่ตัดเมื่ออายุ 45 และ 60 วัน และยังพบว่าปฏิสัมพันธ์ ($P<0.01$) ระหว่างชนิดของหญ้าและอายุการตัดคือ ในหญ้าส่วนใหญ่พบว่า ปริมาณไขมันมีแนวโน้มลดลงตามอายุการตัดที่เพิ่มขึ้น แต่สำหรับหญ้าจาร์ราดิจิตกลับมีปริมาณไขมันเพิ่มขึ้น

ไนโตรเจนฟรีเอ็กซ์แทร็ก (NFE) พบว่า หญ้าพาสพาลัมอุบลมี NFE สูงกว่าหญ้าชนิดอื่น ($P<0.05$) รองลงมาได้แก่ หญ้าจาร์ราดิจิต และหญ้ารูซี่ ส่วนหญ้ากินนีสีม่วงมี NFE ต่ำที่สุด ($P<0.05$) เมื่อพิจารณาจากอายุการตัดพบว่า ปริมาณ NFE จะเพิ่มขึ้น ($P<0.05$) ตามอายุการตัดของหญ้า และยังพบว่าปฏิสัมพันธ์ ($P<0.05$) ระหว่างชนิดของหญ้าและอายุการตัดคือ ปริมาณ NFE ในหญ้ากินนีสีม่วงไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงตามอายุที่เพิ่มขึ้นเหมือนเช่นในหญ้าชนิดอื่น

เยื่อใย CF พบว่า หญ้ากินนีสีม่วงมีปริมาณเยื่อใย CF สูงกว่า ($P<0.05$) หญ้าชนิดอื่น ส่วนหญ้าจาร์ราดิจิตและหญ้ารูซี่มีปริมาณเยื่อใย CF ต่ำที่สุดและไม่แตกต่างกัน เยื่อใย CF มีปริมาณต่ำที่

สุดในหญ้าที่ตัดเมื่ออายุ 30 วัน และมีค่าสูงขึ้น ($P < 0.05$) ตามอายุการตัดที่เพิ่มขึ้น และพบว่ามีปฏิสัมพันธ์ ($P < 0.01$) ระหว่างชนิดของหญ้าและอายุการตัดในลักษณะที่ การเพิ่มอายุการตัดจาก 30 วัน เป็น 45 วันมีปริมาณเชื้อใย CF เพิ่มขึ้นมาก แต่จากอายุ 45 วันเป็น 60 วันเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ในขณะที่หญ้าพาสปาลัมอุบลจะต่างจากหญ้าชนิดอื่นคือ ระดับของเชื้อใยไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงตามอายุที่เพิ่มขึ้น

เชื้อใย NDF พบว่า หญ้ารูซี่มีเชื้อใย NDF สูงกว่า ($P < 0.05$) หญ้าอีก 3 ชนิดที่เหลือ และหญ้าที่ตัดเมื่ออายุ 45 และ 60 วันมีเชื้อใย NDF สูงกว่า ($P < 0.05$) หญ้าที่ตัดเมื่ออายุ 30 วัน แต่ไม่พบปฏิสัมพันธ์ ($P > 0.05$) ระหว่างชนิดของหญ้าและอายุการตัด

เชื้อใย ADF พบว่า หญ้ากินนีสีม่วงมีเชื้อใย ADF สูงกว่า ($P < 0.05$) หญ้าชนิดอื่น และหญ้าที่ตัดเมื่ออายุ 45 และ 60 วันมีเชื้อใย ADF สูงกว่า ($P < 0.05$) หญ้าที่ตัดเมื่ออายุ 30 วัน ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับเชื้อใย NDF แต่อย่างไรก็ตามพบว่ามีปฏิสัมพันธ์ ($P < 0.01$) ระหว่างชนิดของหญ้าและอายุการตัด โดยมีลักษณะคล้ายกับที่พบในเชื้อใย CF คือ การเพิ่มอายุการตัดจาก 30 วันเป็น 45 วันมีปริมาณเชื้อใย ADF เพิ่มขึ้นมาก แต่จากอายุ 45 วันเป็น 60 วันเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย และหญ้าพาสปาลัมอุบลจะต่างจากหญ้าชนิดอื่นคือ ระดับของเชื้อใย ADF ไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงตามอายุที่เพิ่มขึ้น

พลังงานทั้งหมด (GE) ไม่มีความแตกต่างกันในหญ้าแต่ละชนิดรวมทั้งอายุการตัด ($P > 0.05$) และไม่พบปฏิสัมพันธ์ ($P > 0.05$) ระหว่างชนิดของหญ้าและอายุการตัด ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับปริมาณของอินทรีย์วัตถุ

ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี (ตารางที่ 4.1) ในส่วนของโภชนาที่สำคัญจะเห็นได้ว่า หญ้าทุกชนิดมีปริมาณโปรตีนหยาบ (CP) สูงที่สุดเมื่อตัดที่อายุ 30 วัน จากนั้นโปรตีนจะลดลงตามอายุที่เพิ่มขึ้น โดยหญ้าที่ตัดเมื่ออายุ 60 วัน จะมีโปรตีนเพียงประมาณ 52 เปอร์เซ็นต์ของหญ้าที่ตัดเมื่ออายุ 30 วัน ซึ่งสอดคล้องกับ Hare *et al.* (2001) ที่รายงานว่าการเพิ่มอายุการตัดของหญ้าพาสปาลัมอุบลทำให้ความเข้มข้นของ CP ในพืชลดลง แต่กลับทำให้เชื้อใย NDF และ ADF เพิ่มขึ้น การตัดหญ้าทุก 20 วันตลอดระยะเวลา 240 วัน ได้ผลผลิตน้ำหนักรวมแห้งคิดเป็น 74 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับการตัดทุก 60 วัน (3.5 และ 4.6 ตัน/ไร่) แต่การตัดทุก 20 วันจะมีความเข้มข้นของ CP มากกว่าเกือบ 2 เท่า คือ 10.0 และ 5.3 เปอร์เซ็นต์

ผลการทดลองครั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับงานทดลองของ Martens (2001) ที่ใช้หญ้าทดลองชนิดเดียวกัน และทดลองที่มหาวิทยาลัยอุบลฯ เช่นเดียวกัน พบว่า โปรตีนจะสูงในหญ้าที่ตัดเมื่ออายุ 20 วัน และหลังจากอายุ 40 วันไปแล้วโปรตีนจะลดลงต่ำกว่า 7 เปอร์เซ็นต์ (ตารางผนวกที่ 1) อย่างไรก็ตามมีข้อที่แตกต่างก็คือ งานของ Martens ทดลองในช่วงฤดูฝน (พ.ค.-ส.ค.) แปลงทดลองอยู่ในพื้นที่ค่อนข้างลุ่ม และใส่ปุ๋ย 15-15-15 (N-P-K) อัตรา 300 กก./เฮกตาร์ (48 กก./ไร่) โดยใส่เพียงครั้งเดียว ส่วนงานทดลองนี้ตัดหญ้าทำหญ้าแห้งหลังสิ้นสุดฤดูฝน (ต.ค.-ธ.ค.) แปลงทดลองอยู่ในพื้นที่

ที่ค่อน และใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กก./ไร่ ทุก 30 วัน การเพิ่มความถี่ในการใส่ปุ๋ยจะช่วยให้สามารถรักษาระดับโปรตีนที่ 7 เปอร์เซ็นต์ ในหญ้าอายุ 45 วันไว้ได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Hare *et al.* (1999) ที่พบว่า หญ้าที่อยู่ในแปลงที่ค่อนจะมีโปรตีนสูงกว่าแปลงในที่ลุ่ม และการใส่ปุ๋ยครั้งเดียวอาจทำให้ฝนชะล้างปุ๋ยได้ง่าย ซึ่งหญ้าที่อายุตั้งแต่ 30 วัน ขึ้นไปอาจได้รับปุ๋ยไม่เพียงพอ นอกจากนั้นระยะการเจริญเติบโต (stage of growth) ของหญ้าก็แตกต่างกันตามฤดูกาล จึงทำให้ส่วนประกอบทางเคมีในหญ้าแตกต่างกันไปด้วย

จากงานทดลองของ Hare *et al.* (1999) ที่เปรียบเทียบอัตราปุ๋ยในโตรเจนในหญ้าพาสปาลัมอุบล พบว่า การใส่ปุ๋ยที่อัตรา 3.2 กก./ไร่ ทุก 30 วัน สามารถเพิ่มผลผลิตน้ำหนักรากของหญ้าได้ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการใส่ปุ๋ยในอัตราสูงที่ 6.4 และ 12.8 กก./ไร่ สามารถเพิ่มผลผลิตน้ำหนักรากของหญ้าได้เช่นกัน แต่อัตราการตอบสนองต่อปุ๋ยของหญ้าจะลดลง และยังพบว่าการตอบสนองต่อปุ๋ยที่มีธาตุหลักครบคือ N-P-K จะดีกว่าปุ๋ยยูเรียที่มีเฉพาะไนโตรเจนอย่างเดียว อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยที่อัตรา 12.8 กก./ไร่ (หรือเทียบได้กับปุ๋ยยูเรีย 27.8 กก./ไร่) จะช่วยรักษาระดับโปรตีนในหญ้าให้สูงกว่า 7 เปอร์เซ็นต์ เฉพาะในแปลงที่ไม่มีน้ำขังหญ้ามีโปรตีน 8-12 เปอร์เซ็นต์ แต่สำหรับแปลงที่มีน้ำขังหญ้ามีโปรตีนเพียง 4-6 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้นยังพบว่า การตัดหญ้าที่อายุ 60 วันแม้จะให้ผลผลิตน้ำหนักรากสูงกว่าการตัดที่ 30 วัน แต่โปรตีนในหญ้าจะลดลงมาก ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Kalmbacher *et al.* (1997) ที่พบว่าหญ้า *P. atratum* cv. Suerte โปรตีนจะลดลงต่ำกว่า 7 เปอร์เซ็นต์ ถ้าตัดหลังอายุ 55 วัน (ใส่ปุ๋ย 9 กก./ไร่ในโตรเจน/ไร่) แต่จะรักษาระดับโปรตีนมากกว่า 7 เปอร์เซ็นต์ ไว้ได้หากตัดทุก 35 วัน และพบว่าการตัดทุก 20 วันจะได้ผลผลิตน้ำหนักรากตลอดทั้งปีต่ำกว่าการตัดทุก 40 และ 60 วัน แต่จะได้คุณค่าทางอาหารสูงที่สุด และแนะนำว่า ในฤดูที่หญ้าเจริญเติบโตเร็วควรตัดทุก 21-28 วัน สำหรับในฤดูที่หญ้าเจริญเติบโตช้าควรตัดทุก 36-42 วัน

ในหญ้าจาร์ราดิก็ที่มีผลคล้ายกับหญ้าพาสปาลัมอุบล Hare *et al.* (2004) รายงานว่า การเพิ่มระยะเวลาในการใส่ปุ๋ยจากทุก 30 วัน เป็นทุก 60 วัน จะลดความเข้มข้นของโปรตีนทั้งในใบและลำต้นลงถึง 40 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การเพิ่มอัตราปุ๋ยไนโตรเจนจาก 20 เป็น 40 กก./เฮกเตอร์ ทำให้ความเข้มข้นของโปรตีนทั้งในใบและลำต้นสูงขึ้นประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ จึงแนะนำว่าอายุการตัดที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 30-40 วัน ซึ่งจะได้ผลผลิตน้ำหนักรากของส่วนใบสูง ถือว่าเป็นพืชอาหารสัตว์คุณภาพดี สำหรับการตัดทุก 20 วัน ผลผลิตของหญ้าจะลดลงมาก ในขณะที่การตัดทุก 60 วัน แม้จะได้ผลผลิตของหญ้ามามาก แต่จะมีส่วนของลำต้นมาก มีเยื่อใยสูง และจัดว่าเป็นอาหารสัตว์คุณภาพต่ำ Hare *et al.* (2003) สรุปว่า อายุการตัดมีผลต่อผลผลิตน้ำหนักรากในส่วนใบของหญ้าจาร์ราดิจิพเพียงเล็กน้อย แต่การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนมีผลต่อผลผลิตน้ำหนักรากในส่วนใบอย่างมีนัยสำคัญ การตัดทุก 20 วัน ตลอดระยะเวลา 240 วัน จะได้ผลผลิตน้ำหนักรากรวมคิดเป็น 70 เปอร์เซ็นต์ แต่จะได้โปรตีนสูงกว่า 30-50 เปอร์เซ็นต์ และเยื่อใย NDF และ ADF ต่ำกว่า 7-10 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับการตัดทุก 60 วัน ด้วยเหตุที่โปรตีนจะลดลงเมื่ออายุพืชมากขึ้น และโปรตีนประมาณ 2 ใน 3 จะอยู่ใน

ใบพืช และการตัดหญ้าทำหญ้าแห้งในพืชที่แก่จะมีการร่วงหล่นของใบได้ง่าย ทำให้สัดส่วนของใบต่อลำต้น (leaf : stem ratio) ลดลง ซึ่งในส่วนของลำต้นจะมีเยื่อใยสูงและย่อยได้ยากกว่าส่วนของใบ (Harris, 2001)

สำหรับเยื่อใยทั้งที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธีประมาณ (CF) และจากวิธีวิเคราะห์โดยใช้สารฟอก (NDF และ ADF) ในงานทดลองนี้พบว่า จะมีลักษณะตรงข้ามกับปริมาณโปรตีนกล่าวคือ พืชจะมีการสะสมเยื่อใยมากขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอายุการตัด โดยเฉพาะจากช่วงอายุ 30 ไป 45 วันและปริมาณเยื่อใยช่วงอายุจาก 45 ไปเป็น 60 วันไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก และเป็นที่น่าสังเกตว่าหญ้าพาสพาล์มอบลไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงระดับของเยื่อใยตามอายุที่เพิ่มมากขึ้นเหมือนเช่นที่พบในหญ้าชนิดอื่น เช่นเดียวกับที่พบในงานของ Martens (2001) ที่พบว่าระดับเยื่อใยของหญ้าพาสพาล์มอบลไม่มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงอายุการตัด 26-98 วัน (ตารางผนวกที่ 1) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากหญ้าชนิดนี้มีสัดส่วนของใบต่อลำต้น (leaf : stem ratio) สูงกว่าหญ้าชนิดอื่น และสัดส่วนของใบไม่ลดลงมากเมื่ออายุเพิ่มขึ้น (Hare *et al.* 2001)

ระยะการเจริญเติบโต (stage of growth) ของพืช เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลมากต่อคุณค่าทางโภชนาการ เมื่อพืชมีอายุมากขึ้นจะมีการสร้างเนื้อเยื่อที่เป็นโครงสร้าง (structural tissue) เพิ่มขึ้น ส่วนประกอบของผนังเซลล์ (cell wall) ส่วนใหญ่จะเป็นคาร์โบไฮเดรตพวกที่เป็นโครงสร้าง (structural carbohydrate) ซึ่งประกอบด้วย cellulose, hemicellulose และ lignin ทำให้ระดับเยื่อใย (CF) ของพืชอายุน้อยเพิ่มจาก 20 เป็น 40 เปอร์เซ็นต์ในพืชที่แก่ ในขณะที่เดียวกันสัดส่วนของโปรตีนจะลดลง (Wilkins, 2000)

สำหรับหญ้ารูซี่ บุญล้อมและคณะ (2541) รายงานว่าหญ้ารูซี่ (ไม่ระบุอายุตัด) มี OM, CP, EE, และ NDF เท่ากับ 92.8, 5.2, 3.3, และ 69.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งความแตกต่างนี้อาจเกิดขึ้นเนื่องจากสภาพดินหรือปริมาณการใส่ปุ๋ย ตลอดจนอายุการตัดที่แตกต่างกัน ในขณะที่ค่าที่ได้จากการทดลองนี้ใกล้เคียงกับของพิมพาพรและคณะ (2543) ที่รายงานไว้ว่า ส่วนประกอบของหญ้ารูซี่ ที่ตัดเมื่ออายุ 45 วัน มี CP, EE, Ash, CF และ NDF เท่ากับ 9.97, 1.51, 8.80, 30.14 และ 61.03 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ส่วนประกอบทางเคมีของหญ้าในงานทดลองนี้ โดยส่วนใหญ่จะมีค่าอยู่ในช่วง (range) เดียวกันกับรายงานของ Martens (2001) ที่รวบรวมข้อมูลจากแหล่งต่างๆ ในเขตร้อนทั่วโลก (ตารางผนวกที่ 2) อย่างไรก็ตาม หญ้าพาสพาล์มอบลเป็นพืชอาหารสัตว์ที่ค่อนข้างใหม่ หรือมีการนำมาเลี้ยงสัตว์ในเวลาไม่นานนักจึงมีข้อมูลน้อยกว่าหญ้าชนิดอื่น โดยเฉพาะข้อมูลด้านคุณค่าทางอาหาร

คุณภาพของหญ้านอกจากจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเฉพาะของหญ้าแต่ละชนิดแล้วยังพบว่า ฤดูกาลก็เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพหญ้าเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากหญ้าชนิดต่างๆ จะมีฤดูกาลเจริญเติบโต การออกดอก และติดเมล็ดที่ต่างกัน เช่นหญ้ารูซี่ และหญ้างินนิสีมวง จะเริ่มออกดอกและติดเมล็ดในช่วงเดือน ต.ค.-พ.ย. (เป็นช่วงที่ตัดทำหญ้าแห้งในงานทดลองนี้) จากการสังเกตจะพบ

ว่าหญ้าเหล่านี้ที่อายุ 45 และ 60 วัน มีสัดส่วนของลำต้นมากมีใบน้อย ซึ่งตรงข้ามกับหญ้าจาร์ราดิจิตที่ออกดอกตลอดช่วงฤดูฝน (พ.ค.- ก.ย.) และหญ้าพาสพาล์มอุบลจะออกดอกปีละครั้ง โดยเริ่มออกช่อดอกในเดือน ส.ค. และเมล็ดแก่ในเดือน ก.ย.- ต.ค. ดังนั้นหญ้า 2 ชนิดหลังนี้ผ่านการออกดอกมาแล้ว เมื่อตัดทำหญ้าแห้งในช่วงเดือน ต.ค.- พ.ย. จะได้หญ้าที่สัดส่วนของใบมากกว่าลำต้น Holm (1971, Quoted in Martens, 2001) รายงานว่า คุณภาพของหญ้าแห้งที่ทำจากหญ้างินนิสีม่วง จะมีคุณภาพลดลงตามอายุพืชที่เพิ่มขึ้น และหญ้าในฤดูแล้งจะมีคุณภาพดีกว่าหญ้าในฤดูฝน (ตารางผนวกที่ 3) สำหรับส่วนประกอบทางเคมีของหญ้าอายุ 6 และ 8 สัปดาห์ มีความใกล้เคียงกับหญ้างินนิสีม่วงอายุ 30 และ 45 วัน ของงานทดลองนี้

Table 4.1 Chemical composition (% DM) of different grass hay species at different cutting age

Grass species	OM				CP				EE				CF			
Cutting Age, (day)	30	45	60	Av.	30	45	60	Av.	30	45	60	Av.	30	45	60	Av.
Jarra digit	90.27	91.34	92.07	91.23 a	15.23	9.77	8.38	11.13 a	2.09	2.02	2.13	2.08 a	24.71	29.64	29.55	27.97b c
Purple guinea	91.01	91.43	92.22	91.55 a	12.76	7.64	5.24	8.55 b	1.54	1.42	1.37	1.44 b	28.93	34.61	36.92	33.49 a
Ruzi	86.90	90.14	92.42	89.82 a	15.13	9.41	7.93	10.82 a	1.35	1.18	1.19	1.24 c	24.79	28.30	28.57	27.22 c
Ubon paspalum	90.71	89.95	92.21	90.96 a	10.91	7.24	6.93	8.36 b	0.78	0.80	0.67	0.75 d	28.44	28.02	29.28	28.58 b
<i>Average</i>	89.72 a	90.72 a	92.23 a	<i>ns</i> ^{1/}	13.51 a	8.52 b	7.12 c	**	1.44 a	1.36 b	1.34 b	**	26.72 c	30.14 b	31.08 a	**
	NFE				NDF				ADF				GE ^{2/}			
Cutting Age, (day)	30	45	60	Av.	30	45	60	Av.	30	45	60	Av.	30	45	60	Av.
Jarra digit	48.24	49.91	52.01	50.05 b	66.77	69.33	68.71	68.27 b	37.03	41.49	41.89	40.14 b	4.133	4.150	4.150	4.144 a
Purple guinea	47.78	47.76	48.69	48.08 c	61.57	69.41	70.78	67.25 b	39.35	45.67	47.64	44.22 a	4.191	4.175	4.107	4.158 a
Ruzi	45.63	51.25	54.73	50.54 b	66.68	73.36	73.59	71.21 a	38.45	41.67	41.19	40.44 b	4.055	4.018	4.170	4.081 a
Ubon paspalum	50.58	53.89	55.33	53.27 a	64.89	65.56	68.77	66.41 b	41.45	40.30	41.47	41.07 b	4.158	3.953	4.100	4.070 a
<i>Average</i>	48.06 c	50.70 b	52.69 a	*	64.98 b	69.42 a	70.46 a	ns	39.07 b	42.28 a	43.05 a	**	4.134 a	4.074 a	4.132 a	ns

In a column, means of grass species and in a row, means of cutting day followed by common letter are not significantly different (P>0.05)

^{1/} Interaction between grass species and age of cutting: ns = non significantly different; * = P<0.05, ** P<0.01

^{2/} Mcal GE/kg DM

4.2 ปริมาณการกินได้และการย่อยได้ของหญ้าแห้ง

จากการนำหญ้าแห้งทั้ง 4 ชนิดข้างต้นไปทดสอบหาการกินได้ของวัตถุแห้ง (dry matter intake, DMI) และการย่อยได้ของโภชนะต่างๆ (nutrient digestibility) ซึ่งทำการทดลองในโคนมรุ่นเพศเมีย โดยวิธีเก็บตัวอย่างทั้งหมด (total collection) ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.2-4.5 โดยมีรายละเอียดผลการทดลองของหญ้าแต่ละชนิดดังต่อไปนี้

4.2.1 หญ้าจาร์ราดิจิต

จาร์ราดิจิตเป็นหญ้าเพียงชนิดเดียวที่ไม่มีการเสริมกากถั่วเหลืองเลยในทุกอายุการตัด เนื่องจากมีโปรตีนสูงกว่าหญ้าชนิดอื่น จากผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 4.2 พบว่า โคกลุ่มที่กินหญ้าแห้งที่ตัดเมื่ออายุ 30 วัน มีปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง (dry matter intake, DMI) ทั้งในรูปของ กิโลกรัมของน้ำหนักแห้งต่อวัน (kg/d) หรือเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว (%BW) และกรัมต่อ 1 กิโลกรัมของน้ำหนักตัวที่คิดในรูป metabolic weight ($\text{g/BW}^{0.75}$) สูงกว่า ($P < 0.05$) โคกลุ่มที่กินหญ้าแห้งที่ตัดเมื่ออายุ 45 และ 60 วัน แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อคำนวณเป็นปริมาณการกินวัตถุแห้งส่วนที่ย่อยได้ (digestible dry matter intake, DDMI) และอินทรีย์วัตถุส่วนที่ย่อยได้ (digestible organic matter intake, DOMI) พบว่า โคกลุ่มที่กินหญ้าแห้งอายุ 30 วันไม่มีความแตกต่างกับโคกลุ่มที่กินหญ้าแห้งอายุ 45 วัน แต่ยังคงสูงกว่าโคกลุ่มที่กินหญ้าแห้งอายุ 60 วัน

การย่อยได้ของโภชนะต่างๆ ในหญ้าจาร์ราดิจิต พบว่า การย่อยได้ของโปรตีน (digestibility of CP, DCP) จะลดลงตามอายุของพืชที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.2) ในขณะที่การย่อยได้ของวัตถุแห้ง (dry matter digestibility, DMD), อินทรีย์วัตถุ (organic matter digestibility, OMD) เยื่อใย (digestibility of CF, DCF) และ NFE (digestibility of NFE, DNFE) ของโคกลุ่มที่กินหญ้าแห้งอายุ 30 และ 45 วันมีค่าสูงกว่าโคกลุ่มที่กินหญ้าแห้งอายุ 60 วัน สำหรับการย่อยได้ของเยื่อใย NDF (digestibility of NDF, DNDF) พบว่า โคกลุ่มที่กินหญ้าแห้งอายุ 60 วันจะต่ำกว่าโคกลุ่มที่กินหญ้าแห้งอายุ 45 วัน แต่ไม่แตกต่างจากโคกลุ่มที่กินหญ้าแห้งอายุ 30 วัน ส่วนการย่อยได้ของเยื่อใย ADF (digestibility of ADF, DADF) และค่าพลังงาน TDN (total digestible nutrient) ของโคกลุ่มที่กินหญ้าแห้งอายุ 45 วันจะสูงกว่าโคกลุ่มที่กินหญ้าแห้งอายุ 60 วัน แต่ไม่แตกต่างจากโคกลุ่มที่กินหญ้าแห้งอายุ 30 วัน ในขณะที่ค่าพลังงานที่ย่อยได้ (digestible energy, DE) ของโคทุกกลุ่มไม่มีความแตกต่างกัน

4.2.2 หญ้ากินนีสีม่วง

งานทดลองนี้มีการเสริมกากถั่วเหลืองในโคกลุ่มที่กินหญ้าแห้งที่ตัดเมื่ออายุ 45 และ 60 วัน การเปรียบเทียบผลทางสถิติของปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งจะคิดเฉพาะส่วนของหญ้าแห้งเท่านั้น ผลการทดลองพบว่า โคกลุ่มที่กินหญ้าแห้งอายุ 30 วันมีปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งทั้งในรูป kg/d, %BW และ $\text{g/BW}^{0.75}$ สูงกว่า ($P < 0.05$) โคกลุ่มที่กินหญ้าแห้งอายุ 60 วัน แต่ไม่แตกต่างจากกลุ่มโคที่

กินหญ้าแห้งอายุ 45 วัน รวมทั้งปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งส่วนที่ย่อยได้ (DDMI) และอินทรีย์วัตถุส่วนที่ย่อยได้ (DOMI) ก็มีลักษณะเช่นเดียวกัน (ตารางที่ 4.3)

ค่าการย่อยได้ของโภชนะของหญ้ากินนี้สีม่วงในงานทดลองนี้ สำหรับหญ้าอายุ 45 และ 60 วันเป็นค่าการย่อยได้รวมของหญ้าและกากถั่วเหลือง ผลการทดลองพบว่า การเสริมกากถั่วเหลืองทำให้โคกลุ่มที่กินหญ้าแห้งอายุ 45 และ 60 วัน มีค่าการย่อยได้ของ DMD, OMD, DEE, DADF และ DE ใกล้เคียงกับโคกลุ่มที่กินหญ้าแห้งอายุ 30 วัน (ตารางที่ 4.3) ซึ่งไม่ได้เสริมกากถั่วเหลือง ($P>0.05$) สำหรับการย่อยได้ของโปรตีน (DCP) พบว่า โคกลุ่มที่กินหญ้าแห้งอายุ 60 วันมีค่า DCP สูงกว่าโคกลุ่มที่กินหญ้าแห้งอายุ 30 วัน แต่การเสริมกากถั่วเหลืองทำให้การย่อยได้ของเยื่อใย (DCF และ DNDF) ลดลง แม้ว่าค่าการย่อยได้ของพลังงาน (DE) จะไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) แต่พบว่าค่าพลังงาน TDN ของโคกลุ่มที่กินหญ้าแห้งอายุ 30 วันจะมีค่าสูงที่สุด แต่ทั้งนี้ไม่แตกต่างกับโคกลุ่มที่กินหญ้าแห้งอายุ 60 วัน การย่อยได้ของ DCP, DCF และ DNFE ในงานทดลองครั้งนี้มีค่าใกล้เคียงกับหญ้ากินนี้สีม่วงอายุ 6 สัปดาห์ ตามรายงานของ Holm (1971)

4.2.3 หญ้ารูชี

งานทดลองนี้มีเพียงหญ้าแห้งที่ตัดเมื่ออายุ 60 วัน เท่านั้นที่มีการเสริมกากถั่วเหลือง จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง (DMI) ทั้งในรูป kg/d, %BW และ g/BW^{0.75} และปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งส่วนที่ย่อยได้ (DDMI) รวมทั้งอินทรีย์วัตถุส่วนที่ย่อยได้ (DOMI) ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) ระหว่างโคกลุ่มที่กินหญ้าแห้งอายุ 30 และ 45 วันซึ่งไม่มีการเสริมกากถั่วเหลือง แต่การเสริมกากถั่วเหลืองในโคกลุ่มที่กินหญ้าแห้งอายุ 60 วัน ทำให้ปริมาณการกินได้อยู่ในระดับใกล้เคียง ($P>0.05$) กับโคกลุ่มที่ไม่เสริมกากถั่วเหลือง ดังแสดงในตารางที่ 4.4

การย่อยได้ของโภชนะต่างๆ พบว่า การเสริมกากถั่วเหลืองในโคกลุ่มที่กินหญ้าแห้งอายุ 60 วันมีการย่อยได้ของโภชนะเกือบทุกชนิดเพิ่มขึ้น (ยกเว้น DCF) มากกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริมกากถั่วเหลือง โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกับโคกลุ่มที่กินหญ้าแห้งอายุ 45 วัน (ตารางที่ 4.4) ดังนั้นจึงทำให้โคกลุ่มนี้ได้รับพลังงาน DE และ TDN สูงกว่ากลุ่มอื่น และในระหว่างกลุ่มที่ไม่ได้เสริมกากถั่วเหลืองพบว่า โคกลุ่มที่กินหญ้าแห้งอายุ 30 วันจะมีการย่อยได้ของ DCP, DEE, DCF และ DE สูงกว่าโคกลุ่มที่กินหญ้าแห้งอายุ 45 วัน ยกเว้น DNFE ที่โคกลุ่มที่กินหญ้าแห้งอายุ 45 วันมีค่าสูงกว่าโคกลุ่มที่กินหญ้าแห้งอายุ 30 วัน

4.2.4 หญ้าพาสพาลัมอุบล

การเสริมกากถั่วเหลืองในโคกลุ่มที่กินหญ้าแห้งอายุ 45 และ 60 วัน พบว่า มีผลทำให้ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง (DMI) ทั้งในรูป kg/d, %BW และ g/BW^{0.75} รวมทั้งปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งส่วนที่ย่อยได้ (DDMI) และอินทรีย์วัตถุส่วนที่ย่อยได้ (DOMI) ไม่แตกต่าง ($P>0.05$) กับโคกลุ่มที่กินหญ้าแห้งอายุ 30 วันซึ่งไม่ได้รับการเสริมกากถั่วเหลือง ดังผลแสดงในตารางที่ 4.5

การย่อยได้ของโภชนะส่วนต่างๆ พบว่า การเสริมกากถั่วเหลืองในโคกลุ่มที่กินหญ้าแห้งอายุ 45 และ 60 วัน จะมีค่าการย่อยได้ของ DMD, OMD, DADF และ DE ไม่แตกต่างจากโคกลุ่มที่กินหญ้าแห้งอายุ 30 วันที่ไม่ได้รับการเสริมกากถั่วเหลือง (ตารางที่ 4.5) แต่ DCP และ DNFE เพิ่มขึ้น ($P<0.05$) สูงกว่าโคกลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริมกากถั่วเหลือง ในขณะที่การย่อยได้ของเยื่อใย (DCF และ DNDF) พบว่าโคกลุ่มที่ได้รับการเสริมกากถั่วเหลืองจะมีค่าลดลง โดยเฉพาะโคกลุ่มที่กินหญ้าแห้งอายุ 45 วัน แต่อย่างไรก็ตามการเสริมกากถั่วเหลืองไม่มีผลต่อการย่อยได้ของเยื่อใย DADF และการย่อยได้ของพลังงาน (DE) ส่วนพลังงาน TDN พบว่า โคกลุ่มที่กินหญ้าแห้งอายุ 60 วันได้รับพลังงานสูงกว่ากลุ่มอื่น

Table 4.2 Voluntary feed intake and digestibility of Jarra digit grass hay at different cutting ages

Parameters	Age of cutting			% CV
	30 days	45 days	60 days	
Dry matter intake,	<i>±SD</i>	<i>±SD</i>	<i>±SD</i>	CV
kg/d	7.87 a 0.82	6.86 b 0.63	6.53 b 0.76	8.67
% BW	2.76 a 0.19	2.47 ab 0.30	2.32 b 0.32	9.20
g/BW ^{0.75}	113 a 5.80	101 b 11.00	95 b 10.83	6.68
Digestible DMI,	4.90 a 0.61	4.37 ab 0.15	3.82 b 0.53	10.88
Digestible OMI,	4.70 a 0.47	4.11 ab 0.15	3.64 b 0.50	9.67
Digestibility, %				
DMD	62.21 a 1.40	63.70 a 1.91	58.34 b 3.27	3.79
OMD	65.07 a 1.34	65.58 a 1.98	60.44 b 3.40	3.77
DCP	64.04 a 1.03	58.22 b 1.98	50.15 c 1.86	2.92
DEE	31.42 b 3.57	39.99 a 4.39	43.54 a 5.40	11.78
DCF	71.32 a 1.84	72.03 a 2.86	65.24 b 5.43	5.32
DNFE	65.70 a 2.30	64.46 ab 1.71	60.47 b 3.30	3.98
DNDF	68.98 ab 2.60	70.31 a 0.89	65.01 b 4.63	4.56
DADF	62.77 b 2.76	68.12 a 1.95	61.84 b 4.45	4.42
DE	59.42 a 5.44	62.31 a 1.93	57.06 a 3.44	6.52
TDN	55.80 ab 1.38	57.70 a 1.81	53.54 b 2.59	3.58

In a row, means followed by a common letter are not significantly different ($P>0.05$) by DMRT.

หมายเหตุ ไม่มีการเสริมกากถั่วเหลืองในทุกอายุการตัดของหญ้า

Table 4.3 Voluntary feed intake and digestibility of Purple guinea grass hay at different cutting ages

Parameters	Age of cutting						%CV
	30 days		45 days ^{1/}		60 days ^{2/}		
No. of cattle	4	<i>±SD</i>	4	<i>±SD</i>	4	<i>±SD</i>	
Body weight, kg	286.6		298.6		284.7		
Dry matter intake, kg/d							
Grass	7.28 a	1.06	6.42 ab	1.07	5.38 b	0.65	14.89
Soybean	-		0.55		0.71		
Total intake	7.28		6.97		6.09		
Dry matter intake, % BW							
Grass	2.54 a	0.50	2.15 ab	0.19	1.89 b	0.26	16.87
Soybean	-		0.18		0.25		
Total intake	2.54		2.33		2.14		
Dry matter intake, g/BW ^{0.75}							
Grass	105 a	17.91	89 ab	8.58	77 b	10.22	15.19
Soybean	-		7.7		10.2		
Total intake	105		96.7		87.2		
Total digestible intake, kg/d							
Dry matter	4.16 a	0.83	3.57 ab	0.52	3.01 b	0.52	17.86
Organic matter	4.02 a	0.78	3.29 ab	0.47	2.80 b	0.49	17.61
Total nutrients digestibility, % DM							
DMD	56.82 a	4.48	55.72 a	1.85	55.61 a	2.86	5.80
OMD	60.36 a	4.31	56.20 a	1.97	56.22 a	2.88	5.56
DCP	60.98 b	2.15	63.05 ab	2.06	65.32 a	3.16	3.97
DEE	46.38 a	4.94	47.35 a	5.13	50.19 a	3.83	9.74
DCF	61.86 a	6.55	54.66 b	2.17	53.11 b	2.27	7.42
DNFE	59.75 a	4.01	52.08 b	1.68	56.36 ab	3.01	5.45
DNDF	57.88 a	5.85	53.01 ab	1.25	50.34 b	3.63	7.52
DADF	54.87 a	5.38	59.12 a	1.65	52.96 a	3.15	6.70
DE	56.64 a	3.59	51.89 a	2.12	51.77 a	3.29	5.75
TDN	55.84 a	4.00	50.47 b	1.78	52.60 ab	2.53	5.52

In a row, means followed by a common letter are not significantly different ($P>0.05$) by DMRT.

หมายเหตุ ^{1/} สำหรับกากถั่วเหลืองที่ใช้เสริมมีส่วนประกอบทางเคมี (% DM) ดังนี้

DM	OM	CP	EE	CF	Ash	NFE	NDF	ADF	GE ^{3/}
89.96	92.51	44.85	0.97	7.21	7.49	39.48	14.39	9.21	4.635

^{3/} Mcal/kg DM

Table 4.4 Voluntary feed intake and digestibility of Ruzi grass hay at different cutting ages

Parameters	Age of cutting					
	30 days		45 days		60 days	
No. of cattle	4	$\pm SD$	4	$\pm SD$	4	$\pm SD$
Body weight, kg	310.0		316.2		304.4	%CV
Dry matter intake, kg/d						
Grass	7.44 a	0.77	7.43 a	0.82	6.97 a	0.38
Soybean	-		-		0.70	
Total intake	7.44		7.43		7.67	
Dry matter intake, % BW						
Grass	2.40 a	0.26	2.35 a	0.24	2.29 a	0.22
Soybean	-		-		0.23	
Total intake	2.40		2.35		2.52	
Dry matter intake, g/BW ^{0.75}						
Grass	101 a	8.91	99 a	8.14	96 a	7.59
Soybean	-		-		9.6	
Total intake	101		99		105.6	
Total digestible intake, kg/d						
Dry matter	4.35 a	0.42	4.39 a	0.63	4.35 a	0.29
Organic matter	3.85 a	0.36	4.12 a	0.58	4.15 a	0.58
Total nutrients digestibility, % DM						
DMD	58.59 b	1.30	58.81 b	2.21	62.40 a	1.53
OMD	59.61 b	1.51	61.29 b	2.07	64.42 a	1.80
DCP	62.70 a	3.37	52.42 b	4.28	64.73 a	1.90
DEE	42.07 a	3.48	34.92 b	1.57	44.48 a	2.68
DCF	67.48 a	2.58	61.75 b	0.92	59.02 b	1.57
DNFE	50.57 b	1.11	54.38 a	1.59	54.15 a	2.37
DNDF	62.45 a	2.07	63.57 a	1.86	64.61 a	2.33
DADF	53.49 b	2.96	58.09 b	3.86	62.02 a	2.32
DE	60.67 b	1.66	57.19 c	1.53	64.69 a	2.22
TDN	50.57 b	0.65	51.20 b	1.03	58.60 a	1.34

In a row, means followed by a common letter are not significantly different ($P>0.05$) by DMRT.

Table 4.5 Voluntary feed intake and digestibility of Ubon paspalum grass hay at different age of cutting

Parameters	Age of cutting					
	30 days		45 days ^{1/}		60 days ^{2/}	
No. of cattle	4	$\pm SD$	4	$\pm SD$	4	$\pm SD$
Body weight, kg	289.5		294.0		302.0	
Dry matter intake, kg/d						
Grass	6.92 a	0.43	6.26 a	1.18	6.19 a	0.67
Soybean	-		0.59		0.70	
Total intake	6.92		6.85		6.89	
Dry matter intake, % BW						
Grass	2.39 a	0.18	2.13 a	0.35	2.05 a	0.26
Soybean	-		0.20		0.23	
Total intake	2.39		2.33		2.28	
Dry matter intake, g/BW ^{0.75}						
Grass	99 a	6.12	88 a	14.15	85 a	9.68
Soybean	-		8.3		9.7	
Total intake	99		96.3		94.7	
Total digestible intake, kg/d						
Dry matter	4.09 a	0.11	3.69 a	0.70	3.71 a	0.27
Organic matter	3.87 a	0.11	3.50 a	0.68	3.63 a	0.27
Total nutrients digestibility, % DM						
DMD	59.20 a	0.74	59.15 a	1.24	60.03 a	2.11
OMD	61.65 a	0.99	62.31 a	1.02	63.76 a	2.18
DCP	53.74 b	2.23	57.20 ab	3.22	59.45 a	2.65
DEE	44.41 b	2.28	52.47 a	3.19	35.85 c	2.26
DCF	67.91 a	1.77	60.93 b	3.63	65.19 ab	4.42
DNFE	59.61 b	1.58	64.20 a	1.10	64.27 a	1.35
DNDF	61.16 a	2.45	57.14 b	1.43	61.99 a	2.88
DADF	55.66 a	1.79	52.70 a	2.18	53.08 a	2.69
DE	58.58 a	1.07	58.22 a	1.02	60.24 a	2.25
TDN	56.10 b	1.07	56.74 b	0.89	59.12 a	2.02

In a row, means followed by a common letter are not significantly different ($P>0.05$) by DMRT.

เป็นการยากที่จะสรุปในภาพรวมทั้งหมดของปริมาณการกินได้และการย่อยได้ของโภชนะต่างๆ จากงานทดลองในครั้งนี้ เนื่องจากมีเพียงหญ้าจาร์ราดิจิตเท่านั้นที่ไม่มีการเสริมกากถั่วเหลือง ส่วนหญ้าชนิดอื่นที่เหลือ มีการเสริมกากถั่วเหลืองในหญ้าอายุ 45 และ/หรือ 60 วัน ซึ่งอาจทำให้มีอิทธิพลของการเสริมกากถั่วเหลืองเข้ามาพัวพัน (confounding effects) กับผลการทดลองได้ อีกทั้งการทดลองในหญ้าแต่ละชนิดก็ทำแยกกันคนละเวลา ทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างของหญ้าแต่ละชนิดได้ อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองครั้งนี้พอที่จะแยกพิจารณาออกได้เป็น 2 ประเด็นคือ กลุ่มแรกเป็นหญ้าที่ไม่มีการเสริมกากถั่วเหลืองได้แก่ หญ้าจาร์ราดิจิตที่ระยะการตัดทั้ง 3 อายุ และหญ้ารูซี่ที่ตัดเมื่ออายุ 30 และ 45 วัน ส่วนกลุ่มที่ 2 เป็นหญ้าที่มีการเสริมกากถั่วในหญ้าอายุ 45 และ 60 วันซึ่งได้แก่หญ้างินนิสีม่วง และหญ้าพาสพาลัมบอล

สำหรับหญ้าที่ไม่มีการเสริมกากถั่วเหลืองพบว่า ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง (DMI) เมื่อคิดในรูป $g/BW^{0.75}$ ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งส่วนที่ย่อยได้ (kg DDMI) และปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งส่วนที่ย่อยได้ (kg DOMI) ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างหญ้าที่ตัดเมื่ออายุ 30 และ 45 วัน ทั้งในหญ้าจาร์ราดิจิตและหญ้ารูซี่ แต่สำหรับหญ้าจาร์ราดิจิตที่ตัดเมื่ออายุ 60 วันมีปริมาณการกินได้ที่กล่าวข้างต้น ลดลงต่ำกว่าหญ้าที่ตัดเมื่ออายุ 30 วัน ในทำนองเดียวกันกับการย่อยได้ของโภชนะต่างๆ พบว่า โดยส่วนใหญ่การย่อยได้ของโภชนะในหญ้าอายุ 30 และ 45 วัน มีความใกล้เคียงกัน ในขณะที่หญ้าจาร์ราดิจิตอายุ 60 วัน มีการย่อยได้ของโภชนะเกือบทุกชนิดต่ำกว่าหญ้าที่ตัดเมื่ออายุ 30 วัน โดยเฉพาะการย่อยได้ของโปรตีนจะลดลงตามอายุของหญ้าที่เพิ่มขึ้น ซึ่งพบว่าเหมือนกันในหญ้าทั้งสองชนิด จากผลดังกล่าวข้างต้นที่ทั้งปริมาณการกินได้และการย่อยได้ที่ลดลงในหญ้าที่ตัดเมื่ออายุมากขึ้นน่าจะมีสาเหตุเนื่องมาจาก ในหญ้าที่อายุน้อยจะมีสัดส่วนของใบต่อลำต้น (leaf : stem ratio) สูงกว่า หรือมีสัดส่วนของใบมากกว่าลำต้น (Hare *et al.*, 2003) ซึ่งส่วนของใบมีโภชนะมากกว่าสามารถย่อยได้ง่ายและเร็วกว่าโภชนะที่อยู่ในลำต้น (Forbes, 1995 and Harris, 2001) นอกจากนั้นโปรตีนที่อยู่ในหญ้าอายุน้อยส่วนใหญ่อยู่ในรูปของสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (non protein nitrogen) ซึ่งจะถูกละลายได้เร็วโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน จึงทำให้การย่อยได้ของโปรตีนในหญ้าอายุน้อยมีมากกว่า (Wilkins, 2000) นอกจากนั้นโปรตีนส่วนที่ถูกย่อยสลายในรูเมนยังเป็นโภชนะที่สำคัญต่อการดำรงชีพและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่มที่ย่อยสลายเยื่อใย (cellulolytic bacteria) เมื่อจุลินทรีย์กลุ่มเจริญเติบโตได้ดีและขยายจำนวนเพิ่มมากขึ้น ก็จะส่งผลดีต่อประสิทธิภาพของขบวนการหมักและการย่อยสลายเยื่อใย อีกทั้งเมื่อจุลินทรีย์เหล่านี้ผ่านออกจากกระเพาะรูเมนไปที่ลำไส้เล็กของสัตว์ ก็จะถูกน้ำย่อยของสัตว์ย่อยสลายและดูดซึมนำไปใช้ประโยชน์ในร่างกายต่อไป ในขณะที่เมื่อหญ้ามียาุมากขึ้นจากย่อยได้ของโปรตีนจะลดลง โดยเฉพาะในหญ้าที่ตัดเมื่ออายุ 60 วัน นอกจากจากการย่อยได้ของโปรตีนจะลดลงแล้ว ปริมาณโปรตีนที่ลดลงเหลือเพียงประมาณครึ่งหนึ่งของหญ้าอายุ 30 วันเท่านั้น จากการที่หญ้าที่อายุมากมีสัดส่วนของลำต้นมากขึ้น

ซึ่งสังเกตได้จากปริมาณเยื่อใย CF, NDF และ ADF ในหญ้าอายุ 60 วันสูงกว่าหญ้าอายุ 30 วัน เยื่อใยจัดเป็นคาร์โบไฮเดรตพวกที่เป็นโครงสร้าง (structural carbohydrate) หรือเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ (cell wall constituents) ซึ่งคาร์โบไฮเดรตพวกนี้มีเพียงน้ำย่อยจากจุลินทรีย์เท่านั้นที่เข้าย่อยสลายได้ (Hall, 1998; Wilkins, 2000) และพืชที่มีเยื่อใยสูงจะมีลักษณะฟามเบา (bulkiness) ทำให้จำกัดปริมาณความจุของกระเพาะรูเมน (rumen fill หรือ gut fill) ซึ่งมีผลทำให้สัตว์กินอาหารได้น้อยลง ประกอบกับการที่เยื่อใยถูกย่อยสลายได้ช้า ทำให้อาหารตกค้างอยู่กระเพาะรูเมน (rumen retention time) นานขึ้น หรืออาหารไหลผ่านออกจากรูเมน (rate of passage) ในอัตราที่ช้ากว่าอาหารที่มีเยื่อใยต่ำ ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ส่งผลให้ปริมาณการกินได้ของอาหารลดลง (Poppi *et al.*, 2000)

สำหรับการเสริมกากถั่วเหลืองในหญ้านิสิ่ม่วงและหญ้าพาสพาลัมอุบลที่ตัดเมื่ออายุ 45 และ 60 วัน โดยทั่วไปแล้วจะพบว่า การเสริมกากถั่วเหลืองช่วยเพิ่มปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบ (DMI) คิดเฉพาะส่วนของหญ้าแห้งทั้งในรูป g/BW^{0.75} ปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบแห้งส่วนที่ย่อยได้ (kg DDMI) และปริมาณการกินได้ของอินทรีย์วัตถุส่วนที่ย่อยได้ (kg DOMI) จนมีระดับใกล้เคียงกับหญ้าที่ตัดเมื่ออายุ 30 วันที่ไม่ได้มีการเสริมกากถั่วเหลือง ยกเว้นในหญ้านิสิ่ม่วงอายุ 60 วัน ซึ่งเป็นหญ้าที่มีเยื่อใย CF และ ADF สูงที่สุด ปริมาณการกินได้ของหญ้าแห้งดังกล่าวข้างต้น ยังคงต่ำกว่าหญ้าอายุ 30 วัน สำหรับการย่อยได้ของโภชนะต่างๆ โดยส่วนใหญ่แล้วพบว่า การเสริมกากถั่วเหลืองในหญ้าทั้ง 2 ชนิดจะช่วยปรับปรุงการย่อยได้รวม (ทั้งหญ้าและกากถั่วเหลือง) ให้สูงขึ้น จนมีระดับใกล้เคียงกับหญ้าที่ตัดเมื่ออายุ 30 วันที่ไม่ได้มีการเสริมกากถั่วเหลือง ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจาก กากถั่วเหลืองจัดว่าเป็นอาหารชั้นที่มีพลังงานสูง และมีโปรตีนคุณภาพดี ซึ่งนอกจากจะเป็นแหล่งโภชนะแก่สัตว์โดยตรงแล้ว ยังเป็นแหล่งโภชนะที่สำคัญและจำเป็นต่อการดำรงชีพและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในรูเมนด้วย โดยเฉพาะโปรตีนในกากถั่วเหลืองจะถูกย่อยสลายในรูเมน (ruminal degradable protein) ได้ประมาณ 60-65 เปอร์เซ็นต์ (Lin and Kung, 1996; NRC, 1988; McDonald *et al.*, 1995; Stern and Illg, 1990) ดังนั้นการเสริมกากถั่วเหลืองจึงเป็นการปรับปรุงสภาพหรือระบบนิเวศน์ให้เหมาะสมต่อประสิทธิภาพในการทำงานของขบวนการหมักย่อยอาหารของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีที่สัตว์ได้รับอาหารหยาบคุณภาพต่ำ ดังที่ Egan (1970) รายงานว่า อาหารที่ขาดโปรตีนทำให้การกินได้ของสัตว์ลดลง และยังทำให้ความจุของกระเพาะรูเมนลดลงอีกด้วย การเสริมโภชนะบางอย่างที่ทำให้ระดับพลังงานและโปรตีนมีความสมดุล มีผลทำให้การกินได้และการย่อยได้เพิ่มขึ้น หรือกล่าวได้ว่าโภชนะก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ควบคุมปริมาณการกินอาหาร

เมธา และฉลอง (2533) ได้จำแนกคุณภาพอาหารหยาบตามปริมาณโปรตีน (CP) พลังงาน TDN เยื่อใย NDF และปริมาณการกินได้ (%BW) ออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้

ซึ่งสังเกตได้จากปริมาณเชื้อใย CF, NDF และ ADF ในหญ้าอายุ 60 วันสูงกว่าหญ้าอายุ 30 วัน เชื้อใยจัดเป็นคาร์โบไฮเดรตพวกที่เป็นโครงสร้าง (structural carbohydrate) หรือเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ (cell wall constituents) ซึ่งคาร์โบไฮเดรตพวกนี้มีเพียงน้ำย่อยจากจุลินทรีย์เท่านั้นที่เข้าย่อยสลายได้ (Hall, 1998; Wilkins, 2000) และพืชที่มีเชื้อใยสูงจะมีลักษณะฟ้ามเบา (bulkiness) ทำให้จำกัดปริมาณความจุของกระเพาะรูเมน (rumen fill หรือ gut fill) ซึ่งมีผลทำให้สัตว์กินอาหารได้น้อยลง ประกอบกับการที่เชื้อใยถูกย่อยสลายได้ช้า ทำให้อาหารตกค้างอยู่กระเพาะรูเมน (rumen retention time) นานขึ้น หรืออาหารไหลผ่านออกจากรูเมน (rate of passage) ในอัตราที่ช้ากว่าอาหารที่มีเชื้อใยต่ำ ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ส่งผลให้ปริมาณการกินได้ของอาหารลดลง (Poppi *et al.*, 2000)

สำหรับการเสริมกากถั่วเหลืองในหญากินนี้สีม่วงและหญ้าพาสปาลัมอบลที่ตัดเมื่ออายุ 45 และ 60 วัน โดยทั่วไปแล้วจะพบว่า การเสริมกากถั่วเหลืองช่วยเพิ่มปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบแห้ง (DMI) คิดเฉพาะส่วนของหญ้าแห้งทั้งในรูป g/BW^{0.75} ปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบแห้งส่วนที่ย่อยได้ (kg DDMI) และปริมาณการกินได้ของอินทรีย์วัตถุส่วนที่ย่อยได้ (kg DOMI) จนมีระดับใกล้เคียงกับหญ้าที่ตัดเมื่ออายุ 30 วันที่ไม่ได้มีการเสริมกากถั่วเหลือง ยกเว้นในหญากินนี้สีม่วงอายุ 60 วัน ซึ่งเป็นหญ้าที่มีเชื้อใย CF และ ADF สูงที่สุด ปริมาณการกินได้ของหญ้าแห้งดังกล่าวข้างต้น ยังคงต่ำกว่าหญ้าอายุ 30 วัน สำหรับการย่อยได้ของโภชนะต่างๆ โดยส่วนใหญ่แล้วพบว่า การเสริมกากถั่วเหลืองในหญ้าทั้ง 2 ชนิดจะช่วยปรับปรุงการย่อยได้รวม (ทั้งหญ้าและกากถั่วเหลือง) ให้สูงขึ้น จนมีระดับใกล้เคียงกับหญ้าที่ตัดเมื่ออายุ 30 วันที่ไม่ได้มีการเสริมกากถั่วเหลือง ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจาก กากถั่วเหลืองจัดว่าเป็นอาหารชั้นที่มีพลังงานสูง และมีโปรตีนคุณภาพดี ซึ่งนอกจากจะเป็นแหล่งโภชนะแก่สัตว์โดยตรงแล้ว ยังเป็นแหล่งโภชนะที่สำคัญและจำเป็นต่อการดำรงชีพและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในรูเมนด้วย โดยเฉพาะโปรตีนในกากถั่วเหลืองจะถูกย่อยสลายในรูเมน (ruminal degradable protein) ได้ประมาณ 60-65 เปอร์เซ็นต์ (Lin and Kung, 1996; NRC, 1988; McDonald *et al.*, 1995; Stern and Illg, 1990) ดังนั้นการเสริมกากถั่วเหลืองจึงเป็นการปรับปรุงสภาพหรือระบบนิเวศน์ให้เหมาะสมต่อประสิทธิภาพในการทำงานของขบวนการหมักย่อยอาหารของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีที่สัตว์ได้รับอาหารหยาบคุณภาพต่ำ ดังที่ Egan (1970) รายงานว่า อาหารที่ขาดโปรตีนทำให้การกินได้ของสัตว์ลดลง และยังทำให้ความจุของกระเพาะรูเมนลดลงอีกด้วย การเสริมโภชนะบางอย่างที่ทำให้ระดับพลังงานและโปรตีนมีความสมดุล มีผลทำให้การกินได้และการย่อยได้เพิ่มขึ้น หรือกล่าวได้ว่าโภชนะก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ควบคุมปริมาณการกินอาหาร

เมธา และฉลอง (2533) ได้จำแนกคุณภาพอาหารหยาบตามปริมาณโปรตีน (CP) พลังงาน TDN เชื้อใย NDF และปริมาณการกินได้ (%BW) ออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้

	<u>CP</u>	<u>TDN</u>	<u>NDF</u>	<u>intake, %BW</u>
คุณภาพดี	>15	>60	<60	2.0
คุณภาพปานกลาง	8-10	50-60	60-70	1.5
คุณภาพต่ำ	2-5	<50	>70	1.0

จากข้อมูลการจำแนกคุณภาพอาหารหยาบข้างต้น จะเห็นได้ว่า ระดับเชื้อใย NDF ในอาหาร มีสหสัมพันธ์ในทางลบกับปริมาณการกินได้ ซึ่งสอดคล้องกับการจำแนกของ Grant (2000) ที่แสดง ถึงการจัดอันดับคุณภาพอาหารโดยใช้เชื้อใย NDF และความสัมพันธ์กับปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบ (DMI, %BW) ไว้ดังนี้

	<u>NDF</u>	<u>intake, %BW</u>
คุณภาพเยี่ยม	38-46	2.86-3.16
คุณภาพดี	46-54	2.40-2.61
คุณภาพปานกลาง	54-62	1.95-2.22
คุณภาพพอใช้	62-70	1.50-1.73
คุณภาพต่ำ	>70	1.27

จากข้อมูลการจัดอันดับคุณภาพของอาหารหยาบดังกล่าวข้างต้น พอที่จะสรุปได้ว่า หญ้าแห้งชนิดต่างๆ ที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ ในหญ้าแห้งที่ตัดเมื่ออายุ 30 และ 45 วันส่วนใหญ่มีคุณภาพอยู่ในระดับพอใช้ถึงคุณภาพระดับปานกลาง แต่หญ้าแห้งที่ตัดเมื่ออายุ 60 วัน จัดอยู่ในคุณภาพระดับต่ำ ส่วนการที่จะยกระดับคุณภาพของหญ้ากลุ่มหลังนี้ให้สูงขึ้นใกล้เคียงกับกลุ่มแรก ต้องทำการเสริมกากถั่วเหลืองให้แก่โคประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์

จากภาพรวมดังกล่าว จะเห็นได้ว่าปริมาณการกินได้และการย่อยได้โภชนะ มีความสัมพันธ์กับอายุของหญ้าที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะโปรตีน และเชื้อใยทั้ง CF, NDF และ ADF เชื้อใยจะมีสหสัมพันธ์ในทางลบกับปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบ (DMI) พลังงานทั้งหมดที่ย่อยได้ (TDN) ตลอดจนการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ (OMD) ซึ่งถือว่าเป็นดัชนีสำคัญในการใช้วัตถุดิบค่าทางอาหารของพืชอาหารสัตว์

4.3 ผลการศึกษาการย่อยได้ของกากถั่วเหลือง

งานทดลองหาค่าการย่อยได้ของกากถั่วเหลืองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าการย่อยได้ของโภชนะในหญ้าแห้งชนิดต่างๆ ที่มีการเสริมกากถั่วเหลืองในการทดลองที่ 4.2 โดยวิธี by difference การทดลองในครั้งนี้ใช้หญ้าแห้ง 2 ชนิดคือ หญ้ากินนีสีม่วง และหญ้าจาร์ราจิต ที่ตัดทำหญ้าแห้งเมื่ออายุ 40 วัน แล้วนำไปทดสอบหาการกินได้และการย่อยได้ โดยวิธีเก็บตัวอย่างทั้งหมด (total collection) ดังรายละเอียดวิธีการเช่นเดียวกับที่ได้อธิบายไว้แล้ว ซึ่งหญ้าทั้ง 2 ชนิดมีการเสริม

กากถั่วเหลืองที่ระดับ 0, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณวัตถุดิบทั้งหมดที่กิน ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของอาหารทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.6

Table 4.6 Chemical composition (% DM) of Jarra digit and Purple guinea grass hay and soybean meal

Grass spp.	DM	OM	CP	EE	CF	Ash	NFE	NDF	ADF	GE ^{1/}
Guinea	90.98	93.66	9.83	1.25	32.28	6.34	50.30	65.76	43.98	4.156
Jarra digit	87.22	92.62	13.78	1.93	32.03	7.38	44.88	63.16	41.10	4.061
Soybean	88.77	92.43	46.65	0.78	6.58	7.57	38.42	12.29	9.39	4.527

^{1/} Mcal/kg DM

หมายเหตุ กากถั่วเหลืองที่ใช้ในงานทดลองนี้ เป็นคนละชุดกับที่ใช้ในงานทดลองหาค่าการย่อยได้ของหญ้าแห้งในบทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของหญ้าแห้งที่ใช้ทดลองพบว่า โดยส่วนใหญ่มีค่าอยู่ระหว่างหญ้าแห้งอายุ 30 และ 45 วัน (เปรียบเทียบกับตารางที่ 4.1) สำหรับส่วนประกอบทางเคมีของกากถั่วเหลืองที่ใช้เสริมก็มีค่าใกล้เคียงกับที่ใช้ในงานทดลองที่ 4.2 เช่นกัน

4.3.1 การย่อยได้ของอาหารเมื่อใช้หญ้ากินนีสีม่วงเป็นอาหารหยาบ

ปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบที่คิดเฉพาะหญ้าแห้ง ทั้งในรูป kg/d, %BW และ g/BW ^{0.75} พบว่าไม่มีความแตกต่างกันระหว่างโคกลุ่มที่เสริมและไม่เสริมกากถั่วเหลือง (ตารางที่ 4.7) อย่างไรก็ตาม การเสริมกากถั่วเหลืองทำให้การย่อยได้ของวัตถุดิบ (DMD) และอินทรีย์วัตถุ (OMD) เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบส่วนที่ย่อยได้ (DDMI) และอินทรีย์วัตถุส่วนที่ย่อยได้ (DOMI) มากกว่าโคกลุ่มที่กินหญ้าแห้งที่ไม่ได้รับการเสริมกากถั่วเหลือง

โคกลุ่มที่ได้รับการเสริมกากถั่วเหลืองมีการย่อยได้ของโภชนะทุกชนิดสูงกว่า ($P < 0.05$) โคกลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริมกากถั่วเหลือง แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบระหว่างโคกลุ่มที่มีการเสริมกากถั่วเหลืองที่ระดับ 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ของวัตถุดิบทั้งหมดที่กินพบว่า ไม่มีผลทำให้การย่อยได้ของโภชนะทุกชนิดมีความแตกต่างกัน ($P > 0.05$)

การย่อยได้ของโภชนะต่างๆ ของโคกลุ่มที่ไม่ได้เสริมกากถั่วเหลืองในงานทดลองนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับงานทดลองที่ 4.2.2 ในกลุ่มที่ใช้หญ้ากินนีสีม่วงอายุ 30 วัน และไม่ได้เสริมกากถั่วเหลืองเช่นเดียวกัน จะเห็นได้ว่าการย่อยได้ของโภชนะต่างๆ ในงานทดลองนี้ มีค่าต่ำกว่าในงานทดลองที่กล่าวมาแล้วเล็กน้อย แต่ถ้าเปรียบเทียบกับงานทดลองที่ 4.2.2 ในกลุ่มที่ใช้หญ้ากินนีสีม่วงอายุ 45 วัน และเสริมกากถั่วเหลืองในระดับที่ใกล้เคียงกันพบว่า การย่อยได้ของโภชนะต่างๆ ในงานทดลองนี้ มีค่าสูงกว่า

4.3.2 การย่อยได้ของอาหารเมื่อใช้หญ้าจาร์ราดิจิตเป็นอาหารหยาบ

การเสริมกากถั่วเหลืองที่ระดับ 15 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณวัตถุดิบทั้งหมด มีผลทำให้ปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบ (DMI) และปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบส่วนที่ย่อยได้ (DDMI) และอินทรีย์วัตถุส่วนที่ย่อยได้ (DOMI) มากกว่าโคที่กินหญ้าแห้งกลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริมกากถั่วเหลือง แต่ไม่แตกต่างกับกลุ่มที่ได้รับการเสริมกากถั่วเหลืองที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.8)

สำหรับการย่อยได้ของโภชนะต่างๆ พบว่า การเสริมกากถั่วเหลืองที่ระดับ 15 เปอร์เซ็นต์ มีการย่อยได้ของโภชนะทุกอย่างสูงกว่า ($P < 0.05$) โคกลุ่มที่ไม่มีการเสริมกากถั่วเหลือง ส่วนการย่อยได้ของ DMD, OMD, DCP, DE และพลังงาน TDN พบว่า มีค่าสูงขึ้น ($P < 0.05$) ตามระดับการเพิ่มขึ้นของการเสริมกากถั่วเหลือง แต่การย่อยได้ของ DEE, DCF และ DNDF ของโคกลุ่มเสริมกากถั่วเหลืองที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ ไม่แตกต่างจากกลุ่มที่ไม่ได้เสริมกากถั่วเหลือง แต่อย่างไรก็ตามการย่อยได้ของ DNFE และ DADF ไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่มที่เสริมกากถั่วเหลือง

การย่อยได้ของโภชนะต่างๆ ของโคกลุ่มที่ไม่ได้เสริมกากถั่วเหลืองในงานทดลองนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับงานทดลองที่ 4.2.1 ในกลุ่มที่ใช้หญ้าจาร์ราดิจิตอายุ 45 วัน และไม่ได้เสริมกากถั่วเหลือง เช่นเดียวกัน จะเห็นได้ว่าปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบ (DMI) ในรูปต่างๆ มีค่าต่ำกว่าในงานทดลองดังกล่าวเล็กน้อย สำหรับการย่อยได้ของโภชนะต่างๆ ในงานทดลองนี้ ก็มีค่าใกล้เคียงกันหรือต่ำกว่าเล็กน้อย ยกเว้นการย่อยได้ของโปรตีน (DCP) และไขมัน (DEE) เท่านั้นที่มีค่าสูงกว่า อย่างไรก็ตามการเปรียบเทียบผลของงานทดลองนี้กับงานทดลองที่ 4.2.1 เป็นเพียงแนวทางประกอบการพิจารณาเบื้องต้นเท่านั้น เนื่องจากหญ้าแห้ง ตลอดจนโคที่ใช้ทดลองเป็นคนละชุดกัน จึงอาจมีความแปรปรวนต่างๆ เกิดขึ้นได้

Table 4.7 Voluntary feed intake and digestibility of Guinea grass hay at different levels of soybean meal supplementation.

Parameters	Percent of soybean meal supplementation						%CV
	0 %		10 %		15 %		
Number of cattle	4	$\pm SD$	4	$\pm SD$	4	$\pm SD$	
Body weight, (kg)	325.7		314.3		306.4		
Dry matter intake, (kg/d)							
Grass	6.22 a	0.49	7.13 a	0.71	6.71 a	0.80	10.22
Soybean	-		0.80		1.18		
Total intake	6.22		8.03		7.89		
Dry matter intake, (%BW)							
Grass	1.91 a	0.16	2.30 a	0.16	2.19 a	0.36	12.18
Soybean	-		0.25		0.39		
Total intake	1.91		2.55		2.58		
Dry matter intake, (g/BW ^{0.75})							
Grass	81 a	5.43	91 a	6.23	86 a	13.51	11.04
Soybean	-		10.7		16.1		
Total intake	81		101.7		102.1		
Total digestible intake, (kg/d)							
Dry matter	3.26 b	0.35	4.35 a	0.48	4.05 a	0.48	11.41
Organic matter	3.19 b	0.33	4.23 a	0.45	3.94 a	0.47	11.17
Total nutrients digestibility, (% DM)							
DMD	52.24 b	2.23	60.17 a	1.82	60.42 a	0.97	3.04
OMD	54.63 b	2.18	62.43 a	1.76	62.73 a	0.99	2.86
DCP	60.47 b	2.40	73.23 a	1.76	75.47 a	0.55	2.50
DEE	41.03 b	6.81	53.60 a	3.26	54.73 a	5.81	11.1
DCF	54.59 b	2.99	60.03 a	2.06	58.27 a	1.00	3.77
DNFE	53.58 b	1.70	61.67 a	2.25	61.61 a	1.50	3.13
DNDF	52.44 b	3.55	57.27 a	1.92	54.37 a	1.42	4.52
DADF	50.94 b	2.74	57.95 a	1.58	56.62 a	1.11	3.51
DE	50.15 b	2.72	58.57 a	2.60	59.83 a	1.50	4.17
TDN	51.67 b	2.11	59.44 a	1.63	59.43 a	0.98	2.89

In a row, means followed by a common letter are not significantly different ($P>0.05$) by DMRT.

Table 4.8 Voluntary feed intake and digestibility of Jarra digit grass hay at different levels of soybean meal supplementation.

Parameters	Percent of soybean meal supplementation						
	0 %		10 %		15 %		%CV
Number of cattle	4	$\pm SD$	4	$\pm SD$	4	$\pm SD$	
Body weight, (kg)	342.0		322.5		338.8		
Dry matter intake, (kg/d)							
Grass	6.60 b	0.31	7.03 ab	0.72	7.86 a	1.02	10.38
Soybean	-		0.78		1.39		
Total intake	6.60		7.81		9.25		
Dry matter intake, (%BW)							
Grass	1.93 b	0.23	2.18 ab	0.16	2.32 a	0.14	8.39
Soybean	-		0.24		0.41		
Total intake	1.93		2.42		2.73		
Dry matter intake, (g/BW ^{0.75})							
Grass	83 b	7.94	93 ab	6.50	100 a	6.50	7.58
Soybean	-		10.2		17.6		
Total intake	83		103.2		117.6		
Total digestible intake, (kg/d)							
Dry matter	4.02 b	0.29	4.55 ab	0.55	5.53 a	0.76	12.02
Organic matter	3.89 b	0.24	4.37 ab	0.51	5.28 a	0.72	11.70
Total nutrients digestibility, (% DM)							
DMD	60.83 c	1.79	64.70 b	2.26	70.35 a	0.90	2.67
OMD	63.62 c	1.24	67.10 b	1.90	72.48 a	0.95	2.10
DCP	66.38 c	3.60	74.24 b	3.61	79.45 a	1.24	4.13
DEE	46.47 b	3.76	49.68 b	3.53	57.78 a	3.40	6.95
DCF	67.30 b	3.83	70.38 b	1.61	75.76 a	0.57	3.40
DNFE	56.96 b	5.22	62.86 a	2.46	68.06 a	1.46	5.49
DNDF	60.41 b	3.74	61.95 b	1.72	68.65 a	1.21	3.89
DADF	60.73 b	3.66	68.14 a	1.64	69.33 a	0.60	3.55
DE	56.38 c	3.40	65.11 b	2.26	72.36 a	0.99	3.75
TDN	58.28 c	3.72	63.25 b	1.83	68.39 a	0.93	3.88

In a row, means followed by a common letter are not significantly different ($P>0.05$) by DMRT.

4.3.3 การคำนวณค่าการย่อยได้ของโภชนะของกากถั่วเหลือง

เมื่อนำค่าการย่อยได้ของโภชนะต่างๆ จากตารางที่ 4.7 และ 4.8 ไปคำนวณหาการย่อยได้ของกากถั่วเหลืองโดยวิธี by difference ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.9 จากผลการคำนวณพบว่า ค่าการย่อยได้ของโภชนะเกือบทุกชนิดมีค่าเกิน 100 เปอร์เซ็นต์ ทั้งโคกลุ่มที่เสริมกากถั่วเหลืองที่ระดับ 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ไม่ว่าจะเป็นการใช้หญ้าจาร์ราดิจิตหรือหญ้ากินนีสีม่วงเป็นแหล่งอาหารหยาบก็ได้ผลเช่นเดียวกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเสริมกากถั่วเหลืองมีผลทำให้การย่อยได้ของโภชนะต่างๆ ในหญ้าแห้งเปลี่ยนแปลงไป หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ การย่อยได้ของโภชนะต่างๆ ในหญ้าไม่คงที่เมื่อมีการเสริมกากถั่วเหลือง นั่นคือมีการเกิดปฏิกิริยาร่วมกันระหว่างอาหารทั้ง 2 ชนิด หรือมี associative effect เกิดขึ้นนั่นเอง นอกจากนั้นยังสังเกตเห็นได้ว่า การย่อยได้ของกากถั่วเหลืองไม่มีความคงที่กล่าวคือ ค่าจะไม่เท่ากันเมื่อใช้หญ้าต่างชนิดกันเป็นอาหารหยาบ และเมื่อเสริมกากถั่วเหลืองที่ระดับ 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ในหญ้ากินนีสีม่วง ค่าการย่อยได้ของกากถั่วเหลืองที่ระดับ 15 เปอร์เซ็นต์ มีค่าลดลงหรือต่ำกว่าการเสริมที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ แต่ในหญ้าจาร์ราดิจิต กลับให้ผลตรงกันข้าม

Table 4.9 Calculation of nutrient digestibility (%DM) of soybean meal by difference method.

Grass species	DM	OM	CP	EE	CF	NFE	NDF	ADF	DE
Purple Guinea									
10 % SBM Average	137.30	139.26	99.46	205.22	319.18	143.82	307.36	376.40	133.55
<i>±SD</i>	19.46	19.10	4.27	142.37	100.96	20.52	101.12	73.53	25.46
15 % SBM Average	111.87	106.03	96.19	202.60	175.11	118.38	123.41	225.82	115.87
<i>±SD</i>	7.64	18.73	1.75	73.31	30.78	9.11	49.56	35.00	11.97
Average guinea	124.59	122.65	97.83	203.91	247.15	131.10	215.39	301.11	124.71
Jarra digit									
10 % SBM Average	102.64	101.25	97.00	127.53	217.71	130.19	139.61	417.74	149.58
<i>±SD</i>	24.38	20.64	14.08	89.14	78.43	30.63	88.51	79.77	24.20
15 % SBM Average	132.75	130.61	104.77	241.09	345.81	152.95	345.80	315.90	180.60
<i>±SD</i>	7.04	7.42	3.99	58.28	18.99	12.73	41.38	18.53	8.24
Average Jarra digit	117.70	115.93	100.89	184.31	281.76	141.57	242.71	366.82	165.09

ยกตัวอย่างกรณีของการย่อยได้ของวัตถุดิบ (DMD) ในโคกลุ่มที่กินหญ้ากินนีสีม่วงและเสริมกากถั่วเหลืองที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบของกากถั่วเหลืองเฉลี่ย 137 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่านี้ได้มาจากที่ โคกลุ่มนี้กินวัตถุดิบทั้งหมดเฉลี่ย 6.42 กก./วัน (เป็นปริมาณการกินได้ในช่วงที่เก็บตัวอย่างเพื่อวัดการย่อยได้ ซึ่งลดลงเหลือ 90 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงที่วัดปริมาณการกินได้อย่างเต็มที่คือ กินหญ้า 5.82 และ กากถั่วเหลือง 0.60 กก./วัน) มีการย่อยได้ของวัตถุดิบรวม 60.17

เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจะมีส่วนของวัตถุแห้งที่ย่อยได้รวมเท่ากับ 3.86 กก. เมื่อนำค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของวัตถุแห้งในหญ้าจากโคกลุ่มที่ไม่ได้เสริมกากถั่วเหลืองคือ 52.24 เปอร์เซ็นต์ มาใช้ พบว่ามีปริมาณวัตถุแห้งที่ย่อยได้จากส่วนของหญ้าแห้งเท่ากับ $5.82 \times (52.24/100) = 3.04$ กก. ดังนั้น วัตถุแห้งที่ย่อยได้ที่ได้จากกากถั่วเหลืองควรจะมีค่าเท่ากับ $3.86 - 3.04 = 0.82$ กก. ซึ่งมากกว่าปริมาณกากถั่วเหลืองที่โคกินจริงที่มีเพียง 0.60 กก./วัน เมื่อคำนวณเป็นค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในกากถั่วเหลืองจะมีค่าเท่ากับ $(0.82/0.60) \times 100 = 137$ เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าความเป็นจริง สำหรับการเกิดปฏิกิริยาร่วมระหว่างอาหารในการทดลองครั้งนี้ อาจเกิดขึ้นได้ 2 กรณี ดังนี้ คือ

กรณีที่ 1 เกิดจากการเสริมกากถั่วเหลืองอาจมีผลทำให้การย่อยได้รวมของวัตถุแห้ง (DMD, ที่รวมทั้งการย่อยได้ของหญ้าแห้งและกากถั่วเหลือง) ลดลง แม้ว่าการเสริมกากถั่วเหลืองจะทำให้การย่อยได้ของโภชนะทุกชนิดเพิ่มขึ้น (มากกว่ากลุ่มโคที่ไม่ได้เสริม) ทั้งในโคที่กินหญ้างินนิสมีวงและหญ้างารราดิจิต แต่อาจเพิ่มขึ้นไม่เป็นสัดส่วนตามการเพิ่มของปริมาณการกินกากถั่วเหลือง หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ การย่อยได้ของวัตถุแห้งเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลง ซึ่งเป็นการเกิดปฏิกิริยาร่วมในทางลบ (negative associative effect) ดังเช่นในรายงานของ Mould (1988) ที่พบว่า DMD ของหญ้าแห้งสดและข้าวบาร์เลย์อัดเม็ดลดลง 6.0 และ 9.1 เปอร์เซ็นต์ (เทียบกับค่าคำนวณ) เมื่อลดอัตราส่วนของหญ้าแห้งและข้าวบาร์เลย์อัดเม็ดจาก 3:0 เป็น 2:1 และ 1:2 โดยเฉพาะส่วน DMD ของหญ้าแห้งลดลง 10.9 และ 38.8 ในกลุ่มที่เสริมข้าวบาร์เลย์อัดเม็ด อย่างไรก็ตาม งานทดลองของ Mould เป็นการเสริมอาหารที่เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรต แต่ในงานทดลองครั้งนี้เสริมด้วยกากถั่วเหลืองซึ่งถือว่าเป็นแหล่งโปรตีน ซึ่งการเสริมอาหารคาร์โบไฮเดรตในระดับสูงจะมีผลกระทบต่อลดลง pH ในรูเมนมาก และการย่อยได้ของเชื้อยีสลดลงมากกว่าการเสริมโปรตีน ดังนั้นผลที่เกิดขึ้นอาจไม่เหมือนกับในงานทดลองนี้ก็ได้

กรณีที่ 2 อาจเกิดจากการเสริมกากถั่วเหลืองมีผลทำให้การย่อยได้ของวัตถุแห้ง (DMD) ในหญ้าแห้งเพิ่มขึ้น ดังเช่นในรายงานของ Silva and Ørskov (1984) ที่พบว่า อัตราการย่อยสลายของวัตถุแห้ง (rate of dry matter degradation) ในถุงในท้องของฟางข้าวบาร์เลย์เพิ่มขึ้นในแกะที่กินฟางปรุงแต่งด้วยแอมโมเนีย (ammonia treated straw) และแกะที่กินฟางธรรมชาติที่เสริมปลาป่นเป็นอาหารหยাবหลัก เมื่อเทียบกับแกะที่กินฟางธรรมชาติเป็นอาหารหยাবหลัก ทั้งที่แกะในกลุ่มหลังได้มีการเสริมยูเรียเพื่อให้ความเข้มข้นของแอมโมเนียในกระเพาะรูเมนใกล้เคียงกับแกะในสองกลุ่มแรกแล้วก็ตาม ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากฟางปรุงแต่งและการเสริมปลาป่นซึ่งเป็นแหล่งอาหารโปรตีน ช่วยทำให้สภาพแวดล้อมในรูเมนมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการทำงานของจุลินทรีย์ ซึ่งในการทดลองนี้การเสริมกากถั่วเหลืองก็เป็นแหล่งโปรตีนเช่นเดียวกับฟางปรุงแต่งหรือปลาป่น ดังนั้นผลที่เกิดขึ้นอาจทำให้การย่อยได้ของวัตถุแห้งในหญ้าแห้งเพิ่มขึ้น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ การนำค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของวัตถุแห้งในหญ้างารราดิจิตและหญ้างินนิสมีวงที่ไม่ได้เสริมกากถั่วเหลืองซึ่งมีค่าเท่ากับ 60.83 และ 52.24 เปอร์เซ็นต์ ไปใช้คำนวณกับกรณีที่มีการเสริมกากถั่วเหลืองนั้น น่าจะเป็นค่าประมาณที่ต่ำกว่า

ความเป็นจริง (underestimate) ซึ่งที่จริงแล้วการเสริมกากถั่วเหลืองน่าจะมีผลทำให้การย่อยได้ของวัตถุดิบในหญ้าเพิ่มขึ้น หรือมีผลเป็น positive associative effects แต่เพิ่มขึ้นเป็นเท่าไรนั้น ในทางปฏิบัติไม่สามารถทราบค่านี้ได้

นอกจากการคำนวณค่าการย่อยได้ของกากถั่วเหลืองโดยใช้ค่าการย่อยได้ของหญ้าแห้งเป็นค่าคงที่ ดังวิธีที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ในทางกลับกันได้ลองใช้ค่าการย่อยได้ของกากถั่วเหลืองเป็นค่าคงที่ โดยใช้ข้อมูลจากเอกสารอ้างอิงคือ ค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบแห้ง (73% DMD) การย่อยได้ของวัตถุดิบแห้ง (77% OMD) (Close and Menke, 1986) การย่อยได้ของพลังงาน (82% DE) และ ค่าพลังงาน TDN (84%) (NRC, 1988) มาใช้เป็นค่าคงที่ จากนั้นคำนวณย้อนกลับไปหาค่าการย่อยได้ของหญ้านิสิมวง และหญ้าจาร์ราดิจิต ด้วยวิธี by different เช่นเดียวกับที่ทำครั้งแรก ผลการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 4.10

Table 4.10 Calculation of nutrient digestibility and energy value of Purple guinea and Jarra digit grass by difference method, at 10 and 15% of soybean meal supplementation.

Grass species	DMD	OMD	DE	TDN
Guinea – 10% SBM	58.85	61.04	56.17	56.92
Guinea – 15% SBM	59.02	61.26	57.48	56.70
<i>Average</i>	<i>58.94</i>	<i>61.15</i>	<i>56.83</i>	<i>56.81</i>
Jarra digit – 10% SBM	63.78	66.02	63.23	60.94
Jarra digit – 15% SBM	69.88	71.71	70.66	65.64
<i>Average</i>	<i>66.83</i>	<i>68.87</i>	<i>66.95</i>	<i>63.29</i>

จากผลการคำนวณในตารางที่ 4.9 จะเห็นได้ว่า ค่าการย่อยได้ของหญ้านทั้งสองชนิดมีความสมเหตุสมผลมากกว่าค่าการย่อยได้ของกากถั่วเหลืองจากการคำนวณแบบแรก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการคำนวณแบบแรกมีสัดส่วนของกากถั่วเหลืองต่ำ 10-15 เปอร์เซ็นต์ เมื่อหักโภชนะส่วนที่ย่อยได้จากหญ้าออกไปแล้ว ยังมีปริมาณที่เหลือมากกว่าจำนวนกากถั่วเหลืองที่โคกิน ค่าการย่อยได้จึงมากกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การคำนวณแบบที่สอง ซึ่งโคมีการกินหญ้าแห้งในสัดส่วนที่สูงถึง 85-90 เปอร์เซ็นต์ หลังจากหักโภชนะส่วนที่ย่อยได้จากกากถั่วเหลืองออกไปแล้ว ปริมาณโภชนะที่เหลือมีน้อยกว่าจำนวนหญ้านที่โคกิน จึงทำให้ค่าการย่อยได้ของโภชนะต่ำกว่า 100 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาค่าได้จากการคำนวณในตารางที่ 4.9 พบว่า การเสริมกากถั่วเหลืองทำให้การย่อยได้ของหญ้าเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับหญ้าที่ไม่เสริมกากถั่วเหลืองในตารางที่ 4.7 และ 4.8 แสดงว่ายังคงมีการเกิดปฏิกิริยาร่วมในทางบวกระหว่างอาหาร (positive associative effect) เหมือนเช่นในการเสริม

อาหารโปรตีนของ Silva and Ørskov (1984) ดังที่ได้อธิบายมาแล้ว และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดหญ้าจะสังเกตเห็นได้ว่า หญ้ากีนีสีม่วงซึ่งมีคุณภาพต่ำกว่า (ปริมาณโภชนะและการย่อยได้) หญ้าจาร์ราดิจิต จะมีการตอบสนองต่อการเสริมกากถั่วเหลืองที่แตกต่างกันกล่าวคือ การย่อยได้ของโภชนะในหญ้ากีนีสีม่วงมีความใกล้เคียงกันมากระหว่างการเสริมกากถั่วเหลืองที่ 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่หญ้าจาร์ราดิจิตที่เสริมกากถั่วเหลืองที่ 15 เปอร์เซ็นต์ จะมีการย่อยได้ของโภชนะมากขึ้น 5-6 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบการเสริมกากถั่วเหลืองที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานที่รวบรวมโดย Lin and Kung (1996) และ Stern and Illg (1990) ที่รายงานว่า การตอบสนองต่อการเสริมกากถั่วเหลืองในด้านปริมาณการกินอาหาร การย่อยได้ และการให้ผลผลิตนม ในโคที่กินถั่วอัลฟัลฟาทั้งในรูปของถั่วหมักและถั่วแห้ง (จัดว่าเป็นอาหารหยาบคุณภาพดี) จะสูงกว่าอาหารหยาบชนิดอื่น อย่างไรก็ตามค่าการย่อยได้ของกากถั่วเหลืองที่นำมาใช้ในการคำนวณในครั้งนี้ ยังไม่สามารถแนะนำให้นำไปใช้ได้เลยทันที เนื่องจากค่าอาจจะแตกต่างกับกากถั่วเหลืองที่ใช้ในประเทศไทย และยังไม่มีข้อมูลที่ชัดเจนเกี่ยวกับผลการตอบสนองต่อการเสริมกากถั่วเหลืองในด้านปริมาณการกินอาหาร และการย่อยได้ในพืชอาหารสัตว์เขตร้อนโดยเฉพาะ ดังนั้นจึงควรที่จะมีการศึกษาในรายละเอียดในประเด็นนี้เพิ่มเติม

4.3.4 การคำนวณค่าการย่อยได้ด้วยวิธี regression

นอกจากการคำนวณหาการย่อยได้ของหญ้าแห้งและกากถั่วเหลืองด้วยวิธี by different แล้ว ยังได้นำข้อมูลค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งจากตารางที่ 4.7 และ 4.8 มาวิเคราะห์ด้วยวิธี simple linear regression เพื่อสร้างสมการทำนายค่าการย่อยได้ของกากถั่วเหลือง โดยใช้ %DMD เป็นตัวแปรตาม (dependent variable) และการเสริมกากถั่วเหลืองที่ระดับ 0, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ เป็นตัวแปรอิสระ (independent variable) ผลการวิเคราะห์ได้สมการทำนายการย่อยได้รวมของวัตถุแห้งในหญ้ากีนีสีม่วงและหญ้าจาร์ราดิจิต เท่ากับ

$$\text{หญ้ากีนีสีม่วง \%DMD} = 52.76 + 0.581 (\% \text{ Soybean meal})$$

$$\text{หญ้าจาร์ราดิจิต \%DMD} = 60.29 + 0.60 (\% \text{ Soybean meal})$$

จากการแทนค่า เปอร์เซ็นต์ กากถั่วเหลืองที่ระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายถึงไม่ให้โคกินหญ้าเลย หรือเป็นค่าการย่อยได้ของกากถั่วเหลืองเพียงอย่างเดียว พบว่าค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในกากถั่วเหลืองที่ได้จากสมการทำนายของหญ้ากีนีสีม่วง และหญ้าจาร์ราดิจิต มีค่าเท่ากับ 110.9 และ 120.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 5 และ 6) จะเห็นได้ว่ามีค่ามากกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าความเป็นจริงเช่นเดียวกันกับผลที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธี by difference method

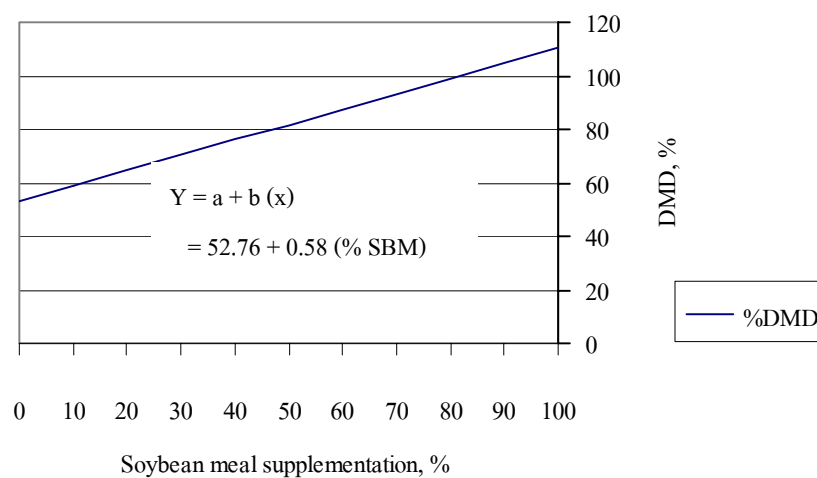


Figure 5 Total dry matter digestibility of Purple guinea grass hay and soybean meal as increased the rates of soybean meal supplementation

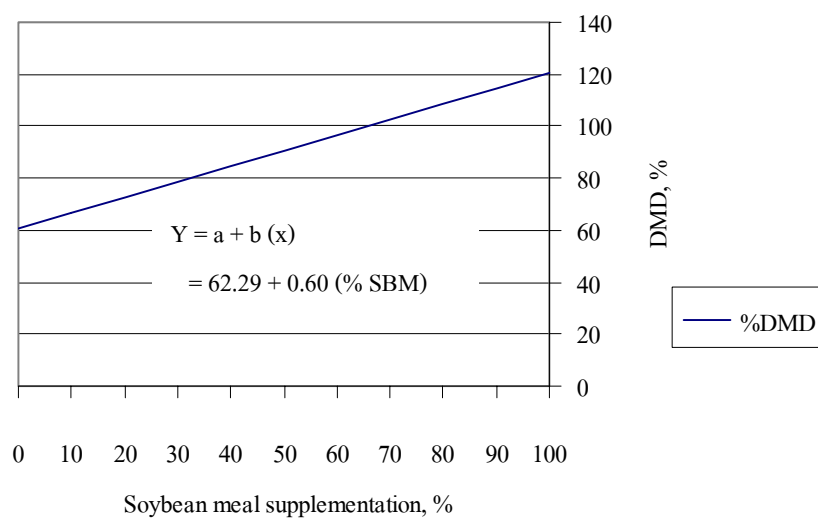


Figure 6 Total dry matter digestibility of Jarra digit grass hay and soybean meal as increased the rates of soybean meal supplementation

4.4 ผลการศึกษาคุณค่าทางอาหารของหญ้าแห้งด้วยวิธีการย่อยในถุงไนลอน และการผลิตก๊าซ

4.4.1 ผลการประเมินคุณค่าทางอาหารด้วยวิธีการย่อยในถุงไนลอน

ตัวอย่างอาหารที่นำมาทดสอบประเมินคุณค่าทางอาหารด้วยวิธีการย่อยในถุงไนลอน (*In situ*, nylon bag) ครั้งนี้ ใช้หญ้าแห้งตัวอย่างเดียวกันกับที่ทดสอบหาปริมาณการกินได้และการย่อยได้ของโคชนะต่างๆ โดยวิธีเก็บตัวอย่างทั้งหมด (total collection) ในงานทดลองที่ 4.2.1 ถึง 4.2.4 ซึ่งส่วนประกอบทางเคมีของหญ้าแห้งที่ทดสอบ ได้แสดงไว้แล้วในตารางที่ 4.1

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาโดยวิธีใช้ถุงไนลอนพบว่า ช่วงเวลาก่อนที่จุลินทรีย์เริ่มทำการย่อยสลายอาหาร (lag phase, L) ไม่มีความแตกต่างกันในหญ้าทุกชนิดและทุกอายุการตัด (ตารางที่ 4.11) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 2.1-3.8 ชั่วโมง สำหรับอาหารส่วนที่ละลายได้ในน้ำ (water soluble or washing loss, หรือค่า A) หรือเป็นส่วนของอาหารที่หายไปจากการนำถุงอาหารไปล้างด้วยน้ำเปล่าโดยไม่มีการนำไปจุ่มแช่ในกระเพาะรูเมน ซึ่งถือว่าเป็นส่วนที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในขบวนการหมักได้ทันทีและใช้ได้เกือบทั้งหมด จากผลการทดลองพบว่า หญ้าพาสพาล์มอุบลที่ตัดเมื่ออายุ 45 และ 60 วัน และหญ้างินนิสีม่วงที่ตัดเมื่ออายุ 30 วัน มีค่าสูงกว่า ($P < 0.05$) การตัดที่อายุอื่นรวมทั้งหญ้าชนิดอื่นที่เหลือ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 28-30 เปอร์เซ็นต์ สำหรับหญ้ารูซี่และหญ้ายาร์ราดิจิต รวมทั้งหญ้างินนิสีม่วงอายุ 45 และ 60 วัน มีค่าอยู่ในช่วง 20-24 เปอร์เซ็นต์ และไม่มีความแตกต่างกัน ($P > 0.05$)

การย่อยสลายของอาหารส่วนที่ไม่ละลายน้ำแต่สามารถหมักย่อยได้ (degradability of water insoluble หรือค่า B) ลักษณะทั่วไปพบว่า หญ้าที่ตัดเมื่ออายุ 30 วันมีค่าสูงกว่าหญ้าอายุ 45 และ 60 วัน หรือมีแนวโน้มลดลงตามอายุที่เพิ่มขึ้น โดยหญ้ายาร์ราดิจิตและหญ้าพาสพาล์มอุบลมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 57-59 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่หญ้ารูซี่และหญ้างินนิสีม่วงมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 51-52 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาในหญ้าชนิดเดียวกันที่อายุตัดต่างกัน ส่วนใหญ่ก็มีค่าไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$)

ค่าศักยภาพการย่อยสลายได้สูงสุด (คือค่า asymptote หรือ potential degradability, หรือค่า PD ซึ่ง = A + B) หมายถึง การย่อยสลายได้สูงสุดถ้าไม่จำกัดเวลาที่อาหารอยู่ในรูเมน จากผลการทดลองพบว่า มีลักษณะคล้ายกับค่า B คือ หญ้าที่ตัดเมื่ออายุ 30 วันมีค่าสูงกว่าหญ้าอายุ 45 และ 60 วัน โดยหญ้าพาสพาล์มอุบลมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด รองลงมาได้แก่หญ้ายาร์ราดิจิต นอกจากนั้นยังพบว่า อายุการตัดไม่มีผลต่อค่าศักยภาพการย่อยสลายได้สูงสุด (PD) ของหญ้าทั้งสองชนิดนี้ สำหรับหญ้ารูซี่และหญ้างินนิสีม่วงส่วนใหญ่มีค่าต่ำ โดยเฉพาะกลุ่มที่ตัดเมื่ออายุ 45 และ 60 วัน

อัตราการย่อยสลาย (ค่า c) หรือความเร็วในการย่อยสลายของอาหารส่วน B ซึ่งคิดเป็นส่วนต่อชั่วโมง (fraction/hour) โดยทั่วไปพบว่า หญ้าที่ตัดเมื่ออายุ 60 วันมีอัตราการย่อยสลายที่ช้ากว่า

หญ้าอายุ 30 และ 45 วัน แต่อย่างไรก็ตามพบว่า อายุการตัดภายในหญ้าชนิดเดียวกันไม่มีผลต่ออัตราการย่อยสลายของอาหาร

จากผลการทดลองของหญ้ารัฐในครั้งนี เมื่อเปรียบเทียบกับรายงานของบุญล้อม และคณะ (2541) ที่ทดลองในหญ้ารัฐ (ไม่ระบุอายุการตัด) พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันคือ $A = 21.1$, $B = 50.5$ และ $PD = 71.5$ เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ค่า PD มีความใกล้เคียงกับค่าที่เสาวลักษณ์ (2541) รายงานไว้คือ 72.60 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามค่า L และค่า c ที่ได้จากการทดลองครั้งนี้ มีค่าต่ำกว่ารายงานของบุญล้อมและคณะ ที่รายงานค่า $L = 3.6$ ชั่วโมง และ $c = 0.061$ ส่วนต่อชั่วโมง

เมื่อนำค่า A, B, c ของหญ้าทั้งสี่ชนิดไปคำนวณหาปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง (dry matter intake; DMI) ปริมาณการกินวัตถุแห้งส่วนที่ย่อยได้ (digestible dry matter intake; DDMI) และอัตราการเจริญเติบโต (growth rate) ของโครุ่นอายุ 1-1.5 ปี และค่า Index value ตามสมการ multiple regression ที่เสนอโดย Shem *et al.* (1995) พบว่าค่าต่างๆ เหล่านี้จะมีลักษณะทั่วไปที่คล้ายคลึงกันคือ หญ้าพาสพาลัมอุบลอายุ 45 วัน จะมีค่าสูงที่สุด แต่ทั้งนี้ไม่แตกต่าง ($P > 0.05$) หญ้าพาสพาลัมอุบลอายุ 60 วัน และหญ้ากินนีสีม่วงอายุ 30 วัน (ตารางที่ 4.12) เมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยแล้วจะเห็นได้ว่า หญ้าพาสพาลัมอุบลมีค่าสูงกว่าหญ้าชนิดอื่น ในขณะที่หญ้ารัฐมีค่าต่ำกว่าหญ้ากินนีสีม่วงและหญ้าจาร์ราดิจิตเล็กน้อย และหญ้า 3 ชนิดหลังนี้ที่อายุ 30 วันจะมีค่าสูงกว่าที่อายุ 45 และ 60 วัน อย่างไรก็ตาม เป็นที่น่าสังเกตว่าค่า DMI และ DDMI ที่ได้จากการแทนค่าในสมการของ Shem *et al.* นี้มีค่าค่อนข้างต่ำ เช่นเดียวกับที่พบในรายงานของบุญล้อมและคณะ (2541) ที่พบว่าหญ้ารัฐมีค่า DMI, DDMI, growth rate และ Index value เท่ากับ 3.56, 2.53, 0.25 และ 44.35 ตามลำดับ และค่า growth rate ดังกล่าวนี้นี้มีค่าใกล้เคียงกับที่เสาวลักษณ์ (2541) รายงานไว้คือ 0.2 กิโลกรัม/วัน

นอกจากนั้นเมื่อนำค่าที่ได้จากงานทดลองนี้ ไปแทนค่าในสมการทำนายการย่อยได้ของวัตถุแห้ง (DMD, %) ที่เสนอโดย Blümmel and Ørskov (1993) คือ

$$DMD\% = (0.232a + 0.0552b + 8c - 1.208) / (1.66 + 0.49a + 0.0297b - 4c) \times 100$$

พบว่าค่าทำนายที่คำนวณได้ มีค่าต่ำกว่า (underestimate) ค่าที่ได้จากการทดลองจริงในสัตว์ ของงานทดลองในครั้งนี้นี้อ่อนข้างมาก เช่นเดียวกับสมการของ Shem *et al.* (1995) สำหรับค่า Index value ถึงแม้จะไม่มี ความหมายในทางชีววิทยา (biological meaning) แต่ Ørskov (2000) สังเกตพบว่า ค่า Index value ที่ 30 เป็นระดับที่ให้พลังงานเพียงพอในระดับเพื่อการดำรงชีพ และแนะนำให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ (coefficient) ตัวคูณของค่า A, B และ c เท่ากับ 1, 0.40 และ 200 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำไปใช้คำนวณพบว่า ค่า Index value ที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้น และสูงกว่าค่าที่รายงานในตารางที่ 4.12 ประมาณ 5-6 เปอร์เซ็นต์

Table 4.11 Dry matter digestibility of different grass hay species at different cutting ages using the nylon bag technique.

Grass	Cutting	a	b	c	L	A	B	PD
Species	Age (d)	-----%-----		(fraction/h)	(h)	-----%-----		
Jarra digit	30	17.89 ^{abc}	63.97 ^{ab}	0.038 ^{ab}	2.1 ^a	23.35 ^c	58.51 ^{abc}	81.86 ^{abc}
	45	17.17 ^{abc}	61.13 ^{ab}	0.038 ^{ab}	2.3 ^a	23.08 ^c	55.22 ^{bcd}	78.30 ^{bcd}
	60	19.97 ^{abc}	62.38 ^{ab}	0.031 ^b	2.9 ^a	23.01 ^c	59.46 ^{ab}	82.46 ^{abc}
	<i>Average</i>	<i>18.34</i>	<i>62.49</i>	<i>0.036</i>	<i>2.43</i>	<i>23.15</i>	<i>57.73</i>	<i>80.88</i>
Purple	30	22.39 ^{ab}	61.84 ^{ab}	0.036 ^{ab}	3.5 ^a	29.74 ^{ab}	54.49 ^{bcd}	84.23 ^{ab}
guinea	45	18.77 ^{abc}	56.22 ^b	0.029 ^b	3.3 ^a	23.84 ^c	51.15 ^{bcd}	74.99 ^{cd}
	60	19.85 ^{abc}	54.70 ^b	0.025 ^b	3.5 ^a	24.38 ^c	50.17 ^{cd}	74.55 ^{cd}
	<i>Average</i>	<i>20.34</i>	<i>57.59</i>	<i>0.030</i>	<i>3.43</i>	<i>25.99</i>	<i>51.94</i>	<i>77.92</i>
Ruzi	30	19.80 ^{abc}	62.27 ^{ab}	0.036 ^{ab}	3.2 ^a	24.38 ^c	57.69 ^{abc}	82.07 ^{abc}
	45	13.47 ^c	59.75 ^b	0.048 ^a	2.6 ^a	20.88 ^d	52.34 ^{bcd}	73.22 ^d
	60	18.22 ^{abc}	53.93 ^b	0.038 ^{ab}	2.6 ^a	23.47 ^c	48.67 ^d	72.14 ^d
	<i>Average</i>	<i>17.16</i>	<i>58.65</i>	<i>0.041</i>	<i>2.80</i>	<i>22.91</i>	<i>52.90</i>	<i>75.81</i>
Ubon paspalum	30	15.63 ^{bc}	71.64 ^a	0.030 ^b	3.8 ^a	23.35 ^c	63.92 ^a	87.27 ^a
paspalum	45	23.93 ^a	62.75 ^{ab}	0.033 ^{ab}	3.3 ^a	30.37 ^a	56.31 ^{abcd}	86.68 ^{ab}
	60	23.84 ^a	61.98 ^{ab}	0.025 ^b	3.0 ^a	28.36 ^b	57.46 ^{abc}	85.82 ^{ab}
	<i>Average</i>	<i>21.13</i>	<i>65.46</i>	<i>0.029</i>	<i>3.37</i>	<i>27.36</i>	<i>59.23</i>	<i>86.59</i>

In a column, means followed by a common letter are not significantly different ($P>0.05$) by DMRT.

Table 4.12 Predicted value of dry matter intake, digestible dry matter intake, growth rate and index value of different grass hay species at different cutting ages.

Grass Species	Cutting Age (d)	A%.....	B	c fraction/h	DMI ¹ (kg/d)	DDMI ² (kg/d)	Growth ³ (kg)	Index ⁴ value
Jarra digit	30	23.35 ^c	58.51 ^{abc}	0.038 ^{ab}	4.57 ^{cd}	3.11 ^c	0.24 ^{bc}	48.12 ^{cd}
	45	23.08 ^c	55.22 ^{bcd}	0.038 ^{ab}	4.15 ^{def}	2.77 ^{cd}	0.22 ^{bcd}	45.57 ^{def}
	60	23.01 ^c	59.46 ^{ab}	0.031 ^b	4.44 ^{cde}	2.93 ^{cd}	0.22 ^{bcd}	47.64 ^{cde}
	<i>Average</i>	<i>23.15</i>	<i>57.73</i>	<i>0.036</i>	<i>4.39</i>	<i>2.94</i>	<i>0.23</i>	<i>47.46</i>
Purple guinea	30	29.74 ^{ab}	54.49 ^{bcd}	0.036 ^{ab}	5.83 ^a	4.14 ^a	0.32 ^a	52.86 ^a
	45	23.84 ^c	51.15 ^{bcd}	0.029 ^b	3.78 ^{ef}	2.41 ^d	0.17 ^d	45.19 ^{ef}
	60	24.38 ^c	50.17 ^{cd}	0.025 ^b	3.76 ^{ef}	2.35 ^d	0.16 ^d	45.11 ^{ef}
	<i>Average</i>	<i>25.99</i>	<i>51.94</i>	<i>0.030</i>	<i>4.45</i>	<i>2.96</i>	<i>0.22</i>	<i>47.72</i>
Ruzi	30	24.38 ^c	57.69 ^{abc}	0.036 ^{ab}	4.72 ^{cd}	3.22 ^{bc}	0.25 ^{bc}	48.07 ^{cd}
	45	20.88 ^d	52.34 ^{bcd}	0.048 ^a	3.46 ^f	2.31 ^d	0.21 ^{cd}	43.95 ^f
	60	23.47 ^c	48.67 ^d	0.038 ^{ab}	3.60 ^f	2.35 ^d	0.19 ^{cd}	44.52 ^f
	<i>Average</i>	<i>22.91</i>	<i>52.90</i>	<i>0.041</i>	<i>3.92</i>	<i>2.62</i>	<i>0.21</i>	<i>45.72</i>
Ubon paspalum	30	23.35 ^c	63.92 ^a	0.030 ^b	4.98 ^{bc}	3.34 ^{bc}	0.25 ^{bc}	49.64 ^{bc}
	45	30.37 ^a	56.31 ^{abcd}	0.033 ^{ab}	6.11 ^a	4.34 ^a	0.33 ^a	53.94 ^a
	60	28.36 ^b	57.46 ^{abc}	0.025 ^b	5.57 ^{ab}	3.81 ^{ab}	0.28 ^{ab}	51.89 ^{ab}
	<i>Average</i>	<i>27.36</i>	<i>59.23</i>	<i>0.029</i>	<i>5.55</i>	<i>3.83</i>	<i>0.28</i>	<i>51.82</i>

In a column, means followed by a common letter are not significantly different ($P>0.05$) by DMRT.

$$\text{DMI}^1 (\text{kg/d}) = -8.286 + 0.266A + 0.102B + 17.696c$$

$$\text{DDMI}^2 (\text{kg/d}) = -7.609 + 0.219A + 0.080B + 24.191c$$

$$\text{Growth rate}^3 = -0.649 + 0.017A + 0.006B + 3.87c$$

$$\text{Index value}^4 = A + 0.38B + 66.6c$$

4.4.2 ผลการประเมินคุณค่าทางอาหารของหญ้าแห้งด้วยวิธีการผลิตก๊าซ

จากการทดสอบประเมินคุณค่าทางอาหารของหญ้าแห้งด้วยวิธีการการผลิตก๊าซ (*In vitro*, gas production) ของหญ้าชนิดต่างๆ พบว่า ปริมาณการผลิตก๊าซของตัวอย่างหญ้าแห้งมาตรฐาน (standard hay) และอาหารข้นมาตรฐาน (standard concentrate) มีปริมาณเท่ากับ 44.94 และ 65.10 ml/200mg DM ตามลำดับ (ตารางที่ 4.13) ซึ่งใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานที่ระบุไว้คือ 44.16 และ 62.60 ml/200mg DM หรือสูงกว่าค่ามาตรฐาน 2 และ 4 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ Menke *et al.* (1979) แนะนำว่า ปริมาณการผลิตก๊าซควรมีค่าสูงหรือต่ำกว่ามาตรฐานไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ จากการทดสอบครั้งนี้ กล่าวได้น้ำรูเมน (rumen liquor) ที่นำมาบ่มอาหารทดลอง (incubate) มีการทำงานของจุลินทรีย์

(microbial activity) อยู่ในระดับที่เหมาะสม เมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของหญ้าแต่ละชนิดพบว่า หญ้าจาร์ราดิจิตมีค่าปริมาณการผลิตก๊าซสูงกว่าหญ้าชนิดอื่น ในขณะที่หญ้างินนิสีมวงมีค่าต่ำที่สุด และเมื่อพิจารณาในหญ้าชนิดเดียวกันจะเห็นว่า อายุการตัดไม่มีผลต่อปริมาณการผลิตก๊าซ แต่มีแนวโน้มว่าหญ้าที่ตัดเมื่ออายุ 60 วันจะมีการผลิตก๊าซน้อยกว่าหญ้าอายุ 30 และ 45 วัน ยกเว้นหญ้ารูฐซึ่งมีลักษณะตรงกันข้ามคือ หญ้าที่ตัดเมื่ออายุ 30 จะมีค่าต่ำกว่าหญ้าอายุ 45 และ 60 วัน

Table 4.13 Gas production (Gb) in 24 hours, OMD and ME predicted value of different grass hay species at different cutting ages.

Grass Species	Cutting Ages (d)	Gb (ml/200 g)	CP (%)	Ash (%)	EE (%)	OMD ¹ (%)	ME ² (MJ/kg)
Jarra digit	30	45.81 ^a	15.23	9.73	2.09	56.92 ^a	8.52 ^a
	45	40.99 ^{abcd}	9.77	8.66	2.02	52.32 ^{abcde}	7.83 ^{abcde}
	60	41.62 ^{abc}	8.38	7.93	2.13	52.78 ^{abcd}	7.91 ^{abcd}
	<i>Average</i>	<i>42.81</i>	<i>11.13</i>	<i>8.77</i>	<i>2.08</i>	<i>53.99</i>	<i>8.09</i>
Guinea	30	36.25 ^{bcd}	12.76	8.99	1.54	48.26 ^{bcd}	7.20 ^{bcd}
	45	34.12 ^{cd}	7.64	8.57	1.42	46.11 ^{cde}	6.88 ^{cde}
	60	32.94 ^{cd}	5.24	7.78	1.37	44.90 ^{de}	6.71 ^{de}
	<i>Average</i>	<i>34.43</i>	<i>8.55</i>	<i>8.45</i>	<i>1.44</i>	<i>46.43</i>	<i>6.93</i>
Ruzi	30	34.85 ^{cd}	15.13	13.10	1.35	47.40 ^{bcd}	7.03 ^{bcd}
	45	44.03 ^{ab}	9.41	9.86	1.18	55.09 ^{ab}	8.24 ^{ab}
	60	41.99 ^{abc}	7.93	7.58	1.19	53.06 ^{abc}	7.96 ^{abc}
	<i>Average</i>	<i>40.30</i>	<i>10.82</i>	<i>10.18</i>	<i>1.24</i>	<i>51.85</i>	<i>7.74</i>
Ubon paspalum	30	39.62 ^{abcd}	10.91	9.29	0.78	51.20 ^{abcde}	7.65 ^{abcde}
	45	40.15 ^{abcd}	7.24	10.05	0.80	51.55 ^{abcde}	7.70 ^{abcde}
	60	32.18 ^d	6.93	7.79	0.67	44.31 ^e	6.62 ^e
	<i>Average</i>	<i>37.32</i>	<i>8.36</i>	<i>9.04</i>	<i>0.75</i>	<i>49.02</i>	<i>7.32</i>

In a column, means followed by a common letter are not significantly different ($P>0.05$) by DMRT

$$^1\text{OMD (\%)} = 14.88 + 0.889\text{Gb} + 0.045\text{XP} + 0.065\text{XA}$$

$$^2\text{ME}_{\text{roughage}} \text{ (MJ/kg DM)} = 2.20 + 0.136\text{Gb} + 0.0057\text{XP} + 0.00029\text{XL}^2$$

Gb = gas production, ml (Standard hay = 44.94 ml and standard concentrate = 65.10)

XP = % crude protein

XA = % Ash

XL = % ether extract

เมื่อนำค่าปริมาณการผลิตก๊าซและส่วนประกอบทางเคมีในหญ้าไปคำนวณ เพื่อประมาณค่าการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ (OMD) และค่าพลังงาน ME (ตารางที่ 4.13) ก็มีผลในทำนองเดียวกับปริมาณการผลิตก๊าซ ซึ่งค่าดังกล่าวมีความใกล้เคียงกับที่พิมพ์พร และคณะ (2543) ได้รายงานไว้ว่าหญ้ารูฐมีค่า OMD และ ME เท่ากับ 59.65 เปอร์เซ็นต์ และ 1.93 Mcal/kg DM ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ค่า ME ของหญ้าทั้งสี่ชนิด มีค่าค่อนข้างต่ำกว่าหญ้านาเปียร์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.00 Mcal/kg DM และ

หญ้า *Paspalum dilatatum* ที่มีค่าเท่ากับ 2.39 Mcal/kg DM ตามที่ NRC (1988) และ Kearl (1982) รายงานไว้ตามลำดับ

จากการนำข้อมูลทั้งที่ได้จากการทดลองในสัตว์ และที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการมาเปรียบเทียบกัน โดยให้ค่าที่ได้จากการทดลองในสัตว์คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ดังผลแสดงในตารางที่ 4.14 จะเห็นได้ว่า ค่าการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ (%OMD) ที่ประมาณจากวิธี gas test รวมทั้งปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง (kg DMI) และปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งส่วนที่ย่อยได้ (kg DDMI) ที่ได้จากการประมาณโดยวิธี nylon bag มีค่าต่ำกว่าที่ได้จากการทดลองกับสัตว์โดยตรง (*in vivo*) เมื่อเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ พบว่ามีค่าเท่ากับ 83.86, 68.05 และ 73.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อนำค่าสังเกตที่ได้จากงานทดลองนี้ ไปวิเคราะห์หาค่าสหสัมพันธ์ (correlation, r) และค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชัน (regression coefficient, b) กับค่าที่ได้จากการประมาณโดยวิธีผลิตก๊าซ และค่าจากสมการทำนายการกินได้ของอาหาร ผลการวิเคราะห์พบว่า ค่าที่ได้มีความสัมพันธ์กันต่ำ อีกทั้งค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันไม่แสดงนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ดังนั้นจึงไม่นำสมการมาแสดงไว้ในที่นี้

Table 4.14 Comparison of methods of feed evaluation among *in vivo* (total collection), *in vitro* (gas test) and *in sacco* (nylon bag)

Grass Species	Cutting Ages (d)	OMD, %			DMI, kg/d			DDMI, kg/d		
		1	2	%	1	3	%	1	3	%
Jarra digit	30	65.07	56.92	87.48	7.87	4.57	58.07	4.90	3.11	63.47
	45	65.58	52.32	79.78	6.86	4.15	60.50	4.37	2.77	63.39
	60	60.44	52.78	87.33	6.53	4.44	67.99	3.82	2.93	76.70
Purple guinea	30	60.35	48.26	79.97	7.28	5.83	80.08	4.16	4.14	99.52
	45	-	46.11	-	6.42	3.78	58.88	-	2.41	-
	60	-	44.90	-	5.38	3.76	69.89	-	2.35	-
Ruzi	30	59.61	47.40	79.52	7.44	4.72	63.44	4.35	3.22	74.02
	45	61.29	55.09	89.88	7.43	3.46	46.57	4.39	2.31	52.62
	60	-	53.06	-	6.97	3.60	51.65	-	2.35	-
Ubon paspalum	30	61.65	51.20	83.05	6.92	4.98	71.97	4.09	3.34	81.66
	45	-	51.55	-	6.26	6.11	97.60	-	4.34	-
	60	-	44.31	-	6.19	5.57	89.98	-	3.81	-
Average		62.00	50.33	83.86	6.80	4.58	68.05	4.30	3.09	73.05

หมายเหตุ ค่าจาก *in vivo* ที่นำมาเปรียบเทียบใช้เฉพาะหญ้าแห้งกลุ่มที่ไม่มีการเสริมกากถั่วเหลือง

1 = *In vivo*, 2 = Gas test, 3 = Nylon bag

4.5 ผลการศึกษาคุณค่าทางอาหารของหญ้าหมักและการตอบสนองต่อระดับพลังงานและโปรตีนของโคนม

4.5.1 ส่วนประกอบทางเคมีและคุณค่าทางอาหารของหญ้าหมัก

(1) ส่วนประกอบทางเคมีของหญ้าหมัก

จากผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีในหญ้าหมัก ซึ่งทำจากหญ้าพาสปาลัม อุบลที่ตัดเมื่ออายุประมาณ 45 วัน โดยหมักร่วมกับมันสำปะหลังบดในอัตรา 5 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักหญ้าสด พบว่า ส่วนประกอบทางเคมีในหญ้าหมักที่ได้ (ตารางที่ 4.15) มีความใกล้เคียงกับหญ้าแห้งจากหญ้าพาสปาลัมอุบลที่ตัดเมื่ออายุประมาณ 45 วัน (ดูตารางที่ 4.1) อย่างไรก็ตาม ค่าวัตถุแห้ง (DM) ที่รายงานในที่นี้ ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการอบแห้งในตู้อบ (forced air oven) ซึ่งโดยทั่วไปจะมีค่าต่ำกว่า 2-3 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับการวิเคราะห์ด้วยวิธีกลั่นใน Toluene หรือการทำให้แห้งด้วยอุณหภูมิเยือกแข็งภายใต้ความดันต่ำ (freeze dry) ทั้งนี้เนื่องจากวิธีการอบแห้งในตู้อบทำให้มีการสูญเสียของโภชนะบางอย่างที่ระเหยง่าย (volatile materials) ไปกับความร้อน โดยเฉพาะในพืชหมักที่มีกรดไขมันระเหยง่ายอยู่สูง (Van Soest and Robertson, 1985)

Table 4.15 Chemical composition of Ubon paspalum grass silage and concentrate feed (% DM)

Feed	DM	OM	CP	EE	CF	NFE	NDF	ADF	ADL	ADIN	GE ^{1/}
Silage	26.51	91.49	6.48	1.42	30.97	52.62	64.32	41.34	11.51	4.86	4.05
Concentrate	91.21	97.31	18.34	3.84	3.32	71.81	17.70	5.86	3.02	-	4.21

^{1/} Mcal/kg DM

(2) คุณค่าทางอาหารของหญ้าหมัก

เมื่อนำหญ้าหมักที่ได้ไปทดสอบหาปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง และการย่อยได้ของโภชนะต่างๆ ด้วยวิธีเก็บตัวอย่างทั้งหมด (total collection) ทำการเปรียบเทียบระหว่างโคกลุ่มหนึ่งที่กินหญ้าหมักเพียงอย่างเดียว กับโคอีกกลุ่มหนึ่งที่กินหญ้าหมักและมีการเสริมอาหารขั้นสูงที่ใช้สำหรับแม่โครีดนม (ส่วนประกอบทางเคมีของอาหารขั้นสูงแสดงในตารางที่ 4.15) โดยให้อาหารชั้นในอัตรา 1 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัว ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.16 และ 4.17 ซึ่งมีรายละเอียดต่อไปนี้

ปริมาณการกินได้ของหญ้าหมัก

จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งที่คิดเฉพาะหญ้าหมักเพียงอย่างเดียว เมื่อคิดเป็น กก./ตัว/วัน ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) ระหว่างโคกลุ่มที่เสริมและไม่เสริม

อาหารชั้น (ตารางที่ 4.16) แต่เมื่อคิดในรูป %BW และ g DM/BW^{0.75} แล้วพบว่า การเสริมอาหารชั้นมีผลทำให้โคกินหญ้าหมักได้มากขึ้น นอกจากนั้นเมื่อคำนวณปริมาณการกินได้ในรูปกรัมของโภชนะส่วนที่ย่อยได้ (รวมทั้งจากหญ้าหมักและอาหารชั้น) ต่ออาหารน้ำหนักแห้ง 1 กก. (digestible nutrients intake, g/kg DM) พบว่า โคกลุ่มที่เสริมอาหารชั้นจะได้รับโภชนะส่วนที่ย่อยได้ รวมทั้งพลังงาน DE และ TDN มากกว่า ($P < 0.05$) โคกลุ่มที่ไม่เสริมอาหารชั้น ทั้งนี้เนื่องมาจากในอาหารชั้นมีโภชนะที่มากกว่า อีกทั้งการย่อยได้ของโภชนะรวมก็มากกว่าด้วย

ปริมาณการกินได้ของหญ้าหมักในรูป %BW เท่ากับ 1.27 และ 1.52 ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำเมื่อเทียบกับงานทดลองในหญ้าแห้ง ซึ่งสอดคล้องกับ Forbes (1995) ที่กล่าวว่า โดยทั่วไป ปริมาณการกินได้ของหญ้าหมักจะต่ำกว่าหญ้าสดและหญ้าแห้ง โดยเฉพาะในแกะจะกินหญ้าหมักได้น้อยกว่าหญ้าสดประมาณ 33 เปอร์เซ็นต์ แต่ในโคปริมาณการกินได้ไม่ลดลงมากเหมือนเช่นในแกะ Demarquilly (1973) รายงานว่า ในแกะทดลองปริมาณการกินได้ของหญ้าหมักจะต่ำกว่าหญ้าแห้งที่เป็นเส้นยาวและหญ้าแห้งที่บด โดยมีค่าเท่ากับ 46, 57 และ 91 g/BW^{0.75} ตามลำดับ สาเหตุที่ทำให้สัตว์การหญ้าหมักได้น้อยอาจเนื่องมาจากสารละลายที่เป็นองค์ประกอบในหญ้าหมัก (soluble constituents) หลายอย่างซึ่งยังไม่ทราบชัดเจนว่าเป็นตัวใดบ้างที่มีผลมากต่อการลดปริมาณการกินได้ อาทิ amines, histamine ทำให้การเคลื่อนไหว (motility) ของกระเพาะรูเมนลดลง หญ้าหมักที่มีกรดมากโดยเฉพาะกรด butyric และ acetic รวมทั้งแอมโมเนีย ($\text{NH}_3\text{-N}$) สูง จะลดความน่ากิน (palatability) ของหญ้าหมักลง ตลอดจนการขาดความสมดุลของโภชนะในหญ้าหมักเป็นต้น ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ไม่สามารถบอกได้ว่าสิ่งใดมีบทบาทหรือความสำคัญมากน้อยกว่ากัน แต่คาดว่าจะมีสหสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน (intercorrelation) และมีผลในลักษณะของการบวกสะสม (additive effects) ต่อปริมาณการกินได้ของหญ้าหมัก แต่อย่างไรก็ตาม สำหรับหญ้าหมักที่สัดส่วนของกรด lactic ต่อปริมาณกรดทั้งหมดสูง ทำให้สัตว์กินหญ้าหมักได้เพิ่มขึ้น

แม้ว่าการทำหญ้าหมักจะไม่ทำให้การย่อยได้ ค่าพลังงาน ME และการนำพลังงาน ME ไปใช้ประโยชน์ลดลงโดยตรง แต่ในระหว่างขบวนการหมักจะมีการสูญเสียคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง ซึ่งคิดเป็นประมาณครึ่งหนึ่งของ ATP ที่ต้องสูญเสียไปในกระเพาะรูเมน ซึ่งตัวสัตว์อาจจะได้รับพลังงานเพียงพอ แต่จุลินทรีย์จะขาดพลังงานในการเจริญเติบโต ทำให้อัตราการย่อยสลายชิ้นอาหาร (particle breakdown) และอัตราการหมักของอาหารในรูเมนลดลง ทำให้อาหารคงอยู่ในกระเพาะนานขึ้น และไหลผ่านออกจากรูเมนช้าลง อาจเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้โคกินหญ้าหมักได้น้อยกว่าหญ้าแห้ง (Forbs, 1995)

การย่อยได้ของโภชนะในหญ้าหมัก

โคกลุ่มที่ได้รับการเสริมอาหารชั้นจะมีการย่อยได้ของโภชนะรวม (ทั้งหญ้าหมักและอาหารชั้น) ทุกชนิดสูงกว่าโคกลุ่มที่กินหญ้าหมักเพียงอย่างเดียว ($P < 0.05$) ทั้งนี้โคกลุ่มที่กินหญ้าหมัก

อย่างเดียวยังมีการย่อยได้ของโภชนะทุกชนิดค่อนข้างต่ำ สำหรับโคกลุ่มที่เสริมอาหารชั้นพบว่า มีการย่อยได้ของโภชนะรวมอยู่ในระดับสูงเป็นที่น่าสนใจ และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าการย่อยได้ของหญ้าแห้งอายุ 45 วันที่ทำจากหญ้าพาสปาลัมอูบล ซึ่งมีการเสริมกากถั่วเหลืองในอัตรา 10 เปอร์เซ็นต์ (งานทดลองที่ 4.2.4) จะเห็นได้ว่าการย่อยได้ของโภชนะรวมของหญ้าหมักมีค่าสูงกว่าหญ้าแห้งเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอาหารชั้นที่ใช้เสริมมีความสมดุลของโภชนะในสูตรอาหารดีกว่าการเสริมกากถั่วเหลืองเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตามในส่วนของการย่อยเยื่อใย CF พบว่ามีผลตรงกันข้ามคือ โคกลุ่มที่ไม่เสริมอาหารชั้นมีค่าการย่อยได้ของเยื่อใยมากกว่ากลุ่มที่เสริมอาหารชั้น แต่ในส่วนของการย่อย NDF และ ADF นั้นพบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) ระหว่างโคทั้งสองกลุ่ม ดังแสดงในตารางที่ 4.17

การเสริมอาหารพลังงานที่หมักได้เร็ว (readily fermentable energy) จะมีผลช่วยให้จุลินทรีย์ได้รับพลังงานเพียงพอ แม้คล้ายกับว่าในหญ้าหมักส่วนใหญ่มีไนโตรเจนอยู่มาก แต่ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (NPN) และมีโปรตีนหลายส่วนที่ไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ โดยเฉพาะหญ้าที่เกิดความร้อนขึ้นสูงในระหว่างกระบวนการหมัก (overheat silage หรือ browning reaction) ทำให้สัตว์ขาดโปรตีนที่เป็นประโยชน์ (unavailable of protein) ดังนั้นการเสริมโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายง่ายในรูเมน (ruminally undegraded protein หรือ bypass protein) เพื่อให้สัตว์ย่อยและดูดซึมกรดอะมิโนที่ลำไส้เล็กโดยตรง จะช่วยแก้ปัญหานี้ได้ ยิ่งในหญ้าหมักมีไนโตรเจนต่ำมากเท่าใด การเสริมโปรตีนก็จะได้รับประโยชน์มากขึ้นตามไปด้วย อย่างไรก็ตามบางครั้งพบว่า การเสริมกากถั่วเหลืองในโครุ่ม ไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้ของหญ้าหมักและสมรรถภาพการเจริญเติบโต ซึ่งตรงข้ามกับการเสริมปลาป่น (McDonald *et al.*, 1995) ในขณะที่ Stern and Illg (1991) ทดลองเสริมกากถั่วเหลืองให้แก่โคที่ระดับ 0, 200, 400 และ 600 กรัมต่อวัน พบว่า ไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้ของหญ้าหมักที่มีโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์

สำหรับการย่อยได้ของ ADL และไนโตรเจนที่อยู่ใน ADL หรือ acid detergent insoluble nitrogen (ADIN) ที่ได้มีค่าติดลบ ซึ่งเกิดจากปริมาณสารชนิดนี้ที่ถูกขับออกมาในมูลมีค่ามากกว่าปริมาณที่สัตว์กินเข้าไป ซึ่งตามหลักการแล้ว lignin เป็นสารที่ย่อยไม่ได้ ในการทดลองครั้งนี้พบว่าค่าการย่อยได้ของเยื่อใย ADL มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง -2 ถึง -6 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 7.3) ซึ่งใกล้เคียงกับ 0 เปอร์เซ็นต์พอสมควร แต่สำหรับการย่อยได้ของ ADIN ของโคกลุ่มที่เสริมอาหารชั้นพบว่ามีความติดลบสูงถึง 41 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้อาจเกิดขึ้นเนื่องจาก ADIN ในอาหารและในมูลมีปริมาณน้อย ถ้าหากเกิดความคลาดเคลื่อนในขั้นตอนการวิเคราะห์เพียงเล็กน้อย จะส่งผลถึงความคลาดเคลื่อนของปริมาณในการตรวจพบ (recovery percentage) เป็นอย่างมาก ซึ่งสังเกตได้จากค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (%CV) ที่มีค่าสูง ดังนั้นจึงทำให้ไม่สามารถนำค่านี้ไปใช้ในการคำนวณหาค่าการย่อยได้ของโภชนะโดยใช้ตัวชี้บ่งภายใน (internal marker) ได้

Table 4.16 Dry matter and digestible nutrient intake of dairy heifers fed Ubon paspalum grass silage with and without supplementation of concentrate feed

Feed intake	Silage		Silage + Conc.		% CV
	Average	$\pm SD$	Average	$\pm SD$	
R:C Ratio					
Silage	100	-	62.27	2.18	
Concentrate	-	-	37.73	2.18	
DMI, kg/d					
Silage	3.78 a	0.83	4.19 a	1.14	11.81
Concentrate	-	-	2.52	0.58	
Total DMI	3.78	0.83	6.71	1.70	
% BW					
Silage	1.27 b	0.08	1.52 a	0.14	6.38
Concentrate	-	-	0.92	0.01	
Total DMI	1.27	0.08	2.44	0.15	
g/BW ^{0.75}					
Silage	53 b	4.40	62 a	7.58	7.58
Concentrate	-	-	37	2.11	
Total DMI	53	4.40	99	9.18	
Digestible nutrient intake, g/kg DM					
DM	472 b	22	648 a	22	3.35
OM	438 b	21.8	621 a	20.2	3.33
CP	24 b	3.0	68 a	3.1	5.60
EE	7 b	0.6	18 a	1.2	8.80
CF	179 b	9.9	139 b	10.7	8.45
NFE	248 b	13.2	409 a	11.9	2.55
NDF	270 a	11.1	246 a	22.2	6.87
ADF	126 a	17.5	114 a	17.5	16.36
DE, Mcal/kg DM	1.9 b	0.15	2.69 a	0.09	3.33
DE, MJ/kg DM	7.98 b	0.64	11.24 a	0.36	3.33

In a row, means followed by a common letter are not significantly different ($P>0.05$) by F test

Table 4.17 Nutrient digestion coefficient (% DM) of Ubon paspalum grass silage with and without supplementation of concentrate feed

Nutrients	Silage		Silage + Conc.		% CV
	Average	$\pm SD$	Average	$\pm SD$	
DM	47.23 b	2.17	64.80 a	2.18	3.29
OM	47.89 b	2.39	66.30 a	2.21	3.41
CP	36.95 b	4.71	62.02 a	2.60	5.29
EE	49.96 b	4.31	77.88 a	4.62	8.02
CF	57.92 b	3.20	67.38 a	3.56	6.80
NFE	47.16 b	2.52	68.28 a	2.28	3.09
NDF	41.95 b	1.72	52.65 a	3.86	6.18
ADF	30.42 b	4.24	40.72 a	5.21	14.67
ADL	-6.42 a	5.40	-2.09 a	6.09	-24.30
ADIN	-3.97 a	4.00	-41.4b	8.32	-118.8
TDN	46.74 b	2.00	64.00 a	2.12	3.20
DE	47.08 b	3.77	65.33 a	2.12	3.42

In a row, means followed by a common letter are not significantly different ($P>0.05$) by F test

4.5.2 ผลการตอบสนองต่อระดับพลังงานและโปรตีนในอาหารของโคนมที่กินหญ้าพาสปาลัม อุบลหมักเป็นอาหารหยาบหลัก (The responses of energy and protein levels in the diets of dairy cows fed Ubon paspalum grass silage as a basal roughage)

การศึกษานี้แบ่งออกเป็น 2 งานทดลองย่อย ซึ่งงานทดลองย่อยที่ 1 เป็นการศึกษาการตอบสนองของโคนมต่อพลังงานและโปรตีนในอาหาร โดยผันแปรโภชนะทั้งสองอย่างในระดับ 1.0 และ 1.2 เท่าจากคำแนะนำของ NRC (1988) ทำการทดลอง 2 ครั้ง (trial 1, 2) โดยการทดลองแต่ละครั้งใช้โคนมคนละชุดกัน สำหรับงานทดลองย่อยที่ 2 กำหนดให้โคได้รับโปรตีนเท่ากับคำแนะนำจาก NRC แต่ลดระดับพลังงานลงมาเหลือ 0.9 (trial 3) โดยมีผลการทดลองดังรายละเอียดต่อไปนี้

(1) ผลการทดลองย่อยที่ 1 ครั้งที่ 1 (trial 1)

ผลการคำนวณอาหารทดลอง

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณสูตรอาหารโคทดลองประกอบด้วย ค่าเฉลี่ยน้ำหนักตัว ผลผลิตน้ำนม และเปอร์เซ็นต์ไขมันในนม ผลการคำนวณปริมาณอาหารที่ให้โคกิน และโภชนะที่กำหนดให้สัตว์ได้รับในแต่ละวัน ดังแสดงในตารางที่ 4.18

Table 4.18 Feed formulation and nutrient requirement determination of dairy cows receiving 1.0 or 1.2 of energy and protein level as recommended by NRC (1988) (trial 1)

Total digestible nutrient	TDN 1.0		TDN 1.2	
Crude Protein	CP 1.0	CP 1.2	CP 1.0	CP 1.2
Treatment	(T 1)	(T 2)	(T 3)	(T 4)
Cows information				
Cows weight, (kg)	432	396	424	395
Milk yield, (kg/d)	12.51	11.74	12.36	11.71
Milk fat, (%)	3.92	3.82	4.04	4.18
Daily nutrient requirements				
DM intake, (Kg)	12.15	11.42	13.58	12.83
% BW	2.81	2.88	3.20	3.25
TDN, kg	8.09	7.43	9.48	9.09
CP, (kg)	1.73	2.02	1.77	2.08
ADF, (%)	23.64	25.51	20.51	19.60
Feed provided, kg/d (as fed basis)				
Silage	30.00	30.00	28.00	23.50
Soybean meal	2.00	3.00	1.70	2.70
Ground corn	4.80	2.90	7.20	6.30
Roughage :Concentrate ratio	49:51	53:47	41:59	37:63

จากข้อมูลในตารางที่ 4.18 จะเห็นได้ว่า โคกลุ่มที่ได้รับพลังงานระดับต่ำ (low energy, LE) มีปริมาณการกินอาหารน้อยกว่าโคกลุ่มที่ได้รับพลังงานระดับสูง (high energy, HE) เนื่องจากกำหนดให้ได้รับพลังงาน TDN ต่ำกว่า คือเฉลี่ยวันละ 7.76 และ 9.29 กก. ในกลุ่ม LE และ HE ตามลำดับ สำหรับโปรตีนพบว่า โคกลุ่มที่ได้รับโปรตีนระดับต่ำ (low protein, LP) และโคกลุ่มที่ได้รับโปรตีนระดับสูง (high protein, HP) กำหนดให้ได้รับโปรตีน (crude protein, CP) เฉลี่ยวันละ 1.75 และ 2.05 กก. ในกลุ่ม LP และ HP ตามลำดับ โคกลุ่มที่ได้รับพลังงานและโปรตีนสูงสุด (T4) จะมีสัดส่วนอาหารหยาบต่ออาหารข้นค่อนข้างต่ำคือ 37:63 แต่อย่างไรก็ตามระดับเยื่อใย ADF ที่ได้รับยังไม่ต่ำกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำของ NRC (1988) แนะนำไว้ที่ระดับ 21 เปอร์เซ็นต์

ผลต่อปริมาณอาหารที่สัตว์กินและโภชนาที่ได้รับ

ในการนำอาหารไปเลี้ยงโคทดลองจริง ได้ทำการปรับสัดส่วนอาหารหยาบต่ออาหารข้นบ้างเล็กน้อย ตามผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของวัตถุดิบแต่ละชนิด โดยเฉพาะหญ้าหมักมีวัตถุแห้งประมาณ 26 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.19) ซึ่งสูงกว่าค่าที่ใช้คำนวณตอนแรก (20 เปอร์เซ็นต์) และพลังงาน TDN ของหญ้าหมักที่ได้จากงานทดลองหาการย่อยได้มีค่าเท่ากับ 46.74 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต่ำกว่าที่ค่าใช้คำนวณ (50 เปอร์เซ็นต์) อีกทั้งเพื่อเป็นการควบคุมสัดส่วนอาหารหยาบต่ออาหารข้นไม่ให้ต่ำเกินไป ทำให้โคได้รับเยื่อใยเพียงพอในระดับที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน สำหรับส่วนประกอบทางเคมีของกากถั่วเหลืองและข้าวโพดที่ใช้เป็นตัวปรับ

พลังงานและโปรตีนในอาหาร มีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลที่น่ามาใช้คำนวณ ผลการทดลองพบว่า แม้จะมีการปรับสัดส่วนของอาหารทดลองบ้าง แต่ก็ไม่ได้ทำให้ปริมาณโภชนะสูตรที่สัตว์ได้รับในแต่ละวันผิดไปจากปริมาณโภชนะที่กำหนดให้มากนัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งโภชนะที่ต้องควบคุมเป็นพิเศษ คือ โปรตีน พลังงาน TDN และเชื้อใย ADF

ผลต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว

จากข้อมูลในตารางที่ 4.20 พบว่า โคกลุ่มที่ได้รับพลังงานระดับต่ำมีอัตราการเจริญเติบโตต่อวันมากกว่า ($P < 0.05$) กลุ่มที่ได้รับพลังงานระดับสูง แต่ระดับของโปรตีนไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของโค และไม่พบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างระดับพลังงานและระดับโปรตีน ($P > 0.05$) อย่างไรก็ตามการเจริญเติบโต เป็นลักษณะที่มีความแปรปรวนของข้อมูลค่อนข้างมาก ซึ่งสังเกตได้จากค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\pm$ S.D.) และค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปร (% CV) ที่มีค่าสูง

ผลต่อผลผลิตน้ำนมและส่วนประกอบในน้ำนม

จากการทดลองในครั้งนี้พบว่า ระดับโปรตีนมีอิทธิพลต่อผลผลิตน้ำนมคือ ในโคกลุ่มที่ได้รับโปรตีนระดับสูง (HP) จะมีผลผลิตน้ำมน้อยกว่า ($P < 0.05$) โคกลุ่มที่ได้รับโปรตีนระดับต่ำ (LP) ดังข้อมูลแสดงในตารางที่ 4.20 อย่างไรก็ตามเมื่อคำนวณเป็นปริมาณนมที่ปรับค่าไขมันนม 4 เปอร์เซนต์ (4% fat corrected milk, FCM) พบว่า โคทั้งสองกลุ่มให้ผลผลิตไม่แตกต่างกัน สำหรับระดับพลังงานไม่พบว่ามีอิทธิพลต่อผลผลิตน้ำนม แต่จะมีผลต่อส่วนประกอบทางเคมีในน้ำนมคือ เปอร์เซนต์น้ำตาลแลคโตสในนม โดยพบว่า โคกลุ่มที่ได้รับพลังงานระดับต่ำ (LE) จะมีเปอร์เซนต์น้ำตาลแลคโตสมากกว่า ($P < 0.05$) โคกลุ่มที่ได้รับพลังงานระดับสูง (HE) และในส่วนของปริมาณผลผลิตของส่วนประกอบในน้ำนม (milk constituent yield, kg/d) ไม่มีความแตกต่างกันในโคทุกกลุ่ม และนอกจากนั้นไม่พบว่ามีปฏิสัมพันธ์ (interaction, E*P) ระหว่างระดับพลังงานและโปรตีนในทุกลักษณะที่ทำการศึกษา

Table 4.19 Feed and nutrient intake of dairy cows receiving 1.0 or 1.2 of energy and protein level as recommended by NRC (1988) (trial 1)

Feed	GE	DM	OM	CP	EE	CF	NFE	NDF	ADF	TDN*
Silage	4050	26.51	91.49	6.48	1.42	30.97	52.62	64.32	41.34	46.74
Soybean	4620	90.05	93.21	45.10	0.85	9.37	37.89	17.34	12.43	80.00
Corn	4240	89.13	96.86	8.37	3.96	4.10	80.43	14.55	4.92	85.00
*TDN of soybean meal and corn were estimated from X-RATION										
T 1 (E:P, 1.0:1.0)										
	kg fresh	kg DM	OM	CP	EE	CF	NFE	NDF	ADF	TDN
Silage	28.00	7.42	6.79	0.48	0.11	2.30	3.91	4.77	3.07	3.47
Soybean	2.30	2.07	1.93	0.93	0.02	0.19	0.78	0.36	0.26	1.66
Corn	4.00	3.57	3.45	0.30	0.14	0.15	2.87	0.52	0.18	3.03
R:C = 57: 43	Total, kg	13.06	12.17	1.71	0.26	2.64	7.56	5.65	3.50	8.16
% in ration		100.00	93.23	13.12	2.02	20.21	57.88	43.28	26.81	62.46
T 2 (E:P, 1.0:1.2)										
Silage	28.00	7.42	6.79	0.48	0.11	2.30	3.91	4.77	3.07	3.47
Soybean	3.40	3.06	2.85	1.38	0.03	0.29	1.16	0.53	0.38	2.45
Corn	2.00	1.78	1.73	0.15	0.07	0.07	1.43	0.26	0.09	1.52
R:C = 61: 39	Total, kg	12.27	11.37	2.01	0.20	2.66	6.50	5.56	3.54	7.43
% in ration		100.00	92.70	16.39	1.65	21.67	52.98	45.36	28.83	60.60
T 3 (E:P, 1.2:1.0)										
Silage	28.00	7.42	6.79	0.48	0.11	2.30	3.91	4.77	3.07	3.47
Soybean	2.00	1.80	1.68	0.81	0.02	0.17	0.68	0.31	0.22	1.44
Corn	6.00	5.35	5.18	0.45	0.21	0.22	4.30	0.78	0.26	4.55
R:C = 51: 49	Total, kg	14.57	13.65	1.74	0.33	2.69	8.89	5.86	3.56	9.46
% in ration		100.00	93.67	11.95	2.28	18.44	61.01	40.25	24.40	64.89
T 4 (E:P, 1.2:1.2)										
Silage	23.00	6.10	5.58	0.40	0.09	1.89	3.21	3.92	2.52	2.85
Soybean	3.20	2.88	2.69	1.30	0.02	0.27	1.09	0.50	0.36	2.31
Corn	5.20	4.63	4.49	0.39	0.18	0.19	3.73	0.67	0.23	3.94
R:C = 45: 55	Total, kg	13.61	12.75	2.08	0.29	2.35	8.03	5.10	3.11	9.09
% in ration		100.00	93.68	15.30	2.16	17.25	58.97	37.43	22.82	66.81

Table 4.20 Body weight change, milk yield, milk composition and milk constituent yield of dairy cows receiving 1.0 or 1.2 level of energy and protein as recommended by NRC (1988) (trial 1).

Treatment	Energy (E)		TDN 1.0		TDN 1.2				Significant Level			CV (%)	
	Protein (P)	CP 1.0		CP 1.2		CP 1.0		CP 1.2		E	P		E*P
		(T1)	(T2)	(T3)	(T4)								
Number of cows	4												
Body wt. change		$\pm$		$\pm SD$		$\pm SD$		$\pm SD$					
Initial weight (kg)	419	47	378	91	414	56	391	48					
Final weight, (kg)	444	56	414	89	433	49	399	47					
Weight gain, (kg)	25	11	36	6	19	18	8	19					
Daily gain, (kg)	0.88	0.39	1.26	0.20	0.68	0.64	0.29	0.68	*	ns	ns	64.2	
Milk yield, (kg/d)													
Milk Yield,	11.58	2.91	11.40	2.13	11.73	0.98	9.81	1.37	ns	*	ns	8.2	
4 %FCM	11.64	2.96	11.80	1.03	11.90	2.39	10.46	1.65	ns	ns	ns	14.7	
Milk Composition, %													
- Fat	4.05	0.42	4.31	0.91	4.09	1.03	4.43	0.13	ns	ns	ns	18.9	
- Protein	3.30	0.20	3.43	0.39	3.46	0.55	3.63	0.24	ns	ns	ns	5.9	
- Lactose	5.15	0.25	4.83	0.31	4.73	0.42	4.42	0.39	*	ns	ns	6.6	
- Solid-not fat	9.14	0.07	9.01	0.65	8.95	0.76	8.90	0.31	ns	ns	ns	5.8	
Milk Constituent, (kg/d)													
- Fat	0.47	0.12	0.49	0.12	0.47	0.09	0.44	0.07	ns	ns	ns	21.1	
- Protein	0.38	0.07	0.39	0.07	0.40	0.04	0.36	0.04	ns	ns	ns	13.0	
- Lactose	0.60	0.18	0.55	0.12	0.55	0.04	0.44	0.10	ns	ns	ns	14.3	
- Solid-not fat	1.06	0.30	1.02	0.20	1.05	0.04	0.87	0.13	ns	ns	ns	11.8	

ns = non significant, * = (P<0.05), ** = (P<0.01), CV = coefficient of variation

(2) ผลการทดลองย่อยที่ 1 ครั้งที่ 2 (trial 2)

ผลการคำนวณอาหารทดลอง

โคที่ใช้ทดลองมีน้ำหนักตัวมากกว่าโคทดลองในครั้งที่ 1 นอกจากนั้นยังให้ผลผลิตน้ำนม และเปอร์เซ็นต์ไขมันนมสูงกว่าอีกด้วย ดังนั้นจึงทำให้ปริมาณการกินอาหาร ความต้องการพลังงาน และโปรตีนมากกว่าโคทดลองใน ครั้งที่ 1 (ตารางที่ 4.21) โดยโคกลุ่มที่ได้รับพลังงานระดับต่ำ (low energy, LE) และ โคกลุ่มที่ได้รับพลังงานระดับสูง (high energy, HE) กำหนดให้ได้รับพลังงาน TDN เฉลี่ยวันละ 8.25 และ 10.16 กก. ตามลำดับ สำหรับโปรตีน โคกลุ่มที่ได้รับโปรตีนระดับต่ำ (low protein, LP) และ โคกลุ่มที่ได้รับโปรตีนระดับสูง (high protein, HP) กำหนดให้โคได้รับโปรตีน (crude protein, CP) เฉลี่ยวันละ 1.90 และ 2.28 กก. ตามลำดับ

Table 4.21 Feed formulation and nutrient requirement determination of dairy cows receiving 1.0 or 1.2 of energy and protein level as recommended by NRC (1988) (trial 2).

Total digestible nutrient	TDN 1.0		TDN 1.2	
Crude Protein	CP 1.0	CP 1.2	CP 1.0	CP 1.2
Treatment	(T1)	(T2)	(T3)	(T4)
Feed formulation				
Cows weight, (kg)	421	417	454	427
Milk yield, (kg/d)	13.63	12.57	12.12	14.43
Milk fat, (%)	4.36	4.34	4.60	4.09
Daily nutrient requirements				
DM intake, (kg)	12.40	12.12	14.12	14.72
% BW	2.95	2.91	3.11	3.45
TDN, (kg)	8.42	8.08	9.94	10.37
CP, (kg)	1.94	2.20	1.85	2.35
ADF, (%)	22.47	23.96	19.98	20.02
Feed provided, kg/d (as fed basis)				
Silage, (kg fresh)	28.00	29.00	28.00	28.00
Soybean meal	2.50	3.30	1.80	3.00
Ground corn	5.00	3.60	7.70	7.10
Roughage :Concentrate ratio	45:55	48:52	40:60	38:62

ผลต่อปริมาณอาหารที่สัตว์กินและโภชนะที่ได้รับ

โดยทั่วไปแล้วจะเห็นได้ว่าสัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้นจะลดลงมากกว่าการทดลองในครั้งที่ 1 หรือต้องใช้อาหารข้นมากกว่า เนื่องจากโคต้องการโภชนะมากกว่าดังได้กล่าวมาแล้ว แต่ทั้งนี้ปริมาณโภชนะที่สัตว์ได้รับในแต่ละวันมีความใกล้เคียงกับที่กำหนดให้ (ตารางที่ 4.22)

ผลต่อการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว

ผลการทดลองใน ครั้งที่ 2 พบว่า ทั้งระดับของพลังงานและโปรตีนไม่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันของโค (ตารางที่ 4.23) อีกทั้งไม่พบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างระดับของพลังงานและโปรตีนต่อลักษณะดังกล่าว ซึ่งข้อมูลของการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวของโคทดลองครั้งนี้ ก็มีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\pm$ SD) และค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปร (%CV) สูงเช่นเดียวกับการทดลองใน ครั้งที่ 1

Table 4.22 Feed and nutrient intake of dairy cows receiving 1.0 or 1.2 of energy and protein level as recommended by NRC (1988) (trial 2).

Feed	kg fresh	kg DM	OM	CP	EE	CF	NFE	NDF	ADF	TDN
T 1 (E:P, 1.0:1.0)										
Silage	28.00	7.42	6.79	0.48	0.11	2.30	3.91	4.77	3.07	3.47
Soybean	2.80	2.52	2.35	1.14	0.02	0.24	0.96	0.44	0.31	2.02
Corn	4.00	3.57	3.45	0.30	0.14	0.15	2.87	0.52	0.18	3.03
R:C = 55: 45	Total, kg	13.51	12.59	1.92	0.27	2.68	7.73	5.73	3.56	8.52
% in ration		100.00	93.23	14.19	1.98	19.85	57.21	42.42	26.33	63.04
T 2 (E:P, 1.0:1.2)										
Silage	28.00	7.42	6.79	0.48	0.11	2.30	3.91	4.77	3.07	3.47
Soybean	3.70	3.33	3.11	1.50	0.03	0.31	1.26	0.58	0.41	2.67
Corn	2.50	2.23	2.16	0.19	0.09	0.09	1.79	0.32	0.11	1.89
R:C = 57: 43	Total, kg	12.98	12.06	2.17	0.22	2.70	6.96	5.68	3.59	8.03
% in ration		100.00	92.85	16.72	1.71	20.82	53.61	43.72	27.67	61.84
T 3 (E:P, 1.2:1.0)										
Silage	26.00	6.89	6.31	0.45	0.10	2.13	3.63	4.43	2.85	3.22
Soybean	2.20	1.98	1.85	0.89	0.02	0.19	0.75	0.34	0.25	1.58
Corn	6.80	6.06	5.87	0.51	0.24	0.25	4.87	0.88	0.30	5.15
R:C = 46: 54	Total, kg	14.93	14.02	1.85	0.35	2.57	9.25	5.66	3.39	9.96
% in ration		100.00	93.90	12.37	2.38	17.20	61.95	37.89	22.72	66.68
T 4 (E:P, 1.2:1.2)										
Silage	24.00	6.36	5.82	0.41	0.09	1.97	3.35	4.09	2.63	2.97
Soybean	3.50	3.15	2.94	1.42	0.03	0.30	1.19	0.55	0.39	2.52
Corn	6.50	5.79	5.61	0.48	0.23	0.24	4.66	0.84	0.29	4.92
R:C = 42: 58	Total, kg	15.31	14.37	2.32	0.35	2.50	9.20	5.48	3.31	10.42
% in ration		100.00	93.88	15.15	2.26	16.35	60.11	35.81	21.60	68.07

ผลต่อปริมาณน้ำนมและส่วนประกอบทางเคมีในน้ำนม

จากผลการทดลองพบว่า ทั้งระดับพลังงานและระดับโปรตีนที่โคได้รับไม่มีอิทธิพลต่อผลผลิตน้ำนม และปริมาณนม 4%FCM และส่วนประกอบทางเคมีในน้ำนม รวมทั้งผลผลิตของส่วนประกอบต่างๆ ในน้ำนม ดังแสดงในตารางที่ 4.23 อย่างไรก็ตามพบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างระดับของพลังงานและโปรตีน ($P < 0.01$) ต่อผลผลิตน้ำนม ผลผลิตน้ำตาลแลคโตส และผลผลิตของส่วนของแข็งไม่รวมมันเนย ($P < 0.05$) ทั้งนี้พบว่า การตอบสนองต่อการเพิ่มระดับโปรตีนจะเป็นไปในทิศทางที่แตกต่างกันระหว่างโคกลุ่มที่ได้รับพลังงานต่ำและกลุ่มที่ได้รับพลังงานสูงกล่าวคือ โคกลุ่มที่ได้รับพลังงานระดับต่ำเมื่อได้รับโปรตีนระดับสูงขึ้นจะทำให้การผลิตน้ำนมลดลง ในทางตรงกันข้าม โคกลุ่มที่ได้รับพลังงานระดับสูงเมื่อได้รับโปรตีนสูงขึ้นจะทำให้การผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่ง

ผลการตอบสนองของผลผลิตน้ำนมและผลผลิตของส่วนของแข็งไม่รวมไขมันเนย (SNF) ก็เป็นไปในรูปแบบเดียวกันกับการผลิตน้ำนม

Table 4.23 Body weight change, milk yield, milk composition and milk constituent yield of dairy cows receiving 1.0 or 1.2 of energy or protein level as recommended by NRC (1988) (trial 2).

Treatment	Energy (E)	TDN 1.0				TDN 1.2				Significant level			CV
	Protein (P)	CP 1.0		CP 1.2		CP 1.0		CP 1.2					
	(T 1)	(T 2)	(T 3)	(T 4)	E	P	E*P	(%)					
Number of cows	4		4		4		4						
Body wt change (kg)		<i>±SD</i>		<i>±SD</i>		<i>±SD</i>		<i>±SD</i>					
Initial weight	414	28	405	67	446	96	424	32					
Final weight	428	23	429	65	462	89	430	38					
Weight gain	14	11	24	4	16	10	6	12					
Daily gain	0.51	0.38	0.86	0.15	0.60	0.37	0.21	0.44	ns	ns	ns	75.5	
Milk yield, kg/d													
Milk Yield	12.79	2.53	12.19	1.57	11.60	2.11	13.15	2.62	ns	ns	**	4.3	
4 %FCM	14.03	2.11	13.32	0.96	13.18	1.91	13.53	2.85	ns	ns	ns	7.8	
Milk Composition, %													
- Fat	4.71	0.62	4.67	0.49	4.96	0.74	4.20	0.11	ns	ns	ns	11.2	
- Protein	3.65	0.44	3.63	0.18	3.73	0.38	3.34	0.35	ns	ns	ns	10.5	
- Lactose	4.83	0.46	4.93	0.34	4.73	0.37	5.02	0.35	ns	ns	ns	5.9	
- Solid-not fat	9.21	0.21	9.30	0.24	9.24	0.60	9.07	0.40	ns	ns	ns	4.3	
Milk Constituent, (kg/d)													
- Fat	0.60	0.09	0.56	0.03	0.57	0.09	0.55	0.12	ns	ns	ns	11.5	
- Protein	0.46	0.06	0.44	0.06	0.43	0.03	0.44	0.08	ns	ns	ns	7.9	
- Lactose	0.62	0.15	0.60	0.10	0.55	0.08	0.67	0.18	ns	ns	*	9.0	
- Solid-not fat	1.18	0.21	1.14	0.17	1.06	0.13	1.20	0.27	ns	ns	*	5.7	

ns = non significant, * = (P<0.05), ** = (P<0.01), CV = coefficient of variation

(3) ผลการทดลองย่อยที่ 2 (trial 3)

ผลการคำนวณอาหารทดลอง

โคที่ใช้ในงานทดลองครั้งนี้มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักตัว ผลผลิตน้ำนม และเปอร์เซ็นต์ไขมันนม ใกล้เคียงกัน ดังข้อมูลในตารางที่ 4.24 โคกลุ่มที่กำหนดให้ได้รับพลังงานและโปรตีนตามคำแนะนำของ NRC (1988) ได้รับพลังงาน TDN และโปรตีน (CP) เฉลี่ยเท่ากับ 9.34 และ 2.01 กก./ตัว/วัน ตามลำดับ สำหรับโคกลุ่มที่ 2 ซึ่งลดระดับพลังงานลงมาเหลือ 90 เปอร์เซ็นต์ ของกลุ่มแรกได้รับพลังงาน TDN 8.44 กก./ตัว/วัน ส่วนโปรตีนได้รับในปริมาณที่ใกล้เคียง สัดส่วนระหว่างอาหารหยาดต่ออาหารข้นก็ไม่แตกต่างกันมากนักระหว่างโคทั้งสองกลุ่ม

Table 4.24 Feed formulation and daily nutrient requirement determination of dairy cows receiving 1.0 or 0.9 of energy level as recommended by NRC (1988) (trial 3).

Total digestible nutrient	TDN 1.0		TDN 0.9		
	Crude Protein	CP 1.0		CP 1.0	
		T 1	± SD	T 2	± SD
Cows information					
Cows number	6		6		
Cows weight, (kg)	445	9	471	5	
Milk yield, (kg/d)	13.59	0.58	13.15	0.35	
Milk fat, (%)	4.91	0.12	4.84	0.08	
Daily nutrient intake					
DM intake	13.63	0.26	12.69	0.16	
% BW	3.06	0.04	2.69	0.09	
TDN, (kg)	9.34	0.22	8.44	0.12	
CP, (kg)	2.01	0.04	1.97	0.03	
ADF, (%)	21.95	0.31	23.58	0.19	
Feed provided, kg/d (as fed basis)					
Silage	30.00	0.00	30.50	0.19	
Soybean meal	2.38	0.05	2.55	0.06	
Ground corn	6.09	0.25	4.62	0.10	
Roughage : Concentrate Ratio	44:56		49:51		

ผลต่อปริมาณอาหารที่สัตว์กินและโภชนะที่ได้รับ

มีการปรับสัดส่วนวัตถุดิบของอาหารทดลองเล็กน้อยเหมือนเช่นการทดลองที่ผ่านมา แต่ทั้งนี้ยังคงให้โคได้รับโภชนะที่สำคัญได้แก่ พลังงาน TDN โปรตีน และเยื่อใย ADF ใกล้เคียงกับที่กำหนดให้มากที่สุด ปริมาณอาหารที่โคกิน และโภชนะที่ได้รับในแต่ละวัน แสดงไว้ในตารางที่ 4.25

ผลต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำนม น้ำหนักตัว ผลผลิตน้ำนม และส่วนประกอบในน้ำนม

ผลการทดลองจากข้อมูลในตารางที่ 4.26 แสดงให้เห็นว่า เมื่อลดระดับพลังงานในอาหารลงเหลือ 90 เปอร์เซ็นต์ ของความต้องการพบว่า ไม่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันของโค ($P>0.05$) แต่ทำให้ผลผลิตน้ำนมทั้งปริมาณนมที่ผลิตได้จริง และปริมาณนมที่ปรับค่าไขมันนมที่ 4 เปอร์เซ็นต์ ลดลง ($P<0.05$) สำหรับส่วนประกอบทางเคมีในน้ำนมพบว่า เปอร์เซ็นต์ไขมันนมไม่มีความแตกต่างกัน การลดระดับพลังงานในอาหารทำให้ เปอร์เซ็นต์โปรตีนในนมเพิ่มขึ้น ในขณะที่เปอร์เซ็นต์น้ำตาลแลคโตส และเปอร์เซ็นต์ของแข็งไม่รวมไขมันนมลดลง เมื่อนำไปคำนวณปริมาณผลผลิตของส่วนประกอบทางเคมีในน้ำนม (milk constituent yield) พบว่า โคกลุ่มที่ได้รับ

โภชนาตามคำแนะนำของ NRC (1988) ให้ผลผลิตในส่วนดังกล่าวมากกว่า ($P < 0.05$) โกลกลุ่มที่ลดระดับพลังงานในอาหารลงเหลือ 90 เปอร์เซ็นต์

Table 4.25 Feed and nutrients intake (kg/d) of dairy cows receiving 1.0 or 0.9 of energy level as recommended by NRC (1988) (trial 3).

Feed	fresh	DM	OM	CP	EE	CF	NFE	NDF	ADF	TDN
T 1 (E:P, 1.0:1.0)										
Silage	30.00	7.95	7.28	0.52	0.11	2.46	4.18	5.12	3.29	3.72
Soybean	2.80	2.52	2.35	1.14	0.02	0.24	0.96	0.44	0.31	2.02
Corn	4.80	4.28	4.14	0.36	0.17	0.18	3.44	0.62	0.21	3.64
R:C = 54:46 Total, kg	14.75	13.77	2.01	0.30	2.87	8.58	6.18	3.81	9.37	
% in ration	100.00	93.34	13.63	2.06	19.49	58.17	41.86	25.84	63.52	
T 2 (E:P, 0.9:1.0)										
Silage	30.00	7.95	7.28	0.52	0.11	2.46	4.18	5.12	3.29	3.72
Soybean	3.00	2.70	2.52	1.22	0.02	0.25	0.23	0.47	0.34	2.16
Corn	3.30	2.94	2.85	0.25	0.12	0.12	1.71	0.43	0.14	2.50
R:C = 58:42 Total, kg	13.60	12.64	1.98	0.25	2.84	6.13	6.01	3.77	8.38	
% in ration	100.00	92.99	14.56	1.86	20.87	45.07	44.22	27.72	61.63	

Table 4.26 Body weight change, milk yield and milk composition of dairy cows receiving 1.0 or 0.9 of energy level as recommended by NRC (1988) (trial 3).

Total digestible nutrient		TDN 1.0		TDN 0.9		
Crude Protein		CP 1.0		CP 1.0		
Treatment	(T1)	$\pm SD$	(T2)	$\pm SD$	%CV	
Body weight, (kg)						
Initial wt., (kg)	442	31.3	466	80.8		
Final wt., (kg)	458	36.8	482	82.7		
Gain/Loss, (kg)	16	11.7	10.17	5.08		
Average daily gain, (kg/d)	0.57 a	0.42	0.36 a	0.18		79.32
Milk yield, (kg/d)						
Milk yield	12.87 a	1.50	11.94 b	2.60		6.03
4% Fat corrected milk	14.69 a	1.92	13.29 b	1.92		5.92
Milk composition, (%)						
- fat	4.95 a	0.52	4.89 a	0.74		3.68
- protein	3.58 b	0.36	3.72 a	0.25		2.32
- lactose	5.13 a	0.13	4.87 b	0.25		1.69
- Solid not fat	9.43 a	0.31	9.34 b	0.28		1.06
Milk constituent yield, kg/d						
- fat	0.64 a	0.10	0.57 b	0.06		6.29
- protein	0.49 a	0.04	0.44 b	0.07		6.58
- lactose	0.66 a	0.08	0.58 b	0.14		6.68
- Solid not fat	1.21 a	0.12	1.11 b	0.23		6.30

In a row, means followed by a common letter are not significantly different by F test

4.5.3 สรุปผลงานทดลองการตอบสนองต่อระดับพลังงานและโปรตีนในโคนม

การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว แม้ว่าในการทดลอง trial 1 พบว่า โคนมกลุ่มที่กินอาหารพลังงานระดับต่ำ (LE) มีการเพิ่มน้ำหนักตัวต่อวันที่สูงกว่าโคกลุ่มที่กินอาหารพลังงานระดับสูง (HE) แต่ในการทดลองของ trial 2 และ trial 3 ไม่พบว่าระดับของพลังงานมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวแต่อย่างใด ทั้ง 3 การทดลอง คำนวณให้โคได้รับอาหารเพื่อการเพิ่มน้ำหนักตัววันละ 0.25 กก. แต่จากผลการทดลองพบว่าโคส่วนใหญ่มีการเพิ่มน้ำหนักตัวมากกว่าที่กำหนด อีกทั้งมีความผันแปรค่อนข้างสูงคือ มีค่าอยู่ในช่วง 0.21-1.2 กก.ต่อวัน และเป็นที่น่าสังเกตว่าโคที่ได้รับทั้งพลังงานและโปรตีนในระดับสูง (HE-HP) มีการเพิ่มน้ำหนักตัวน้อยกว่าโคกลุ่มอื่นทั้งในการทดลอง trial 1 และ trial 2 ทั้งนี้อาจเกิดขึ้นเนื่องจากโคที่ได้รับโปรตีนมากกว่าความต้องการ มีการสูญเสียพลังงานในการขับยูเรียออกทางปัสสาวะ โดยที่ NRC (1988) ประมาณว่า พลังงานที่สูญเสียเนื่องจากขบวนการ deamination ของยูเรีย หรือวัฏจักรยูเรีย (urea cycle) ในกรณีที่โคที่ได้รับโปรตีนมากกว่าความต้องการ มีค่าเท่ากับ 30 kJ ต่อโปรตีนส่วนเกิน 1 กรัม นอกจากนั้นโคที่ได้รับพลังงานลดลงเหลือ 90 เปอร์เซ็นต์ของความต้องการ (trial 3) ก็มีการเพิ่มน้ำหนักตัวน้อยกว่าโคที่ได้รับพลังงานในระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ ด้วยเช่นกัน

โดยธรรมชาติแล้วโคจะสูญเสียน้ำหนักตัวมากในช่วงหลังคลอดใหม่ (0-3 เดือน) หรืออยู่ในช่วงแรกของการให้นม (early lactation) ทั้งนี้เนื่องจากเป็นระยะที่โคผลิตนมได้สูงสุด ประกอบกับการกินอาหารได้น้อยจึงมักจะขาดพลังงานหรือที่เรียกว่าสภาวะการขาดความสมดุลของพลังงาน (negative energy balance) ดังนั้นโคจะดึงพลังงานสำรองที่สะสมในร่างกาย (adipose tissue) มาใช้ส่งผลให้น้ำหนักตัวลดลง สำหรับโคนมที่ใช้ในงานทดลองครั้งนี้ส่วนใหญ่มีอายุที่ยังไม่ถึงวัยโตเต็มที่ ร่างกายยังมีการเจริญเติบโตด้านโครงสร้างอยู่ อีกทั้งโคได้ผ่านช่วงระยะการให้นมสูงสุด (peak of milk production) มาแล้ว โคจะผลิตนมได้น้อยลง ดังนั้นความต้องการพลังงานจึงลดลง (AFRC, 1998) อีกทั้งในระยะนี้โคสามารถกินอาหารได้เพิ่มขึ้น จึงทำให้มีพลังงานส่วนเกินมาใช้ในการเพิ่มน้ำหนักตัวได้อีกครั้ง (body weight regain) จึงอาจทำให้โคมีการเพิ่มน้ำหนักตัวค่อนข้างมาก ตลอดจนอาจเกี่ยวข้องกับปัจจัยทางด้านพันธุกรรมที่กำหนดความสามารถในการนำโภชนาที่ได้รับไปใช้เพื่อการผลิตน้ำนมมีประสิทธิภาพดีกว่าการเพิ่มน้ำหนักตัว (NRC, 1988) อย่างไรก็ตาม การวัดลักษณะการเจริญเติบโตในโครีดนม โดยการชั่งน้ำหนักโคที่ไม่ได้อัดอาหาร อาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้ง่าย เนื่องจากความผันแปรของน้ำหนักอาหารที่อยู่ในระบบทางเดินอาหารซึ่งมีสูงถึง 10-20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ซึ่งสังเกตได้จากค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\pm$ SD) ที่มีค่าสูง และค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปร (%CV) มีค่ามากกว่า 64 เปอร์เซ็นต์ ในทุกการทดลอง นอกจากนั้นงานทดลองครั้งนี้ใช้เวลาเก็บข้อมูลระยะสั้นเพียง 4 สัปดาห์ ซึ่งในการวัดการตอบสนองของการ

เปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวในแม่โครีคนมนั้น Roger (1983) แนะนำว่า การวัดการตอบสนองดังกล่าว ควรดูผลในระยะยาว (long term effect) หรือควรใช้เวลาในการทดลองอย่างน้อย 6-8 สัปดาห์

ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบในน้ำนม จากผลการทดลองในครั้งนี้พบว่า การเพิ่มพลังงาน และ/หรือโปรตีนขึ้นอีก 20 เปอร์เซ็นต์ จากระดับที่แนะนำโดย NRC (1988) ไม่มีผลต่อผลผลิตน้ำนม ในรูป 4%FCM แต่การลดระดับพลังงานลง 10 เปอร์เซ็นต์ หรือเหลือ 90 เปอร์เซ็นต์ จากระดับที่แนะนำโดย NRC (1988) มีผลทำให้ผลผลิตน้ำนมลดลง

องค์ประกอบในน้ำนมจากการทดลองครั้งนี้ ทั้งค่าเปอร์เซ็นต์ไขมัน โปรตีน น้ำตาลแลคโตส และของแข็งไม่รวมมันเนย (SNF) พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง (range) เดียวกับรายงานที่สำรวจในประเทศไทยโดย ประวีร์ และคณะ (2546) ที่ทำการเก็บตัวอย่างน้ำนมโคจากทั่วประเทศกว่า 38,000 ตัวอย่าง พบว่าค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ($\pm$ SD) ขององค์ประกอบในน้ำนมในประเทศไทยมีค่าดังนี้ ไขมัน 3.95 ± 0.75 โปรตีน 3.19 ± 0.30 น้ำตาลแลคโตส 4.51 ± 0.25 และของแข็งไม่รวมมันเนย 8.76 ± 0.52 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้องค์ประกอบในน้ำนมจากงานทดลองครั้งนี้ มีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานขั้นต่ำที่สำนักงานอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุขกำหนดไว้คือ ไขมัน โปรตีน และของแข็งไม่รวมมันเนย ต้องมีไม่น้อยกว่า 3.2, 2.8 และ 8.25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า โภชนะที่โคได้รับในงานทดลองครั้งนี้ มีเพียงพอสำหรับการผลิตองค์ประกอบในน้ำนมให้ได้ในระดับปกติ

สำหรับอิทธิพลของระดับพลังงานและโปรตีนในอาหารต่อองค์ประกอบในน้ำนม จากการทดลองครั้งที่ 1 (trial 1) พบว่า การให้อาหารพลังงานที่ระดับต่ำ (LE) น้ำนมมีเปอร์เซ็นต์น้ำตาลแลคโตสมากกว่าการให้อาหารพลังงานที่ระดับสูง (HE) ส่วนการทดลองครั้งที่ 2 (trial 2) พบว่า การให้อาหารพลังงานที่ระดับสูงร่วมกับโปรตีนระดับต่ำ (HE-LP, T3) ทำให้ผลผลิตน้ำนม น้ำตาลแลคโตส และของแข็งไม่รวมมันเนยลดลง ในทางตรงกันข้าม การให้อาหารทั้งพลังงานและโปรตีนระดับสูง (HE-HP, T4) โคให้ผลผลิตน้ำนม น้ำตาลแลคโตส และของแข็งไม่รวมมันเนยเพิ่มขึ้น ส่วนส่วนการทดลองครั้งที่ 3 (trial 3) ในโคที่ได้รับพลังงานที่ระดับ 90 เปอร์เซ็นต์ของความต้องการ ทำให้การผลิตน้ำนม เปอร์เซ็นต์ และผลผลิตขององค์ประกอบในนม (กก./วัน) ของน้ำตาลแลคโตส และของแข็งไม่รวมมันเนยลดลง และผลจากทั้ง 3 งานทดลอง ไม่พบว่าระดับพลังงานและโปรตีนในอาหารมีผลต่อ เปอร์เซ็นต์ไขมัน และโปรตีนในนม แต่อย่างใด

โดยทั่วไปแล้วการลดสัดส่วนของอาหารหยาบลง หรือการเพิ่มการสัดส่วนของอาหารข้นขึ้น โคจะให้ผลผลิตนม ไขมัน และโปรตีนเพิ่มขึ้น แต่เมื่ออาหารข้นเพิ่มขึ้นเกินกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ การผลิตไขมันจะลดลง (Aldrich *et al.*, 1993; Grant, 2000; Kennelly, 2000) ทั้งนี้เนื่องมาจากสารอาหารหลักที่ใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ไขมันในน้ำนมคือ กรดอะซิติก (acetic acid, C2) ซึ่งเป็นกรดไขมันระเหยง่าย (volatile fatty acid, VFAs) ที่ได้จากการหมักย่อยอาหารหยาบโดยจุลินทรีย์ใน

กระเพาะรูเมน NRC (1988) แนะนำว่า เพื่อไม่ให้มีผลกระทบต่อปริมาณไขมันในน้ำมัน ควรให้อาหารหยาบอย่างน้อย 40 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารทั้งหมด หรือควรมีเยื่อใย CF หรือเยื่อใย ADF ไม่น้อยกว่า 17 และ 21 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทั้งนี้เพื่อให้ขบวนการหมักของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนดำเนินไปได้ตามปกติ และรักษาสภาพความเป็นกรดในกระเพาะรูเมนไม่ให้ต่ำเกินไป นอกจากนี้เยื่อใยในอาหารควรมีคุณสมบัติที่มีความเหมาะสมต่อประสิทธิภาพในขบวนการหมักย่อย (effective fiber) ของจุลินทรีย์ โดยควรมีลักษณะเป็นเส้นใยที่ยาว (long form fiber) ซึ่งจะช่วยให้ขบวนการเคี้ยวเอื้อง และการหลั่งน้ำลายเพื่อปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะให้เหมาะสม

จากผลการทดลองทั้ง 3 งานทดลอง (trials) ได้นำมาหาค่าเฉลี่ยและจัดทำเป็นตารางสรุป (ตารางที่ 4.27) โดยนำเอาปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับปริมาณการกินอาหาร ความเข้มข้นของโภชนะในสูตรอาหารรวม ผลผลิตน้ำมัน และองค์ประกอบในนม พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับข้อมูลจากทดลอง (2546) ที่ได้รวบรวมผลงานวิจัยด้านการให้อาหารโคนมในประเทศไทยประมาณ 23 เรื่อง ซึ่งโดยรวมแล้วพบว่าค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดลองครั้งนี้ มีความใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของโคนมในประเทศไทยเป็นอย่างมาก แต่ทั้งนี้การเปรียบเทียบบังคับไม่ได้เป็นการเปรียบเทียบทางสถิติ เนื่องจากเป็นโคทดลองคนละชุด และทำการทดลองคนละช่วงเวลา เพียงแต่ต้องการนำมาแสดงให้เห็นในภาพรวมทั้งหมด ซึ่งพอสรุปสาระสำคัญโดยสังเขปได้ดังนี้

ปริมาณการกินอาหาร จะให้ได้ว่าใน trial 3 ซึ่งได้ลดระดับพลังงานลงเหลือ 90 เปอร์เซ็นต์ ของความต้องการ โคนกินอาหารคิดเป็นประมาณ 87 เปอร์เซ็นต์ และให้ผลผลิตนมต่ำกว่าโคที่ได้รับอาหารระดับปกติประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้นองค์ประกอบต่างๆ ในนมก็ลดลงด้วย ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการกินอาหารกับผลผลิตนมและองค์ประกอบในนม อย่างไรก็ตาม ปริมาณการกินอาหารในงานทดลองครั้งนี้ ไม่ได้เปรียบเทียบผลทางสถิติ เนื่องจากการให้อาหารแบบจำกัด หรือให้โคนกินตามปริมาณที่กำหนด จึงไม่ใช่เป็นการวัดปริมาณการกินได้อย่างอิสระเต็มที่ (*ad libitum* หรือ voluntary feed intake)

สำหรับสัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้น ระดับเยื่อใยหรือคาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้าง (structural carbohydrate, SC) ซึ่งได้แก่เยื่อใย NDF และ ADF และคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้าง (non structural carbohydrate, NFC) ในสูตรอาหารรวม ทดลอง (2546) และ Grant (2000) แนะนำว่า โคที่ให้ผลผลิตน้ำมันสูงหรือมากกว่าวันละ 20 กก. ควรมีสัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้นประมาณ 40:60 มีเยื่อใย NDF 26-30 เปอร์เซ็นต์ ADF 19-21 เปอร์เซ็นต์ และ NFC 40-45 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นระดับที่ใกล้เคียงกับโคกลุ่มที่ได้รับพลังงานระดับสูง ($E = 1.2$) ในงานทดลองครั้งนี้ สำหรับโคนมในประเทศไทยที่โดยเฉลี่ยส่วนใหญ่ให้นมไม่ถึงวันละ 20 กก. ผู้วิจัยมีความเห็นว่า ในสูตรอาหารรวม (complete rations) น่าจะสามารถเพิ่มสัดส่วนของเยื่อใยให้สูงขึ้น รวมทั้งลดสัดส่วนของคาร์โบไฮเดรตพวก NFC ลงได้ หรือใช้ในระดับใกล้เคียงกับโคกลุ่มที่ได้รับพลังงานระดับ

ต่ำจากงานทดลองครั้งนี้ ($E = 1.0$) นั่นคือ ควรมีสัดส่วนของอาหารหยาบประมาณ 55-60 มีเยื่อใย NDF 38-42 เปอร์เซ็นต์ ADF 25-28 เปอร์เซ็นต์ และ NFC 35-40 เปอร์เซ็นต์ สำหรับพลังงาน TDN ควรมีประมาณ 63-65 เปอร์เซ็นต์ หรือพลังงาน ME ที่ 2.2-2.3 Mcal/kg ส่วนระดับโปรตีน (CP) ควรอยู่ที่ 13-14 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ควรมีโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะรูเมนประมาณ 65-70 เปอร์เซ็นต์ เพื่อเป็นแหล่งไนโตรเจนสำหรับจุลินทรีย์ในรูเมน ในการเจริญเติบโต และเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของขบวนการหมักอาหารหยาบในรูเมน ซึ่งระดับโภชนะดังกล่าวน่าจะเป็นระดับที่มีความเหมาะสมกับความต้องการของโคและประหยัดค่าใช้จ่ายด้านอาหาร สำหรับระดับโภชนะที่แนะนำนี้ มีความใกล้เคียงและสอดคล้องกับรายงานของ จลอง (2546) และใกล้เคียงกับค่าที่แนะนำโดย Promma *et al.* (1998) ที่กล่าวว่าโคนมพันธุ์ลูกผสมขาว-ดำ ในประเทศไทยควรได้รับเยื่อใย CF และเยื่อใย ADF ขึ้นต่ำเท่ากับ 22-24 และ 29-30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

จากผลการทดลองในครั้งนี้ เมื่อพิจารณาจากผลผลิตน้ำนมในรูป 4% FCM (เพื่อเปรียบเทียบให้อยู่มาตรฐานเดียวกัน) และ เปอร์เซ็นต์ไขมันในนม (ที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดราคารับซื้อน้ำนมดิบของประเทศไทย) จะเห็นได้ว่า การเพิ่มระดับพลังงานและหรือโปรตีนขึ้นไปอีก 20 เปอร์เซ็นต์ จากค่าที่แนะนำโดย NRC (1988) ไม่มีผลทำให้ผลผลิตน้ำนมในรูป 4% FCM และ เปอร์เซ็นต์ไขมันในนม เปลี่ยนแปลงไป ($P > 0.05$) แต่การลดระดับพลังงานลงต่ำกว่าคำแนะนำ 10 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้ทั้งผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบในน้ำนมหลายอย่างลดลง ดังนั้นจึงพอที่จะสรุปได้ว่า โคนมพันธุ์ลูกผสมขาว-ดำ ในประเทศไทยที่ให้นมระดับปานกลาง (10-15 กก.ต่อวัน) มีความต้องการพลังงานและโปรตีนเท่ากับระดับที่แนะนำโดย NRC (1988) ซึ่งสอดคล้องกับข้อสรุปของ สมคิด และคณะ (2541) และ จลอง (2546)

Table 4.27 Summary of feed intake and milk production from silage feeding trial (3 trials) and average of Thai dairy cows

Energy :	0.9:	1.0:1.0					1.0:1.2			1.2:1.0			1.2:1.2			^{1/}
Trial	3	1	2	3	Av.	1	2	Av.	1	2	Av.	1	2	Av.	co	
Feed intake and nutrient concentration, % DM																
Body wt.,	470	43	42	44	43	39	41	40	39	45	42	39	42	41	38	
DMI,	13.	13.	13.	14.	13.	12.	13.	12.	13.	14.	14.	13.	15.	14.	12.	
DMI, (%)	2.8	3.0	3.2	3.3	3.1	3.1	3.1	3.1	3.4	3.2	3.3	3.4	3.5	3.5	3.2	
Roughage	58	57	55	54	55	61	57	59	51	49	50	45	42	44	46	
	42	43	45	46	45	39	43	41	49	51	50	55	58	57	54	
CP	14.	13.	14.	13.	13.	16.	16.	16.	12.	12.	12.	15.	15.	15.	13.	
NDF	44.	43.	42.	41.	42.	45.	43.	44.	40.	37.	39.	37.	35.	36.	51	
ADF	27.	26.	26.	25.	26.	28.	27.	28.	24.	22.	23.	22.	21.	22.	-	
NFC	32.	34.	34.	35.	35.	29.	30.	29.	39.	41.	40.	38.	40.	39.	-	
TDN	61.	62.	63.	63.	63.	60.	61.	61.	64.	66.	65.	66.	68.	67.	63.	
^{2/} ME,	2.2	2.2	2.2	2.3	2.2	2.1	2.2	2.2	2.3	2.4	2.3	2.4	2.4	2.4	2.3	
Milk yield and milk composition																
Milk yield,	11.	11.	12.	12.	12.	11.	12.	11.	11.	11.	11.	9.8	13.	11.	10.	
4% FCM,	13.	11.	14.	14.	13.	11.	13.	12.	11.	13.	12.	10.	13.	12.	10.	
% Fat	4.8	4.0	4.7	4.9	4.5	4.3	4.6	4.4	4.0	4.9	4.5	4.4	4.2	4.3	3.8	
% Protein	3.7	3.3	3.6	3.5	3.5	3.4	3.6	3.5	3.4	3.7	3.6	3.6	3.3	3.4	3.3	
% Lactose	4.8	5.1	4.8	5.1	5.0	4.8	4.9	4.8	4.7	4.7	4.7	4.4	5.0	4.7	4.4	
% Solid	9.3	9.1	9.2	9.4	9.2	9.0	9.3	9.1	8.9	9.2	9.1	8.9	9.0	8.9	12.	
Protein : Fat	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7	0.8	0.7	0.7	0.8	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	

^{1/} คัดแปลงจาก นิลอง (2546), ^{2/} ME = (0.04409 x %TDN) x 0.82, from NRC (1988), * = Total solid, Av. =

Average

4.6 อภิปรายผลทั่วไป

เนื้อหาในบทนี้จะเป็นการประมวลผลการวิจัยจากทุกงานทดลอง ซึ่งประกอบด้วย การศึกษาคุณค่าทางโภชนาการจากการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี การนำไปทดสอบหาปริมาณการกินได้และการย่อยได้ในตัวสัตว์ (*in vivo*) การทดสอบการย่อยได้ในถุงไนลอน (*in situ* หรือ *in sacco* nylon bag) การประเมินค่าการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุและค่าพลังงาน ME ด้วยวิธีการผลิตก๊าซ (*in vitro* gas production) ตลอดจนการตอบสนองต่อระดับพลังงานและโปรตีนในโคนม วิธีการื่อนำผลการทดลองดังกล่าวข้างต้นมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กัน โดยการเปรียบเทียบผลจากวิธีต่างๆ เช่น ในรูปของเปอร์เซ็นต์ (relative percentage) และวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของตัวแปรต่างๆ ด้วยวิธีรีเกรสชันเส้นตรง (linear regression) เพื่อสร้างสมการทำนายคุณค่าทางอาหาร จากนั้นสรุปเป็นคำแนะนำและข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ ทั้งในแง่ของเกษตรกรที่จะนำไปใช้เลี้ยงโคนม ตลอดจนนักวิชาการที่ต้องการนำข้อมูลไปใช้ในการศึกษาวิจัยในโอกาสต่อไป

4.6.1 ความเที่ยงตรงของการทดลอง

เมื่อพิจารณาถึงความเที่ยงตรง (precision) ของการทดลอง ทั้งในงานทดลองที่หาปริมาณการกินได้และการย่อยได้ในหญ้าแห้ง 4 ชนิด และงานทดลองที่หาการย่อยได้ของกากถั่วเหลือง รวมทั้งงานทดลองที่หาปริมาณการกินได้และการย่อยได้ในหญ้าหมัก และการตอบสนองในโคนม โดยดูจากค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของการทดลอง (coefficient of variation, %CV) ซึ่ง Stokoe (1983) แนะนำว่า งานทดลองในโคนมควรมีค่า CV ไม่เกิน 12 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตาม ในบางกรณีค่า CV ที่ 20 เปอร์เซ็นต์ ก็สามารถยอมรับได้ สำหรับงานทดลองครั้งนี้พบว่าค่า CV ของการย่อยได้ของโภชนาอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำ (2-6 เปอร์เซ็นต์) ยกเว้นค่าการย่อยได้ของไขมัน (DEE) ที่มีค่าค่อนข้างสูง (6-11 เปอร์เซ็นต์) ทั้งนี้เนื่องจากพืชอาหารสัตว์มีไขมันน้อย ถ้าเกิดความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์เพียงเล็กน้อย จะส่งผลถึงการคำนวณค่าการย่อยได้อย่างมาก ในส่วนของปริมาณการกินได้ของอาหารในรูปวัตถุแห้งพบว่า โดยทั่วไปมีค่า CV อยู่ในช่วง 7-12 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นในหญ้ากินนีสีม่วงที่มีค่าสูงกว่าหญ้าชนิดอื่นเล็กน้อย (14-17 เปอร์เซ็นต์) จากข้อมูลดังกล่าว จะเห็นได้ว่าผลการทดลองครั้งนี้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือ และมีความเที่ยงตรงในเกณฑ์ที่น่าพอใจ

4.6.2 การทำนายคุณค่าทางอาหารของหญ้าแห้งโดยใช้ส่วนประกอบทางเคมี

นำข้อมูลผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีและการย่อยได้ของโภชนาต่างๆ จากหญ้าแห้งที่ทำจากหญ้าจาร์ราดิจิต ซึ่งตัดเมื่ออายุ 30, 40, 45 และ 60 วัน มาทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กันและสร้างสมการทำนาย (prediction equation) ค่าปริมาณการกินได้และการย่อยได้ของโภชนาต่างๆ ด้วยวิธีรีเกรสชันเส้นตรง (linear regression) สาเหตุที่เลือกใช้หญ้าจาร์ราดิจิต เนื่องจากเป็นหญ้าเพียงชนิดเดียวที่ไม่มีการเสริมกากถั่วเหลืองเลย ประกอบกับผลจากการวิเคราะห์ทาง

สถิติพบว่า หญ้าต่างชนิดกันและการตัดที่อายุต่างกันมีความแตกต่างกันในส่วนประกอบทางเคมี อีกทั้งยังพบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างชนิดหญ้าและอายุการตัดต่อส่วนประกอบทางเคมีหลายอย่าง ดังนั้นจึงพิจารณาเห็นว่าไม่ควรนำหลายหลายชนิดมาวิเคราะห์เกรสชันร่วมกัน

การวิเคราะห์เกรสชันใช้อายุการตัดหญ้า (age) และส่วนประกอบทางเคมี ได้แก่ DM, Ash, OM, CP, EE, CF, NFE, NDF, ADF และ GE เป็นตัวแปรอิสระ (independent variables, predictors) สำหรับตัวแปรตาม (dependent variables) คือปริมาณการกินได้ (kg DMI, %BW, g/BW^{0.75}) และการย่อยได้ของโภชนะต่างๆ ได้แก่ DM, OM, CP, EE, CF, NFE, NDF, ADF และ DE รวมทั้งพลังงาน TDN การวิเคราะห์เกรสชันโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ SPSS 11.5 (Statistical Package for Social Science, กลัสา 2546) เทคนิคที่ใช้คัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการทำนาย (fitted model) มี 4 วิธี ประกอบด้วยวิธี enter, stepwise, backward และ forward ผลการวิเคราะห์และสมการทำนายที่ได้ ดังแสดงในตารางผนวกที่ 4A ซึ่งจากข้อมูลในตารางพบว่า ในการทำนายค่าอย่างใดอย่างหนึ่ง สมการที่ได้จากเทคนิคต่างๆ ที่ใช้คัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการ มีทั้งที่ได้สมการที่ซ้ำกันและแตกต่างกัน หรือบางเทคนิคมีสมการทำนายมากกว่า 1 สมการ (model 1, 2, 3) โดยมีผลการวิเคราะห์ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ปริมาณการกินได้ พบว่าสมการทำนายปริมาณการกินได้ในรูป g/BW^{0.75} มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับแล้ว (coefficient of determination, adjusted R² หรือ R²a) สูงกว่าปริมาณการกินได้ในรูป kg DMI และ %BW (ตารางผนวกที่ 4) ซึ่งพบว่าเทคนิค stepwise และ forward เลือกตัวแปร Ash อย่างเดียวเข้าสมการ และให้ค่า R²a เท่ากันคือ 0.719 โดยมีค่าคลาดเคลื่อนของค่าทำนาย (standard error of estimation) เท่ากับ 6.87 เมื่อพิจารณาถึงส่วนประกอบทางเคมีหรือตัวแปรที่ถูกเลือกมาใช้ในสมการต่างๆ มากที่สุดคือ ค่า EE, ADF และพลังงานทั้งหมด (Mcal GE) ซึ่งพบอยู่ในหลายสมการ

คำแนะนำในการนำสมการไปใช้งานคือ ควรเลือกใช้สมการที่มีค่า R²a สูง ยังมีค่าสูงมากหรือใกล้เคียงกับ 1 มากเท่าใด หมายความว่าตัวแปรอิสระที่ถูกเลือกเข้ามาในสมการทำนายมีอิทธิพลต่อตัวแปรตามหรือค่าทำนายมาก หากแบ่งค่า R²a ออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ต่ำกว่า 0.5 ได้แก่ สมการทำนายค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบแห้ง (DMD), อินทรีย์วัตถุ (OMD) เชื้อใย CF, NFE, เชื้อใย ADF, พลังงาน (DE) และพลังงาน TDN สำหรับสมการทำนายที่มีค่า R²a สูงกว่า 0.5 ได้แก่ การย่อยได้ของโปรตีน (CP), ไขมัน (EE) และ เชื้อใย NDF

ในกรณีที่สมการทำนายอย่างใดอย่างหนึ่งที่มีหลายสมการให้เลือก ควรเลือกใช้สมการที่มีค่า R²a ที่สูงกว่า หรือมีจำนวนตัวแปรอิสระน้อยกว่า รวมทั้งคำนึงถึงความง่ายและค่าใช้ง่ายในการได้มาของค่าตัวแปรอิสระแต่ละค่าด้วย เช่น การใช้ค่า Ash ในการทำนายปริมาณการกินได้ในรูป g/BW^{0.75} เนื่องจากการหาค่า Ash เพียงแค่ นำตัวอย่างไปเผาให้ได้ถ้ำ ซึ่งใช้เวลาเพียง 5-6 ชั่วโมง และ

ไม่ต้องใช้สารเคมีในการวิเคราะห์ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม สมการทำนายค่าการย่อยได้ที่สำคัญซึ่งมักนำมาใช้เป็นตัวชี้บ่งหรือประเมินคุณภาพของอาหาร ได้แก่ การย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรีย์วัตถุ และพลังงาน TDN จากสมการที่ได้ในงานทดลองนี้มีค่า R^2a ก่อนข้างต่ำ (0.3-0.4) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมีข้อจำกัดคือ จำนวนข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์มีค่อนข้างน้อย ($n = 16$) โดยค่าการย่อยได้ของหญ้าแต่ละอายุมาจากสัตว์ทดลองเพียง 4 ตัวเท่านั้น ทำให้ไม่สามารถตัดค่าที่ผิดปกติมาก (outlier) ออกไปได้ จึงอาจทำให้ค่า R^2a ไม่สูงเท่าที่ควร รวมทั้งทำให้ค่าคลาดเคลื่อนของค่าทำนายสูงขึ้นอีกด้วย

สมการทำนายที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้จัดว่าเป็นสมการประเภทที่เรียกว่า empirical model หรือเป็นสมการที่ได้จากงานทดลองวิจัย ซึ่งเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ (mathematic model) ค่าที่อยู่ในสมการไม่ได้มีความหมายในทางชีววิทยา (biological meaning) แต่อย่างใด Poppi *et al.* (2000) แนะนำว่า สมการประเภทนี้มีข้อจำกัดในการใช้งานคือ สามารถใช้ได้กับเฉพาะอาหารที่มีลักษณะคล้ายหรือใกล้เคียงอาหารที่ใช้ในการทดลอง เช่น เป็นพืชอาหารชนิดเดียวกัน มีอายุและส่วนประกอบทางเคมีที่ใกล้เคียงกัน เป็นต้น ซึ่งผิดกับสมการประเภท mechanistic model ที่เป็นสมการที่สร้างขึ้นโดยอาศัยข้อมูลความสามารถในการใช้ประโยชน์ได้จริงของโภชนะในร่างกายสัตว์ ดังนั้นจึงเป็นสมการที่ใช้งานได้กว้างขวางกว่าสมการประเภทแรก กล่าวคือสามารถนำไปใช้กับอาหารต่างชนิด หรือต่างสภาพแวดล้อมกันได้ดีกว่า

4.6.3 การเปรียบเทียบผลการทดลองของวิธีการต่างๆ และสมการทำนายจากต่างประเทศ

เมื่อเปรียบเทียบการย่อยได้ของวัตถุแห้ง (%DMD) ที่ได้จากงานทดลองในสัตว์ตัวครั้งนี้ (*In vivo*) กับสมการทำนายการย่อยได้ของวัตถุแห้งคือ $\%DMD = 88.9 - (0.779 \times \%ADF)$ ที่เสนอโดย Harris (2001; available online: www.forages.orst.edu) ดังแสดงในตารางที่ 8.1 พบว่า ค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกันมาก ($97.25 \pm 4.77\%$) แสดงให้เห็นว่า %ADF ในอาหารมีความเหมาะสมที่จะใช้ทำนาย %DMD ได้ดี

อนึ่งจากการนำ %ADF และค่า %DMD ที่ได้จากการทดลองในครั้งนี้มาทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีรีเกรสชัน โดยใช้ค่า %ADF จากหญ้าแห้ง 9 ตัวอย่างจากงานทดลองที่ไม่มีการเสริมกากถั่วเหลือง และค่า %DMD มาจากโคจำนวน 4 ตัวหรือ 4 ซ้ำ (replications, $n = 36$) จากผลการวิเคราะห์พบว่า สมการทำนายค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง (%DMD) ที่ได้มีค่าเท่ากับ

$$\%DMD = 89.936 - (0.761 \times \%ADF); R^2 = 0.232, \text{ Std. of residual} = 2.89$$

จากสมการข้างต้น จะเห็นได้ว่ามีค่าที่ใกล้เคียงกับสมการของ Harris (2001) เป็นอย่างมาก ค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชัน (regression coefficient, หรือค่า b) ที่ได้จากงานทดลองนี้ มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งหมายความว่า ค่า %ADF ที่เพิ่มขึ้น 1 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้การย่อยได้ของวัตถุแห้งในหญ้าแห้งลดลง 0.76 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตาม ค่า R^2 ที่ได้ยังค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ข้อ

มูลที่นำมาใช้ในการคำนวณยังมีจำนวนน้อยเกินไป จึงน่าจะได้มีการทดสอบซ้ำ หรือนำไปวิเคราะห์ข้อมูลร่วมกับงานทดลองอื่นในประเทศไทย ตลอดจนงานทดลองในต่างประเทศที่ทำการศึกษาในพืชอาหารสัตว์เขตร้อน โดยเฉพาะ

การทำนายค่าพลังงานที่ย่อยได้ (digestible energy, DE) จากสมการทำนายของ Harris (2001) คือ $DE = 10.027 + (0.0428 \times \%DMD)$ พบว่า มีค่าสูงกว่าค่าสังเกตที่ได้จากการทดลองในตัวสัตว์ค่อนข้างมาก ($126.82 \pm 6.71\%$) ในขณะที่การทำนายค่าพลังงาน DE โดยใช้สมการของ NRC (1988) คือ $DE = 0.04409 \times \%TDN$ ได้ค่าที่มีความใกล้เคียงกับค่าสังเกตมากกว่า ($98.80 \pm 6.20\%$) สำหรับสมการที่ได้จากงานทดลองครั้งนี้คือ

$$(1) DE = 2.165 + (0.94 \times \%DMD); R^2 = 0.708, \text{Std. of residual} = 2.29 \text{ และ}$$

$$(2) DE = 25.387 + (0.591 \times \%TDN); R^2 = 0.478, \text{Std. of residual} = 3.719$$

จากสมการทำนายค่า DE ดังกล่าวข้างต้นกล่าวได้ว่า ควรเลือกใช้สมการ (1) เนื่องจากมีค่า R^2 ที่สูงกว่า อีกทั้งหากนำสมการที่ (2) ไปใช้งาน ซึ่งมีค่า $\%TDN$ รวมอยู่ด้วยนั้น อาจมีความยุ่งยากในทางปฏิบัติ กล่าวคือ ต้องมีการวัดการย่อยได้ของโภชนะอื่นด้วย (CP, EE, CF และ NFE) จึงจะสามารถคำนวณค่าพลังงาน TDN ได้ เว้นแต่จะนำไปทำนายอาหารที่ทราบค่า TDN แล้ว หลังจากที่ได้ค่าทำนาย DE แล้ว ยังสามารถนำค่า DE นี้ไปทำนายค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (metabolizable energy, ME) ต่อไปได้อีก โดยใช้สมการของ NRC (1988) คือ $ME = 0.82 DE$ หรือ $ME = -0.45 + 1.01 DE$ ซึ่งทั้งสองสมการพบว่า ได้ผลใกล้เคียงกันมาก ($99.96 \pm 1.45\%$) ดังนั้นกล่าวได้ว่า สามารถเลือกใช้สมการใดสมการหนึ่งทำนายค่าพลังงาน ME ก็ได้ (ตารางที่ 4.28)

สำหรับการทำนายค่าพลังงานสุทธิเพื่อการผลิตนม (net energy for lactation, NEL) พบว่าค่าที่ได้อยู่ในช่วง 0.4-0.7 Mcal NEL/kg DM หรือ 1.67-2.93 MJ NEL/kg DM ยกเว้นในหญิงกินนี้สีม่วงอายุ 40 วันมีค่าที่ต่ำกว่าหญิงชนิดอื่นมาก (ตารางที่ 4.28) เนื่องมาจากการย่อยได้ของวัตถุดิบต่ำกว่าหญิงชนิดอื่น ส่วนหญิงที่มีค่า NEL สูงสุดคือ หญิงจาร์ราดิจออายุ 45 วัน มีค่าเท่ากับ 0.73 Mcal NEL/kg DM ซึ่งเป็นระดับที่ให้พลังงานเพียงพอสำหรับการผลิตนมที่มีไขมัน 4 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 1 กก. (NRC, 1988) เมื่อเปรียบเทียบค่าพลังงาน NEL ที่ได้จากสมการทำนายของ NRC พบว่า มีค่าต่ำกว่าค่าทำนายที่เสนอโดย Martens (2001) มาก (ตารางผนวก 1A) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ค่าทำนายการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ (organic matter digestibility, OMD) โดยวิธี *In vitro* cellulase method ของ Martens มีค่าสูงกว่าค่าสังเกตของงานทดลองนี้ จึงส่งผลให้ค่าทำนายพลังงาน NEL สูงตามไปด้วย

Table 4.28 Comparison of DMD and energy concentration between observed and predicted value of grass hays

Grass species & cutting age (d)		<i>In vivo</i>		Predicted	Relative	Observed				Predicted	Relative
		%ADF	DMD, %	DMD ^{1/}	%	Mcal GE	DE, %	Mcal DE	MJ DE	MJ DE ^{2/}	tive %
Jarra	30	37.03	62.21	60.05	96.53	4.133	59.42	2.456	10.275	12.69	123.50
	45	41.49	63.70	56.58	88.82	4.150	62.31	2.586	10.819	12.75	117.88
	60	41.89	58.34	56.27	96.45	4.150	57.06	2.368	9.908	12.52	126.41
Guinea	30	39.35	56.82	58.25	102.51	4.191	56.54	2.370	9.914	12.46	125.67
Ruzi	30	38.45	58.59	58.95	100.61	4.055	60.67	2.460	10.293	12.53	121.77
	45	41.19	58.81	56.81	96.60	4.018	57.19	2.298	9.614	12.54	130.47
Ubon	30	41.45	59.20	56.61	95.63	4.158	58.58	2.436	10.191	12.56	123.25
Jarra	40	41.10	60.83	56.88	93.51	4.061	56.38	2.290	9.580	12.63	131.85
Guinea	40	43.98	52.24	54.64	104.59	4.156	50.15	2.084	8.720	12.26	140.62
Mean		40.66	58.97	57.23	97.25	4.12	57.59	2.37	9.92	12.55	126.82
Std.		2.06	3.30	1.61	4.77	0.06	3.44	0.14	0.59	0.14	6.71

(Equation from www.forages.orst.edu.) DMD ^{1/} = 88.9 - (0.779 * %ADF), DE ^{2/} = 10.027 + (0.0428 * %DMD)

Table 8.1. (cont'd.)

Grass species & cutting age (d)		Observed			DE ^{1/}	Relative	ME ^{2/}	ME ^{3/}	Rel. %	NEM ^{4/}	NEL ^{5/}
		DE, %	DE, Mcal	TDN, %	Mcal	%	Mcal	Mcal	ME ^{2/3/}	Mcal	Mcal
Jarra	30	59.42	2.456	55.80	2.460	99.82	2.014	2.030	100.82	1.181	0.618
	45	62.31	2.586	57.70	2.544	101.65	2.120	2.162	101.95	1.303	0.730
	60	57.06	2.368	53.54	2.361	100.31	1.942	1.942	100.00	1.097	0.540
Guinea	30	56.54	2.370	55.84	2.462	96.25	1.943	1.943	100.01	1.098	0.542
Ruzi	30	60.67	2.460	50.57	2.230	110.34	2.017	2.035	100.86	1.185	0.622
	45	57.19	2.298	51.20	2.257	101.79	1.884	1.871	99.29	1.029	0.478
Ubon	30	58.58	2.436	56.10	2.473	98.48	1.997	2.010	100.64	1.162	0.600
Jarra	40	56.38	2.290	58.28	2.570	89.10	1.877	1.862	99.20	1.021	0.470
Guinea	40	50.15	2.084	51.67	2.278	91.49	1.709	1.655	96.84	0.817	0.279
Mean		57.59	2.37	54.52	2.40	98.80	1.94	1.95	99.96	1.10	0.54
Std.		3.44	0.14	2.87	0.13	6.20	0.12	0.14	1.45	0.14	0.13

Prediction equation from NRC (1988)

$$^{1/} \text{DE} = 0.04409 \times \text{TDN} (\%), ^{2/} \text{ME} = 0.82 \text{ DE}, ^{3/} \text{ME} = -0.45 + 1.01 \text{ DE}$$

$$^{4/} \text{NEM} = -1.12 + 1.37 \text{ ME} - 0.138 \text{ ME}^2 + 0.0105 \text{ ME}^3,$$

$$^{5/} \text{NEL} = -1.65 + 1.42 \text{ ME} - 0.174 \text{ ME}^2 + 0.0122 \text{ ME}^3$$

4.6.4 คำแนะนำในการประกอบสูตรอาหารโคนม

จากผลการศึกษาคุณค่าทางอาหารของหญ้าแห้งและหญ้าหมักในครั้งนี พืชที่จะสรุปนำมาจัดทำเป็นคำแนะนำ ในการนำไปใช้ประกอบสูตรอาหารโคนมอย่างง่าย โดยประยุกต์ร่วมกับคำแนะนำจาก NRC (1988) ได้ดังนี้

ยกตัวอย่าง ต้องการประกอบสูตรอาหารสำหรับเลี้ยงโคนม 2 ตัว โดยเป็นโคที่โตเต็มที่ (mature cow) แล้ว มีน้ำหนักตัว 450 กก. อยู่ในระยะช่วงกลางของการรีดนม (mid of lactation) และกำลังตั้งท้อง โดยโคตัวที่ 1 ให้ผลผลิตน้ำนม 9.1 กก.ต่อวัน (20 ปอนด์) มีไขมันในนม 4.0 เปอร์เซนต์ และโคตัวที่ 2 มีลักษณะที่เหมือนกัน แต่ให้ผลผลิตน้ำนมมากกว่าคือ 13.6 กก.ต่อวัน (30 ปอนด์) จากคำแนะนำของ NRC (1988) พบว่า โคทั้งสองตัวมีความต้องการอาหารและโภชนะต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.29 (ดูรายละเอียดเพิ่มเติมประกอบได้ในตารางผนวกที่ 5 และ 6)

ตารางที่ 4.29 ความต้องการโภชนะเพื่อการดำรงชีพ การตั้งท้อง และเพื่อการผลิตนมที่ระดับไขมันนม 4 เปอร์เซนต์ ของโคนมโตเต็มที่ น้ำหนักตัว 450 กก.

ผลผลิตนม กก./วัน	พลังงาน				โปรตีน	แร่ธาตุ	
	NE	ME	DE	TDN	CP	Ca	P
	Mcal	Mcal	Mcal	kg	kg	g	g
ความต้องการโภชนะเพื่อการดำรงชีพ และการตั้งท้อง (1)							
	7.86	13.20	15.17	3.44	0.35	18.6	13.2
ความต้องการโภชนะเพื่อการผลิตนม (2)							
โคตัวที่ 1 (9.1 กก./วัน)	6.61	11.22	12.82	6.45	1.80	64.1	40.1
รวม (1+2)	14.47	24.42	27.99	9.89	2.15	82.7	53.3
ปริมาณการกินอาหาร 14.1 กก./วัน (3.1% BW)							
% โภชนะในอาหารรวม	1.03	1.73	1.99	70.1	15.2	0.6	0.4
ความต้องการโภชนะเพื่อการผลิตนม (3)							
โคตัวที่ 2 (13.6 กก./วัน)	9.88	16.76	19.16	9.64	2.69	95.8	59.9
รวม (1+3)	17.74	29.96	34.33	13.08	3.04	114.4	73.1
ปริมาณการกินอาหาร 16.3 กก./วัน (3.6% BW)							
% โภชนะในอาหารรวม	1.09	1.83	2.11	73.7	17.1	0.7	0.5

จากคำแนะนำของ NRC (1988) พบว่า โคตัวที่ 1 และ 2 ต้องการกินอาหารในรูปของน้ำหนักแห้ง วันละ 2.5 และ 2.9 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว (%BW) หรือเท่ากับ 11.3 และ 13.1 กก.ต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งถ้าหากนำค่าไปใช้ตามนี้เลย จะเห็นได้ว่าอาหารต้องมีพลังงาน TDN ประมาณ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีทางที่จะทำได้คือต้องเติมไขมันลงไปในสูตรอาหารเท่านั้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากคำแนะนำของ NRC เหมาะสมสำหรับอาหารในเขตอบอุ่น ที่โดยทั่วไปแล้วอาหารหยาบมีคุณค่าทางอาหารสูงกว่าในเขตร้อนมาก ดังนั้นสำหรับในเขตร้อนควรเพิ่มค่าปริมาณการกินอาหารโคขึ้นไปอีกประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากผลการทดลองในครั้งนี้พบว่า เมื่อลดปริมาณอาหารลง ทำให้โคให้ผลผลิตนมลดลง (trial 3) อีกทั้งโคยังสามารถกินอาหารได้มากกว่า 3% BW ซึ่งเมื่อเพิ่มปริมาณการกินอาหารขึ้นอีก 25 เปอร์เซ็นต์ ดังกล่าว ทำให้ปริมาณการกินอาหารของโคเพิ่มขึ้นเป็น 14.1 และ 16.5 กก.ต่อวัน สำหรับโคตัวที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ทั้งนี้ยังคงให้โคได้รับโภชนาการจำนวนสุทธิต่อวันเท่าเดิม

สำหรับคุณค่าทางอาหารของหญ้าแห้งและหญ้าหมักที่นำมาใช้เป็นตัวอย่างในการประกอบสูตรอาหารนี้คือ ได้จากค่าเฉลี่ยของหญ้าแห้งจากงานทดลองในโคกลุ่มที่ไม่ได้เสริมกากถั่วเหลืองทั้งหมด โดยมีค่าเฉลี่ยอายุการตัดที่ประมาณ 38 วัน ทั้งนี้ได้ตัดค่าจากหญ้ากินนี้สีม่วงในงานทดลองหาการย่อยได้ของกากถั่วเหลืองออกไป เนื่องจากมีค่าการย่อยได้ต่ำกว่าหญ้าชนิดอื่นมาก ส่วนหญ้าหมักได้จากค่าเฉลี่ยจากงานทดลองที่ทดสอบการกินได้และการย่อยได้ ซึ่งหญ้าทั้งสองชนิดดังกล่าวมีค่าเฉลี่ย (%DM) เฉพาะส่วนที่นำมาใช้ประกอบสูตรอาหารดังนี้

	CP	NDF	ADF	TDN	ME, Mcal/kg
หญ้าแห้ง	12.0	67.0	40.0	55.0	1.99
หญ้าหมัก	7.0	64.0	41.0	47.0	1.70

ตัวอย่างกรณีนี้ เป็นการนำหญ้าแห้งไปประกอบสูตรอาหารรวม (complete diet) โดยจัดสัดส่วนอาหารหยาบที่ 20-60 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารรวม เนื่องจากงานวิจัยครั้งนี้ไม่ได้ทำการวิเคราะห์แร่ธาตุ Ca และ P จึงนำเสนอการจัดสัดส่วนของเยื่อใย NDF และ ADF แทน

จากผลการคำนวณ ดังแสดงในตารางที่ 4.30 ในกรณีของโคตัวที่ 1 จะเห็นได้ว่า เมื่อใช้หญ้าแห้งเป็นอาหารหยาบสามารถใช้ได้ในระดับสูง และระดับที่เหมาะสมคือที่ 50 เปอร์เซ็นต์ และต้องใช้ร่วมกับอาหารข้นที่มีพลังงาน TDN 85.7 เปอร์เซ็นต์ (ซึ่งอาหารข้นทั่วไปในประเทศไทยก็มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 75-85 เปอร์เซ็นต์) สำหรับโปรตีนในอาหารข้นเท่ากับ 18.5 เปอร์เซ็นต์ จะสังเกตเห็นได้ว่า เมื่อใช้อาหารหยาบในอัตราที่สูงขึ้น ความเข้มข้นของโภชนาการที่ต้องการในอาหารข้นจะสูงขึ้นตามไปด้วย เพื่อชดเชยจากส่วนที่ขาดไปในอาหารหยาบ ยกเว้นเปอร์เซ็นต์ของเยื่อใย NDF และ ADF ที่มีลักษณะในทางตรงกันข้าม สำหรับการให้หญ้าหมักเป็นอาหารหยาบพบว่า ระดับที่เหมาะสม

สมคือที่ 40 เปอร์เซ็นต์ และต้องใช้ร่วมกับอาหารชั้นที่มีความเข้มข้นของพลังงานและโปรตีนสูงขึ้นอีกเล็กน้อย เมื่อเทียบกับการใช้หญ้าแห้งที่ระดับเดียวกัน

ในกรณีของโคตัวที่ 2 ซึ่งให้ผลผลิตนมเพิ่มขึ้นจาก 9.1 เป็น 13.6 กก.ต่อวัน โคจะมีความต้องการโภชนาการเพิ่มขึ้นอย่างมาก ในการใช้อาหารหยาดชนิดเดียวกันนี้เลี้ยงโคพบว่า มีความยุ่งยากในการประกอบสูตรอาหารมาก จากข้อมูลในตารางที่ 4.30 จะเห็นได้ว่า แม้ลดสัดส่วนของอาหารลงต่ำถึง 20 เปอร์เซ็นต์ ก็ยังคงต้องใช้ร่วมกับอาหารชั้นที่มีพลังงาน TDN สูงถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ในกรณีเช่นนี้คงต้องใช้ไขมันเป็นส่วนผสมประมาณ 5-7 เปอร์เซ็นต์ จึงจะทำให้มีระดับพลังงาน TDN สูงถึงระดับนี้ได้ และเพื่อไม่ต้องลดระดับเชื้อไขลงมากเกินไป จนมีผลกระทบต่อความเป็นกรดที่สูง (acidosis) แต่มีข้อที่ควรระวังคือ การเสริมไขมันในระดับที่สูงเกินไป (มากกว่า 7 เปอร์เซ็นต์) จะขัดขวางขบวนการหมักของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน ทำให้การย่อยได้ของเชื้อไขลดลง และมีปัญหาไขมันนมลดลงตามมาอีก ถ้าหากโคเหล่านี้ได้รับโภชนาการไม่มีเพียงพอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลังงาน โคจะดึงเอาพลังงานที่เก็บสะสมสำรองในร่างกาย เช่น เนื้อเยื่อไขมันที่ได้ผิวหนัง (adipose tissue) มาใช้เพื่อการผลิตนม ทำให้เกิดสภาวะการขาดความสมดุลของพลังงาน (negative energy balance) โคจะสูญเสียน้ำหนักตัวมาก ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพ ผลผลิตนม และสมรรถภาพทางระบบสืบพันธุ์ในที่สุด นอกจากนั้นแล้ว อาจต้องพิจารณาใช้อาหารที่มีความเข้มข้นของโภชนาการสูงมาใช้ร่วมด้วย เช่น โปรตีนที่ผ่านกรรมวิธีป้องกันการถูกย่อยสลายในรูเมน (protected protein หรือ bypass protein) เป็นต้น

นอกจากระดับของพลังงานและโปรตีนแล้ว ผู้ประกอบสูตรอาหารควรพิจารณาถึงระดับขั้นต่ำของเชื้อไข ADF ด้วย ซึ่งควรมีไม่น้อยกว่า 19 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารรวม เพราะถ้าหากเชื้อไขดังกล่าวมีน้อยเกินไป อาจมีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์ไขมันนมและระบบการย่อยอาหารและการเคี้ยวเอื้องของโคได้ ในกรณีที่จำเป็นต้องให้อาหารชั้นในระดับสูง ควรมีการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaCO_3) หรือผงฟูในอัตรา 10 กรัม ต่ออาหารชั้น 1 กก. จะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดความเป็นกรดในกระเพาะรูเมนสูงเกินไป และที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ ควรตรวจสอบปริมาณแร่ธาตุ Ca และ P ตลอดจนวิตามิน เอ และ ดี ให้มีอย่างครบถ้วนเพียงพอด้วยเช่นกัน

จากข้อมูลข้างต้น กล่าวได้ว่า คุณภาพอาหารหยาดโดยเฉลี่ยจากงานทดลองครั้งนี้ มีคุณภาพจัดอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำจนถึงปานกลาง ในการนำมาใช้เลี้ยงโคนมจำเป็นต้องเสริมอาหารชั้นในปริมาณมาก ซึ่งแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า โคนมที่มีขนาดตัวเล็ก รวมทั้งโคที่ให้ผลผลิตน้ำนมมาก และมีเปอร์เซ็นต์ไขมันในนมสูง เป็นโคกลุ่มที่มีความต้องการโภชนาการมาก แต่มีข้อจำกัดคือ โคสามารถกินอาหารได้น้อย การใช้อาหารหยาดคุณภาพต่ำในโคเหล่านี้จะมีความลำบากในการประกอบสูตรอาหาร ในทางตรงกันข้าม ถ้าหากใช้อาหารหยาดคุณภาพดี การประกอบสูตรอาหารจะทำได้ง่ายขึ้น สามารถเพิ่มสัดส่วนของอาหารหยาดได้มากขึ้น หรือลดสัดส่วนของอาหารชั้นลงได้

นอกจากนั้น ยังสามารถลดความเข้มข้นโภชนะ โดยเฉพาะระดับพลังงานและโปรตีนในอาหารชั้นลงได้อีก ดังนั้นเกษตรกรจึงควรตระหนักถึงความสำคัญในการใช้อาหารหยาบคุณภาพดีเลี้ยงโคนม เพื่อเป็นแนวทางที่สำคัญในการเพิ่มผลผลิตน้ำนม และลดต้นทุนการผลิตในด้านค่าอาหารสัตว์

ตารางที่ 4.30 การจัดสัดส่วนอาหารหยาบต่ออาหารข้น และความเข้มข้นของโภชนะในอาหารชั้นเมื่อใช้ร่วมกับอาหารหญ้าแห้งและหญ้าหมัก ที่ระดับต่างๆ

	ชนิดอาหารหยาบ				
	หญ้าแห้ง			หญ้าหมัก	
โคตัวที่ 1 (ให้นม 9.1 กก.ต่อวัน)					
สัดส่วนอาหารหยาบ, (%)	30	40	50	60	40
อาหารหยาบ, (กก.)	4.3	5.7	7.1	8.5	5.7
อาหารข้น, (กก.)	9.8	8.4	7.0	5.6	8.4
ความเข้มข้นของโภชนะที่ต้องการในอาหารข้น					
พลังงาน TDN, (%)	76.9	80.1	85.7	93.3	85.9
พลังงาน ME, (Mcal/kg)	2.78	2.91	3.10	3.37	3.11
โปรตีน, (% CP)	16.7	17.4	18.5	20.1	20.8
เยื่อใย, (% NDF)	28.2	21.7	12.6	*	23.7
เยื่อใย, (%ADF)	18.4	14.8	9.8	2.2	14.1
โคตัวที่ 2 (ให้นม 13.6 กก.ต่อวัน)					
สัดส่วนอาหารหยาบ, (%)	20	30	40	-	20
อาหารหยาบ, (กก.)	3.3	4.9	6.5	-	3.2
อาหารข้น, (กก.)	13	11.4	9.8	-	13.1
ความเข้มข้นของโภชนะที่ต้องการในอาหารข้น					
พลังงาน TDN, (%)	100.3	105.5	112.5	-	102.6
พลังงาน ME, (Mcal/kg)	3.63	3.82	4.07	-	3.71
โปรตีน, (% CP)	23.5	24.9	26.7	-	25.0
เยื่อใย, (% NDF)	20.6	14.0	7.3	-	21.7
เยื่อใย, (%ADF)	13.7	10.0	6.1	-	13.6

หมายเหตุ เยื่อใย NDF กำหนดให้ได้รับ 40 และ 30 เปอร์เซ็นต์ สำหรับเยื่อใย ADF กำหนดให้ได้รับ 25 และ 19 เปอร์เซ็นต์ ของสูตรอาหารรวม ในโคตัวที่ 1 และ 2 ตามลำดับ * หมายถึงได้รับเพียงพอแล้วจากอาหารหยาบ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การประเมินผลที่ได้จากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุประสงค์การวิจัยที่ตั้งไว้ 3 ข้อ คือ

- (1) เพื่อทราบถึงส่วนประกอบทางเคมีและคุณค่าทางอาหารของหญ้าพาสพาลัมอุบล และหญ้าอาหารสัตว์ชนิดอื่นอีก 3 ชนิด ทั้งในรูปหญ้าแห้งและหญ้าหมัก
- (2) เพื่อทราบถึงความสัมพันธ์ของส่วนประกอบทางเคมีและคุณค่าทางอาหารที่มีต่อการตอบสนองการให้ผลผลิตน้ำนม และองค์ประกอบทางเคมีในน้ำนมของโคนมที่ได้รับสูตรอาหารผสมครบถ้วนโดยมีหญ้าพาสพาลัมอุบลเป็นอาหารหลัก
- (3) เพื่อให้ได้สูตรอาหารรวม (complete ration) ที่มีประสิทธิภาพสำหรับโครีดนมที่ให้น้ำนมระดับปานกลางของประเทศไทย

สำหรับวัตถุประสงค์ในข้อที่ 1 พบว่า ได้ผลตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ อย่างไรก็ตาม ยังมีปัญหาบางประการคือ ไม่สามารถคำนวณค่าการย่อยได้ของหญ้าบางชนิดที่ตัดเมื่ออายุ 45 และ/หรือ 60 วัน ที่มีการเสริมกากถั่วเหลือง เนื่องจากเกิดปฏิกริยาร่วม (associative effects) ระหว่างอาหาร ซึ่งผิดไปจากข้อกำหนด (assumption) ของการคำนวณ และการประเมินคุณค่าของอาหารด้วยวิธีการย่อยในถุงไนล่อน และการผลิตก๊าซ ได้ค่าที่ต่ำกว่าค่าสังเกต (underestimate) จากที่ได้จากการทดลองในตัวสัตว์ ซึ่งสรุปได้ดังรายละเอียดในหัวข้อที่ 5.1

ส่วนวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 และ 3 พบว่า ในการประกอบสูตรอาหารสำหรับโครีดนมที่ให้น้ำนมระดับปานกลาง (น้ำนม 10-15 กก. ต่อวัน) ของประเทศไทย มีความต้องการพลังงาน (TDN) โปรตีน (CP) เชื้อใย CF, NDF และ ADF ขึ้นต่ำเท่ากับคำแนะนำจาก NRC (1988) ดังนั้นจึงสามารถใช้ข้อมูลจาก NRC ได้เลย อย่างไรก็ตาม ปริมาณการกินอาหารของโค (dry matter intake, DMI) ที่กำหนดโดย NRC ค่อนข้างต่ำเกินไปสำหรับพืชอาหารสัตว์เขตร้อน จากการศึกษาในครั้งนี้ แนะนำได้ว่าควรเพิ่ม DMI ขึ้นอีก 25 เปอร์เซ็นต์ แต่ปริมาณโภชนะสูตรที่สัตว์ได้รับต่อวันยังคงเท่าเดิมสำหรับการนำส่วนประกอบทางเคมีในอาหารไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับองค์ประกอบทางเคมีในน้ำนม (milk constituent) โดยหาค่าสหสัมพันธ์ (correlation, r) ค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชัน (regression coefficient, b) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination, R^2) พบว่าปัจจัยดังกล่าวข้างต้นมีความสัมพันธ์กันต่ำ และค่าที่ได้ไม่แสดงนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้เนื่องจากตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์มีจำนวนน้อยเกินไป อีกทั้งงานทดลองครั้งนี้ไม่ได้ผันแปรระดับของส่วนประกอบทางเคมีในอาหาร แต่มุ่งเน้นที่การผันแปรระดับพลังงานและโปรตีนในอาหาร เพื่อประเมิน

ถึงความต้องการพลังงานและโปรตีนของโคนม เป็นประเด็นสำคัญ ซึ่งสรุปได้ดังรายละเอียดในหัวข้อที่ 5.2

5.1 คุณค่าทางอาหารของหญ้าแห้ง

จากการศึกษาคุณค่าทางอาหาร (feeding value) ของหญ้าอาหารสัตว์เขตร้อน 4 ชนิด ประกอบด้วย 1) หญ้าจาร์ราดิจิต (Jarra digit grass, *Digitaria milanijiana* cv. Jarra) 2) หญ้ากินนีสีม่วง (Purple guinea grass, *Panicum maximum* cv. Purple) 3) หญ้ารูซี่ (Ruzi grass, *Brachiaria ruzizensis*) และ 4) หญ้าพาสพาลัมอุบล (Ubon paspalum grass, *Paspalum atratum* cv. Ubon) โดยที่หญ้าแต่ละชนิดตัดทำหญ้าแห้งที่อายุต่างกัน 3 ระยะคือ 30, 45 และ 60 วัน นับหลังจากวันตัดครั้งแรกแล้ว (regrowth) ผลการศึกษารวบรวมได้ดังนี้

5.1.1 ส่วนประกอบทางเคมี

ปริมาณโปรตีน (CP) ขึ้นอยู่กับชนิดของหญ้าและอายุการตัด โดยพบว่า หญ้าจาร์ราดิจิต และหญ้ารูซี่ มีโปรตีนสูงกว่า ($P < 0.05$) หญ้ากินนีสีม่วง และหญ้าพาสพาลัมอุบล การตัดหญ้าที่อายุ 30 วันจะมีโปรตีนสูงกว่า ($P < 0.05$) การตัดที่อายุ 45 และ 60 วัน ระดับโปรตีนจะลดลงมากจากช่วงอายุ 30 ไป 45 วัน และหญ้าอายุ 60 วัน โปรตีนจะลดลงเหลือเพียงประมาณครึ่งหนึ่งของหญ้าที่ตัดเมื่ออายุ 30 วัน ค่าเฉลี่ยโปรตีนของหญ้าจาร์ราดิจิต หญ้ากินนีสีม่วง หญ้ารูซี่ และหญ้าพาสพาลัมอุบล จากอายุการตัดทั้ง 3 ครั้งเท่ากับ 11.1, 8.6, 10.8 และ 8.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ปริมาณเยื่อใย CF, ADF และ NDF สำหรับเยื่อใย CF และ ADF พบว่า มีลักษณะคล้ายกันคือ หญ้ากินนีสีม่วงมีเยื่อใยทั้ง 2 ชนิดสูงกว่า ($P < 0.05$) หญ้าชนิดอื่น (CF = 33.5 เปอร์เซ็นต์ และ ADF = 44.2 เปอร์เซ็นต์) หญ้าส่วนใหญ่ปริมาณเยื่อใยจะเพิ่มขึ้นตามอายุที่เพิ่มขึ้น โดยจะเพิ่มขึ้นมากจากช่วงอายุการตัดจาก 30 ไป 45 วัน สำหรับปริมาณเยื่อใย NDF พบว่า หญ้ารูซี่มีปริมาณเยื่อใย NDF สูงกว่า ($P < 0.05$) หญ้าชนิดอื่น โดยมีค่าเฉลี่ยจากอายุการตัดทั้ง 3 ระยะเท่ากับ 71.2 เปอร์เซ็นต์ หญ้าที่ตัดเมื่ออายุ 45 และ 60 วันจะมีปริมาณเยื่อใย NDF สูงกว่าหญ้าอายุ 30 วัน ยกเว้นหญ้าพาสพาลัมอุบลที่มีลักษณะพิเศษเฉพาะคือ ทั้งปริมาณเยื่อใย CF, ADF และ NDF ไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงตามอายุเหมือนในหญ้าชนิดอื่น โดยมีค่าเฉลี่ยของปริมาณเยื่อใยทั้ง 3 ชนิดจากอายุการตัดทั้ง 3 ระยะเท่ากับ 28.6, 41.1 และ 66.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

5.1.2 ปริมาณการกินได้และการย่อยได้ของหญ้าแห้ง

ผลการศึกษาในสัตว์ทดลอง (In vivo digestion trial)

(1) **หญ้าจาร์ราดิจิต** เป็นหญ้าเพียงชนิดเดียวที่ไม่มีการเสริมกากถั่วเลยในทุกอายุการตัด ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง (DMI) รวมทั้งการย่อยได้ของ DM, OM, CF, ADF และ DE ลดลงตามอายุของหญ้าที่เพิ่มขึ้น ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง (DDMI) และอินทรีย์วัตถุส่วนที่ย่อยได้ (DOMI) ของหญ้าที่ตัดเมื่ออายุ 30 และ 45 วันสูงกว่า ($P < 0.05$) หญ้าอายุ 60 วัน ส่วนการย่อยได้ของ

โปรตีน (CP) พบว่าลดลงตามอายุการหญ้าที่เพิ่มขึ้น และพลังงาน TDN มีค่าสูงที่สุดในหญ้าที่ตัดเมื่ออายุ 45 วัน (57.7 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งไม่แตกต่างจากหญ้าที่ตัดเมื่ออายุ 30 วัน (55.8 เปอร์เซ็นต์) แต่สูงกว่าหญ้าที่ตัดเมื่ออายุ 60 วัน (53.5 เปอร์เซ็นต์)

(2) **หญ้านิสีม่วง** มีการเสริมกากถั่วเหลืองในหญ้าที่ตัดเมื่ออายุ 45 และ 60 วัน ปริมาณการกินได้ที่คิดเฉพาะหญ้าแห้ง รวมทั้ง DDMI และ DOMI ของหญ้าที่ตัดเมื่ออายุ 30 จะมากกว่า ($P < 0.05$) หญ้าที่ตัดเมื่ออายุ 60 วัน การเสริมกากถั่วเหลืองจะช่วยปรับปรุงการย่อยได้รวม (ทั้งหญ้าและกากถั่วเหลือง) ของโภชนาการทุกชนิด จนมีผลทำให้ระดับเพิ่มขึ้นมาใกล้เคียงกับหญ้าที่ตัดเมื่ออายุ 30 วัน ซึ่งไม่มีการเสริมกากถั่วเหลือง แต่ทำให้การย่อยได้ของเชื้อใย CF และ NDF ลดลง สำหรับค่าพลังงาน TDN ของหญ้าที่ตัดเมื่ออายุ 30 วัน ไม่แตกต่างจากหญ้าที่ตัดเมื่ออายุ 60 วัน (55.8 และ 52.6 เปอร์เซ็นต์) แต่สูงกว่าหญ้าที่ตัดเมื่ออายุ 45 วัน (50.5 เปอร์เซ็นต์)

(3) **หญ้ารูซี่** มีการเสริมกากถั่วเหลืองเฉพาะในหญ้าที่ตัดเมื่ออายุ 60 วัน ซึ่งมีผลทำให้ปริมาณการกินได้ของ DMI, DDMI และ DOMI สูงขึ้น จนไม่แตกต่าง ($P > 0.05$) กับกลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริมกากถั่วเหลือง นอกจากนั้นยังทำให้การย่อยได้ของโภชนาการทุกชนิด (ยกเว้นเชื้อใย CF) มากกว่า ($P < 0.05$) หญ้าที่ตัดเมื่ออายุ 30 และ 45 วัน ซึ่งไม่มีการเสริมกากถั่วเหลือง รวมทั้งค่าพลังงาน TDN ก็มีลักษณะเช่นเดียวกัน โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 50.6, 51.2 และ 58.6 เปอร์เซ็นต์ ในหญ้าที่ตัดเมื่ออายุ 30, 45 และ 60 วัน ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างโคที่กินหญ้าที่ไม่มีการเสริมกากถั่วเหลืองด้วยกันพบว่า การย่อยได้ของ CP, EE, CF และ DE ของหญ้าที่ตัดเมื่ออายุ 30 วันจะสูงกว่า ($P < 0.05$) หญ้าอายุ 45 วัน

(4) **หญ้าพาสพาลัมบอล** มีการเสริมกากถั่วเหลืองในหญ้าที่ตัดเมื่ออายุ 45 และ 60 วัน เหมือนกับหญ้านิสีม่วง ซึ่งมีผลทำให้ปริมาณการกินได้ของ DMI, DDMI และ DOMI ไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) ในทุกอายุการตัดของหญ้า รวมทั้งการย่อยได้ของ DM, OM, ADF และ DE ก็มีลักษณะเช่นเดียวกัน แต่การย่อยได้ของ CP และ NFE ในโคกลุ่มที่ได้รับการเสริมกากถั่วเหลืองจะมีค่าสูงกว่า ($P < 0.05$) โคกลุ่มที่กินหญ้าอายุ 30 ซึ่งไม่ได้รับการเสริมกากถั่วเหลือง อย่างไรก็ตามพบว่า การเสริมกากถั่วเหลืองมีผลทำให้การย่อยได้ของเชื้อใย CF และ NDF ลดลง เหมือนเช่นในกรณีที่เกิดขึ้นกับหญ้านิสีม่วง สำหรับค่าพลังงาน TDN ของหญ้าที่ตัดเมื่ออายุ 30 วัน ไม่แตกต่างจากหญ้าที่ตัดเมื่ออายุ 45 วัน (56.1 และ 56.7 เปอร์เซ็นต์) แต่ต่ำกว่าหญ้าที่ตัดเมื่ออายุ 60 วัน (59.1 เปอร์เซ็นต์)

5.1.3 ค่าการย่อยได้ของกากถั่วเหลือง

การทดสอบการย่อยได้ของกากถั่วเหลือง เพื่อนำค่าไปหักลบจากค่าการย่อยได้ของหญ้าแห้ง ในกรณีที่มีการเสริมกากถั่วเหลืองของงานทดลองในหญ้าแห้งดังกล่าวข้างต้น ด้วยวิธี by difference method ผลการทดลองพบว่า ค่าคำนวณการย่อยได้ของโภชนาการทุกอย่างในกากถั่วเหลืองมีค่าเกิน 100 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่า การเสริมกากถั่วเหลืองมีผลทำให้การย่อยได้ของโภชนาการในหญ้าแห้งเปลี่ยน

แปลงไปจากกรณีที่ไม่มีการเสริมกากถั่วเหลือง หรือเกิดปฏิกิริยาร่วม (associative effects) ขึ้นระหว่างอาหาร ซึ่งผิดไปจากข้อกำหนดของการคำนวณด้วยวิธี by difference นอกจากนั้น การย่อยได้ของวัตถุแห้งในกากถั่วเหลืองที่ได้จากการคำนวณ โดยวิธี regression ก็พบว่ามีค่าเกิน 100 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงไม่สามารถประมาณค่าการย่อยได้ของหญ้าแห้งที่มีการเสริมกากถั่วเหลืองในการทดลองครั้งนี้ได้

สำหรับการคำนวณหาค่าการย่อยได้ของหญ้าแห้งที่มีการเสริมกากถั่วเหลือง ด้วยวิธี by difference method แต่ใช้ค่าการย่อยได้ของกากถั่วเหลืองเป็นค่าคงที่ (ใช้ค่าจากเอกสารอ้างอิง) แล้วคำนวณย้อนกลับไปหาค่าการย่อยได้ของหญ้าแห้ง หรือเป็นการคำนวณตรงข้ามกับวิธีข้างต้น ซึ่งพบว่า ค่าการย่อยได้ของหญ้าแห้งน่าจะใกล้เคียงความเป็นจริงมากกว่าการคำนวณแบบแรก อย่างไรก็ตาม ยังไม่สามารถแนะนำให้ใช้ในขณะนี้ได้ เนื่องจากยังไม่ทราบค่าที่แท้จริงของการย่อยได้ของกากถั่วเหลืองในประเทศไทย ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาวิจัยในประเด็นนี้เพิ่มเติม

5.1.4 การย่อยสลายของอาหารในกระเพาะรูเมน

จากผลการทดสอบการย่อยอาหารในกระเพาะรูเมน โดยใช้ถุงไนลอน (nylon bag technique) ของหญ้าแห้งทั้ง 4 ชนิด ดังกล่าวข้างต้นพบว่า ค่าศักยภาพการย่อยได้สูงสุด (potential degradability) พบว่า หญ้าที่มีค่าต่ำสุดและสูงสุดคือ หญ้ารูซี่ (75.8 เปอร์เซ็นต์) และหญ้าพาสพาลัมอุบล (86.6 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ โดยส่วนใหญ่แล้วพบว่า หญ้ารูซี่และหญ้างินนิสีม่วงที่ค่าเหล่านี้จะลดลงตามอายุที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่หญ้าพาสพาลัมอุบลและหญ้าจารย์ราดิจิตพบว่ามีค่าการเปลี่ยนแปลงมากนัก

เมื่อนำค่าที่ได้จากงานทดลองนี้ไปแทนค่าในสมการทำนายปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง (DMI) ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง (DDMI) และค่า Index value ตามสมการที่เสนอโดย Shem *et al.* (1995) พบว่า ค่าทำนายปริมาณการกินได้ทั้งค่า DMI และ DDMI ที่ได้จากสมการมีค่าที่ต่ำมาก โดยคิดเป็นเพียง 68 และ 73 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับค่าจริงจากการทดลองในสัตว์ สำหรับค่า Index value ของหญ้าจารย์ราดิจิต หญ้างินนิสีม่วง หญ้ารูซี่ และหญ้าพาสพาลัมอุบล มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 47.5, 47.7, 45.7 และ 51.8 ตามลำดับ โดยหญ้าทุกชนิดมีค่าเกิน 30 ซึ่งถือว่าเป็นระดับที่มีพลังงานเพียงพอต่อการดำรงชีพของโค ทั้งนี้พบว่า หญ้าพาสพาลัมอุบลมีค่าต่างๆ ข้างต้นสูงกว่าหญ้าชนิดอื่น สำหรับในประเทศไทยควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในการนำค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดสอบการย่อยสลายของอาหารในถุงไนลอน มาใช้เพื่อสร้างสมการทำนายปริมาณการกินได้ของอาหารให้มีความถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น

5.1.5 การประเมินคุณค่าของอาหารจากปริมาณการผลิตก๊าซ (Gas test)

จากการนำตัวอย่างอาหารหญ้าแห้งทั้ง 4 ชนิดไปบ่ม (incubate) กับน้ำรูเมนและสารละลายเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำค่าปริมาณการผลิตก๊าซที่ได้ร่วมกับส่วนประกอบทางเคมีในอาหาร ไปทำนาย

ค่าการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ (OMD) และพลังงาน ME ผลการทดสอบพบว่า หญ้าจาร์ราดิจิต หญ้ากินนีสีม่วง หญ้ารูซี่ และหญ้าพาสพาลัมอุบล มีค่าเฉลี่ย OMD จากอายุการตัดทั้ง 3 อายุเท่ากับ 54.0, 46.4, 51.9 และ 49.0 เปอร์เซ็นต์ สำหรับค่าพลังงาน ME มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 19.4, 1.65, 1.84 และ 1.74 Mcal ME/kg DM ตามลำดับ ทั้งนี้ค่าทำนาย OMD ที่ได้จากการสมการมีค่าค่อนข้างต่ำ (83.9 เปอร์เซ็นต์) เมื่อเทียบกับค่าจริงจากการทดลองในสัตว์

5.1.6 สมการทำนายคุณค่าทางอาหารของหญ้าอาหารสัตว์

จากการนำข้อมูลส่วนประกอบทางเคมี และการย่อยได้ของโภชนะต่างๆ ในหญ้าจาร์ราดิจิต อายุ 30, 40, 45 และ 60 วัน ซึ่งเป็นหญ้าทดลองซึ่งไม่มีการเสริมกากถั่วเหลือง มาวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสมการ regression เส้นตรง (linear regression) ผลการคำนวณได้สมการทำนาย (prediction equation) คุณค่าทางอาหารของหญ้า ทั้งนี้เฉพาะสมการที่มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว (adjusted coefficient of determination, R^2_a) ที่สูงเกินกว่า 0.5 พร้อมทั้งค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของสมการทำนาย (standard error of the estimation, $\pm$) ดังต่อไปนี้

Intake / Digestibility		R^2_a	$\pm SD$
DMI, g/W ^{0.75}	= -5.435 + (12.262 Ash)	0.719	6.877
	= -524.101 + (-4.111 ADF) + (191.094 Mcal GE)	0.700	7.110
DCP, %	= 143.066 + (-1.459 NFE) + (-0.279 Age, day)	0.890	2.255
	= 299.828 + (-71.764 EE) + (-2.317 ADF)	0.890	2.253
DEE, %	= -543.156 + (6.372 OM)	0.660	4.085
	= 224.767 + (2.507 ADF) + (-69.272 Mcal GE)	0.626	4.286
DNDF, %	= -150.454 + (-55.997 EE) + (3.656 DM)	0.583	3.196
DMD, %	= 89.936 - (0.761 ADF)	0.232	2.890

5.2 ผลการตอบสนองต่อระดับพลังงานและโปรตีนในโคนม

อาหารทดลองที่ใช้คือ หญ้าหมักซึ่งทำจากหญ้าพาสพาลัมอุบลที่ตัดเมื่ออายุประมาณ 45 วัน โดยหมักร่วมกับมันสำปะหลังบดในอัตรา 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักหญ้าสด นำหญ้าหมักไปผสมกับกากถั่วเหลืองและข้าวโพดบด ให้โคนมกินในรูปของอาหารผสมครบส่วน (TMR) โดยผันแปรพลังงาน (TDN) และโปรตีน (CP) ที่ระดับ 1.0 และ 1.2 เท่า จากคำแนะนำของ NRC (1988) และอีกการทดลองหนึ่งได้ลดระดับพลังงานลงเหลือ 0.9 จากคำแนะนำของ NRC (1988)

ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีในหญ้าหมักพบว่า มีค่า DM, OM, CP, EE, CF, NFE, NDF และ ADF เท่ากับ 26.5, 91.5, 6.5, 1.4, 31.0, 52.6, 64.3, และ 41.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากการทดสอบหาค่าการย่อยได้ของหญ้าหมัก โดยวิธีเก็บตัวอย่างทั้งหมด (total collection) พบว่า การย่อย

ได้ของโภชนะดังกล่าวข้างต้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 47.2, 47.9, 37.0, 50.0, 57.9, 47.2, 42.0 และ 30.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้มีค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของพลังงาน (DE) และพลังงาน TDN เท่ากับ 46.7 และ 47.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ในการนำอาหาร TMR ไปทดสอบเลี้ยงโคนมพบว่า การเพิ่มระดับพลังงาน และ/หรือ โปรตีนขึ้นไปอีก 20 เปอร์เซ็นต์ จากคำแนะนำของ NRC (1988) ไม่มีผลต่อการการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวของโค ผลผลิตน้ำนมที่ปรับค่ามาตรฐานไขมันที่ 4 เปอร์เซ็นต์ (fat corrected milk, 4 % FCM) และ เปอร์เซ็นต์ไขมันในนม แต่มีแนวโน้มว่าอาหารที่มีโปรตีนสูงเกินไป อาจส่งผลเสียต่อการผลิตน้ำนมและการเพิ่มน้ำหนักตัวของโคอีกด้วย สำหรับการลดระดับพลังงานในอาหารลงมาเหลือ 90 เปอร์เซ็นต์ จากคำแนะนำของ NRC (1988) นั้น มีผลทำให้การผลิตน้ำนม เปอร์เซ็นต์น้ำตาลแลคโตส และของแข็งในนม (SNF) ลดลง ($P < 0.05$) ต่ำกว่าโคที่ได้รับพลังงานและโปรตีนในระดับปกติ สำหรับปริมาณขั้นต่ำของเยื่อใย CF (17 เปอร์เซ็นต์) และเยื่อใย ADF (22 เปอร์เซ็นต์) ที่กำหนดให้โคได้รับในงานทดลองนี้ ซึ่งเป็นระดับที่ใกล้เคียงกับคำแนะนำของ NRC (1988) จากทุกงานทดลองพบว่า ที่ระดับของเยื่อใยดังกล่าวในสูตรอาหารรวม (ทั้งอาหารข้นและอาหารหยาบ) ไม่มีผลกระทบต่อการผลิตไขมันนมของโคแต่อย่างใด

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 คำแนะนำอายุการตัดหญ้าและความต้องการโภชนะของโคนม

จากผลการศึกษาคุณค่าทางอาหารของหญ้า 4 ชนิดที่ตัดหญ้าเมื่ออายุต่างๆ ดังที่กล่าวมา พอที่จะสรุปหรือให้คำแนะนำได้ว่า ในการตัดหญ้าเพื่อนำไปเลี้ยงสัตว์นั้น มีข้อที่ควรพิจารณาประกอบกัน 2 ประการคือ คุณค่าทางอาหารของหญ้า และผลผลิตน้ำหนักรวมของหญ้า แต่ลักษณะดังกล่าวนี้มีสหสัมพันธ์กันในทางลบคือ ในหญ้าที่มีอายุน้อยจะมีคุณค่าทางอาหารสูง แต่หญ้ามีผลผลิตต่ำ ในทางตรงกันข้ามเมื่อหญ้ามีอายุมากขึ้น คุณค่าทางอาหารจะลดลงในขณะที่ผลผลิตจะเพิ่มขึ้น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ไม่มีทางเป็นไปได้ที่จะให้ได้ทั้งคุณค่าทางอาหารและผลผลิตสูงสุดในเวลาเดียวกันได้ ซึ่งเกษตรกรจำเป็นต้องยอมลดคุณค่าทางอาหารและผลผลิตลงมาบ้างให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม นอกจากนั้นยังมีปัจจัยที่ต้องพิจารณาประกอบอีกอย่างหนึ่งคือ ความต้องการโภชนะของสัตว์ โดยโคที่ให้ผลผลิตสูงได้แก่ ลูกโคระยะหลังหย่านม และแม่โคที่ให้ผลผลิตน้ำนมมากหรือหลังคลอดใหม่ เป็นกลุ่มที่มีความต้องการโภชนะสูง จึงมีความต้องการอาหารหยาบคุณภาพดีมากกว่าโครุ่น โคสาว แม่โคที่ให้ผลผลิตนมต่ำหรืออยู่ในช่วงระยะหยุดรีดนม ดังนั้นโคกลุ่มแรกควรให้กินหญ้าที่ตัดเมื่ออายุไม่เกิน 30 วัน สำหรับโคกลุ่มหลังควรให้กินหญ้าที่ตัดเมื่ออายุไม่เกิน 45 วัน

สำหรับความต้องการโภชนะของโคนม จากผลการทดลองในครั้งนี้สรุปได้ว่า โคนมพันธุ์ลูกผสมขาว-ดำในประเทศไทย ที่ให้ผลผลิตน้ำนมระดับปานกลางคือ 10-15 กก.ต่อวัน มีความต้องการพลังงาน TDN โปรตีน (CP) เยื่อใย CF หรือเยื่อใย ADF และ NDF ขั้นต่ำเท่ากับคำแนะนำ

ของ NRC (1988) แต่ทั้งนี้ควรปรับปริมาณการกินอาหาร (DMI) เพิ่มขึ้นอีกประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจากพืชอาหารสัตว์เขตร้อนมีเชื้อใยสูงกว่าพืชอาหารสัตว์เขต ถ้าหากให้โคกินอาหารเท่ากับคำแนะนำของ NRC อาจทำให้ได้รับโภชนาไม่เพียงพอ หรือต้องเสริมอาหารขึ้นในปริมาณที่มากเกินไป ซึ่งนอกจากจะทำให้เกิดความสิ้นเปลืองแล้ว ยังทำให้ระบบการย่อยอาหารและการเคี้ยวเอื้องโคผิดปกติ และส่งผลให้ไขมันในนมลดลงในที่สุด

5.3.2 การศึกษาคุณค่าทางอาหารของพืชอาหารสัตว์ (Digestion trial)

เนื่องจากการเสริมกากถั่วเหลืองมีผลทำให้การย่อยได้ของโภชนาในหญ้าแห้งเปลี่ยนแปลงหรือเกิดปฏิกริยาร่วม (associative effects) ขึ้นระหว่างอาหาร ซึ่งผิดไปจากข้อกำหนดของการคำนวณด้วยวิธี by difference รวมทั้งการคำนวณค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในกากถั่วเหลืองโดยวิธี regression ไม่สามารถประมาณค่าการย่อยได้ของหญ้าแห้งที่มีการเสริมกากถั่วเหลืองได้ ผู้วิจัยมีความเห็นว่า หากถือเอาเกณฑ์ที่ว่า ถ้าอาหารหยาบมีโปรตีนต่ำกว่า 12 เปอร์เซ็นต์ ควรทำการเสริมอาหารที่เป็นแหล่งโปรตีน เพื่อให้มีโปรตีนเพียงพอต่อความต้องการของโคและจุลินทรีย์ในรูเมนนั้น เมื่อพิจารณาถึงความเป็นจริงของหญ้าอาหารสัตว์เขตร้อนจะพบว่า แทบไม่มีหญ้าชนิดใดเลยที่ตัดเมื่ออายุเกิน 30 วันขึ้นไปจะมีโปรตีนถึงเกณฑ์ดังกล่าว ดังนั้นระดับโปรตีนขั้นต่ำสำหรับหญ้าอาหารสัตว์เขตร้อนที่จำเป็นต้องเสริมโปรตีน ควรกำหนดที่ 7 เปอร์เซ็นต์ เพราะโดยทั่วไปแล้วถือว่าเป็นระดับที่เพียงพอต่อการดำรงชีพของโค

การทดสอบหาค่าปริมาณการกินได้และการย่อยได้โดยใช้สัตว์ทดลอง (*In vivo*, total collection) ในการทดลองครั้งนี้ใช้โคสาวเพศเมีย ซึ่งพบปัญหาที่ต้องระวังไม่ให้ปัสสาวะเข้าไปปนเปื้อนในถาดเก็บมูล จากการตรวจเอกสารพบว่า เพศของสัตว์ไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณการกินได้และการย่อยได้มาก ดังนั้นการทดลองในลักษณะนี้ในโอกาสต่อไป ควรใช้โคเพศผู้เป็นสัตว์ทดลอง เพราะสามารถแยกปัสสาวะและมูลได้ง่ายกว่า

สำหรับการประเมินคุณค่าทางอาหารในห้องปฏิบัติการ (*In vitro*) นั้น การใช้เทคนิคการย่อยด้วยน้ำย่อยสังเคราะห์ (enzymatic incubation) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ได้รับการพิจารณา เนื่องจากเป็นวิธีที่ช่วยลดเวลา แรงงาน และค่าใช้จ่ายได้มาก อีกทั้งยังควบคุมสภาพแวดล้อมและลดความแปรปรวนระหว่างตัวสัตว์ได้ง่าย

5.3.3 การศึกษาการตอบสนองต่ออาหารของสัตว์ (Feeding trail)

งานวิจัยในครั้งนี้ เดิมทีจะใช้หญ้าแห้งที่ทำจากหญ้าพาสพาลัมอุบลเป็นอาหารทดลอง แต่เนื่องจากมีเหตุขัดข้องคือ มีฝนตกชุกในช่วงที่ทำหญ้าแห้ง ทำให้หญ้าเสียหายมากจนไม่สามารถผลิตหญ้าแห้งได้เพียงพอกับจำนวนสัตว์และระยะเวลาทดลอง จึงได้ปรับแผนมาใช้หญ้าหมักแทน ซึ่งหญ้าหมักที่ใช้ทดลองไม่ได้มีการศึกษาลึกลงไปในรายละเอียด เหมือนเช่นที่ทำในหญ้าแห้ง จึงทำให้การแปลผลข้อมูลทำได้ไม่สมบูรณ์เท่าที่ควร ดังนั้นในโอกาสต่อไป ควรใช้หญ้าแห้งที่ทำจากหญ้า

พาสปาล์มอุปถัมภ์เป็นอาหารทดลอง ตลอดจนศึกษารายละเอียดของคุณค่าทางอาหารของหญ้าหมักเพิ่มเติม และวิธีการปรับปรุงคุณภาพของหญ้าหมัก เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครบถ้วนและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างสมบูรณ์ต่อไป

รายการอ้างอิง

- กัลยา วานิชย์บัญชา (2546). การใช้ SPSS for Windows ในการวิเคราะห์ข้อมูล. กรุงเทพฯ: ธรรมสาร 536 หน้า
- ฉลอง วชิราภกร. (2546). การจัดการด้านอาหาร โคนมต่อผลผลิตและองค์ประกอบน้ำนม. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ: **น่านมโคคุณภาพสู่ผู้บริโภค**. (หน้า 14-32). วันที่ 23-24 มกราคม 2546. ณ โรงแรมเจริญธานีปรินเซส จ. ขอนแก่น. ขอนแก่นการพิมพ์.
- บุญล้อม ชีวะอิสระกุล, เสาวลักษณ์ แยมหมื่นอาจ, จันทนา น่วมนวล และไกรสิทธิ์ วสุเพ็ญ. (2541). การทำนายคุณค่าทางอาหารของฟางข้าว หญ้าและใบกระถินที่นิยมใช้เลี้ยงโคนมด้วยวิธีใช้ถุงไนลอน. **ผลงานวิจัยการหาความต้องการโภชนะของโคนมไทย** (หน้า 1-15). โดย ผู้ประสานงานโครงการอาหารและโภชนศาสตร์สัตว์ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ประวีร์ วิชุดา, ณิชูมา เถลิ้มแสน และ สุทธิศักดิ์ แก้วแกมจันทร์ (2546). สถานภาพองค์ประกอบน้ำนมดิบในประเทศไทย. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ โคนม: **น่านมโคคุณภาพสู่ผู้บริโภค**. (หน้า 7-13) วันที่ 23-24 มกราคม 2546. ณ โรงแรมเจริญธานี ปรินเซส จ. ขอนแก่น. หจก. ขอนแก่นการพิมพ์.
- พิมพ์พร พลเสน, ราไพร ใจเที่ยง, ทวีศักดิ์ ชื่นปรีชา, โตโมยูกิ คาวาชิมา และ วัชรินทร์ บุญภักดี. 2543. การศึกษาคุณค่าทางโภชนะของพืชตระกูลถั่วยืนต้น 3 ชนิดโดยวิธีการต่างๆกัน. **รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2543** (หน้า 167-183). กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- เมธา วรณพัฒน์ และฉลอง วชิราภกร. (2533). **เทคนิคการให้อาหารโคเนื้อและโคนม**. กรุงเทพฯ: ฟีนixพับบลิชชิง.
- วรพงษ์ สุริยจันทร์ทอง. (2535). **เยื่อใยในอาหารสัตว์**. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
- สมคิด พรหมมา, วิสุทธิ หิมารัตน์ และ บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. (2541). การประเมินขั้นต้นถึงความต้องการโภชนะของโคนมไทย. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการโคนมและผลิตภัณฑ์ครั้งที่ 2: **เทคโนโลยีการเลี้ยงโคนม** วันที่ 3-5 มิ.ย. 2541. คณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เสาวลักษณ์ แยมหมื่นอาจ. (2541). การเสริมฟางข้าวและหญ้าที่ด้วยใบกระถินที่มีผลต่อการย่อยสลายในกระเพาะรูเมนวัดโดยใช้เทคนิคถุงไนลอน. (53 หน้า). **ปัญหาพิเศษปริญญโท**. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

- AFRC. (1992). **Nutritive requirements of ruminant animals: protein**. Technical Committee on Responses to Nutrients, (Report No. 9. *Nutr. Abs & Rev., Series B*, 62, 12: 787-835.). Wallingford, Oxon, UK: CABI International.
- AFRC. (1993). **Energy and protein requirements of ruminants**. An advisory manual prepared by the AFRC Technical Committee on Responses to Nutrients. Wallingford, Oxon, UK: CABI International.
- AFRC. (1998). **Responses in the yield of milk constituents to the intake of nutrients by dairy cows**. Technical Committee on Responses to Nutrients, (Report No. 11). Wallingford, Oxon, UK: CABI International.
- Aldrich, J.M., Muller, L.D., Varga, G. and Griel, L.C., Jr. (1993). Nonstructural carbohydrate and protein effects on rumen fermentation, nutrient flow, and performance of dairy cows. **J. of Dairy Sci.** 76:1091-1102.
- AOAC. (1990). **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. (15th ed.). AOAC., Arlington, Virginia.
- ARC. (1984). **Report of the protein group of the Agricultural Research Council working party on nutrient requirements of ruminant**: A supplementary report to chapter 4 of the nutrient requirements of ruminant livestock. London: The Gressham Press.
- Blümmel, M. and Ørskov, E.R. (1993). Comparison of in vitro gas production and nylon bag degradability in predicting feed intake in cattle. **Animal Feed Science and Technology**. 40: 109-119.
- Broderick, G.A. and Cochran, R.C. (2000). *In vitro* and *In situ* methods for estimating digestibility with references to protein degradability. In Theodorou, M.K. and France, J. (Eds.). (pp. 53-86). **Feeding systems and feed evaluation models**. Wallingford, Oxon, UK: CABI International.
- Broderick, G.A. and Merchen, N.R. (1992). Marker for quantifying microbial protein synthesis in the rumen. **J. of Dairy Sci.** 75: 2618-2632.
- Cherney, D.J.R., Patterson, J.A. and Lemenager, R.P. (1990). Influence of in situ bag rinsing technique on determination of dry matter disappearance. **J. of Dairy Sci.** 73: 391-397.
- Chenost, M. and Demarquilly, C. (1982). Measurement of herbage intake by housed animals. In Leaver, J.D. (ed.). (pp. 95-122). **Herbage Intake Handbook**. British Grassland Society, Hurley, UK.

- Close, W.H. and Menke, K.H. (1986). **Selected topics in animal nutrition**. A manual prepared for the 3rd Hohenheim course on Animal Nutrition in the Tropics and Semi-Tropics. (2nd ed.). University of Hohenheim, Stuttgart, Germany.
- Coblentz, W.K., Fritz, J.O., Cochran, R.C., Rooney, W.L. and Bolsen, K.K. (1997). Protein degradation in response to spontaneous heating in alfalfa hay by in situ and ficin methods. **J. of Dairy Sci.** 80: 700-713.
- Cottyn, B.G., De Boever, J.L. and Vanacker, J.M. (1989). *In vivo* digestibility measurement of straw. In Chenost, M. and Reiniger, P. (eds.) (pp. 36-46). **Evaluation of straw in ruminant feeding**. London: Elsevier Applied Science.
- CSIRO. (1990). **Feeding standard for Australian livestock: Ruminants**. Robards, G.E. and Radcliffe, J.C. (eds.). Melbourne: Victoria: Print Advisory Service
- Demarquilly, C. (1973). Chemical composition, fermentative characteristics, digestibility and amounts eaten of silage, modification by the proportion of the original green herbage. **Proc. of Nutrition Society**. 32: 75-76A.
- Egan, A.R. (1970). Nutritional status and intake regulation in sheep. VI. Evidence for variation in setting of an intake regulatory mechanism relating to the digesta content of the reticulo-rumen. **Australian Journal of Agricultural Research** 21: 735-746.
- Forbes, J.M. (1995). **Voluntary food intake and dietary selection in farm animals**. Wallingford, Oxon, UK: CABI International.
- Forbes, J.M. (1999). Natural feeding behavior and feed selection. In D. van der Heide et al. (eds.). **Regulation of Feed Intake**. Proc. of the 5th Zodiac symp, 22-24 April 1998, Wageningen, The Netherlands. Wallingford, Oxon, UK: CABI International.
- Givens, D.I. (1990). The effect of growth stage and season on the prediction of metabolisable energy content of herbage. **PhD thesis, University of Newcastle upon Tyne**, UK.
- Givens, D.I. and Moss, A.R. (1990). Effect of breed, age and body weight of sheep on the measurement of apparent digestibility of dried grass. **Animal Feed Science and Technology** 46: 155-162.
- Goering, V. and Van Soest, P.J. (1970). **Forage Fiber Analysis**. Agriculture Handbook 379, US Dept. Agriculture, Washington DC.

- Grant, R. (2000). **Evaluating the feeding value of fibrous feed for dairy cattle.** (Online available, <http://www.ianr.unl.edu/pubs/Dairy/g91-1034.htm>.)
- Hall, M.B. (1998). Making nutritional sense of nonstructural carbohydrates. (pp. 108-121). **9th Annual Florida Nutrition Symposium.**
- Hare, M.D., Tasapong, P. Lunpha, A. and Wongpichet, K. (2004). Effect of plant spacing, cutting and nitrogen on production of *Digitaria milanjiana* cv. Jarra in north-east Thailand. **Tropical Grasslands**, 38 (in press)
- Hare, M.D., Thummasaeng, K., Suriyajantratong, W., Wongpichet, K., Saengkhum, M., Tatsapong, P., Kaewkunya, C. and Booncharern, P. (1999). Pasture grass and legume evaluation on seasonally waterlogged and seasonally dry soils in north-east Thailand. **Tropical Grasslands**, 33: 65-74.
- Hare, M.D., Wongpichet, K., Suriyajanytratong, W., Thummasaeng, K. Suwanlee, S., Booncharern, P., Tasapong, P. Lunpha, A., Saiprasert, K. and Intisaeng, W. (2003). **Ubon paspalum: Management and Utilization.** Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University, Thailand.
- Harris, B. Jr. (2001). **Non-structural carbohydrates.** (On-line, Available: www.forages.orst.edu.)
- Huntington, J.A. and Givens, D.I. (1995). The in situ technique for studying the rumen degradation of feeds: a review of the procedure. **Nutritional Abstracts and Reviews (Series B)** 65: 63-93.
- Jones, B.B., Kellaway, R.C. and Lean, I.J. (1996). **Protein requirements of dairy cows.** Dairy research and development corporation. Department of Animal Science, University of Sydney, Australia.
- Kalmbacher, R.E., Martin, F.G. and Kretschmer, A.E. (1997). Performance of cattle grazing pastures based on *Paspalum atratum* cv. Suerte. **Tropical Grasslands**. 31: 58-66.
- Kaufman, W. (1976). Influence of the composition of the ration feed intake in ruminants. **Livestock Production Science**. 3: 103-114.
- Kearl, L. C. 1982. **Nutrient requirements of ruminants in developing countries.** Utah State.
- Kennelly, J.J. (2000). **Feeding and management systems to optimized milk production.** (Online available, <http://www.afns.ualberta.ca/drct/dp472-50.htm>.)

- Lin, C. and Kung, L.Jr. (1996). Heat-treated soybeans and soybean meal in ruminant nutrition. American Soybean Association. **Technical bulletin, MITA (P)** No. 044/11/96.
- MacGregor, C.A., Stokes, M.R., Hoover, W.H., Leonard, H.A., Junkins, L.L., Jr., Sniffen, C.J and Mailman, R.W. (1983). Effects of dietary concentration of nonstructural carbohydrates on energy and protein metabolism and milk production of dairy cows. **J. of Dairy Sci.** 66:39-51.
- Madsen, J. and Hvelplund, T. (1994). Prediction of the in situ protein degradability in the rumen. Result of a European ring test. **Livestock Production Science.** 39: 201-212.
- MAFF. (1984). **Energy Allowance and Feeding Systems for Ruminants.** HMSO, London.
- Martens, Siriwan. (2001). Yield, feed value and ensilability of 4 tropical grasses in Northeast Thailand. **Diploma Thesis**, Department of Agroecology, University of Rostock, Germany.
- McDonald, P., Edward, R.A., Greenhalgh, J.F.D. and Morgan, C.A. (1995). **Animal nutrition.** (5th edn.). Harlow, UK: Longman Scientific and Technical.
- Menke, K.H. and Steingss, H. (1988). Estimation of 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., Laab, L., Salewski, A., Steingss, H. and Schneider, W. (1979). The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feeding stuff from the gas production when they are incubated with rumen liquor *in vitro*. **J. of Agricultural Science** (Cambridge) 93: 217-222.
- Meyer, J.H.F. and Mackie, R.I. (1986). Microbiology evaluation of the intraruminal *in sacco* digestion technique. **Applied and Environmental Microbiology.** 51: 622-629.
- Minson, D.J. (1981). The measurement of digestibility and voluntary intake of forage with confined animals. In Wheeler, J.L. and Mochrie, R.D. (eds.). **Forage evaluation: Concepts and techniques.** Australian Forage and Grassland Council, Melbourne.
- Minson, D.J. (1990). **Forage in ruminant nutrition.** San Diego, USA: Academic Press

- Mould, F.L. (1988). Associative effects of feeds. In Ørskov, E.R. (ed.). (pp. 279-292) **Feed Science**. (Series: World Animal Science, B4.). London: Elsevier Science Publishers.
- Mould, F.L., Ørskov, E.R. and Mann, S.O. (1983). Associative effects of mixed feeds. 1. Effect of type and level of supplementation and the influence of the rumen fluid pH on cellulolysis in vivo and dry matter digestion of various roughages. **Animal Feed Science and Technology** 10: 15-30.
- Moe, P.W. and Tyrrell, H.F. (1976). Estimating metabolizable and net energy of feeds. In Fonnesbeeck, P.V., Harris, L.E. and Kearl, L.C. (eds.). (pp. 232-237). **Proc. 1st Intern. Symp. on Feed composition, animal nutrition requirements, and computerization of diets**. Logan, Utah State University.
- Nakamura, T., Klopfenstein, T.J. and Britton, R.A. (1994). Evaluation of acid insoluble nitrogen as an indicator of protein quality in non-forage protein. **J. of Anim. Sci.** 72: 1043-1048.
- Nocek, J.E. (1988). *In situ* and other methods to estimate ruminal protein and energy digestibility: A Review. **J. of Dairy Sci.** 71: 2051-2069.
- NRC.(1988). **Nutrient requirements of dairy cattle**. (6th ed.) Washington, DC.: National Academy Press.
- NRC. (1989). **Nutrient Requirement of Dairy Cattle**. (Sixth revised ed.). Washington, D.C.: National Academic Press.
- Omed, H.M. (1986). Study of the relationships between pasture type and quality and the feed intake of grazing sheep. **PhD thesis**, University College of North Wales, Bangor, UK.
- Ørskov, E.R. (1992). **Protein Nutrition in Ruminants**. (2nd ed.). London and New York: Academic Press.
- Ørskov, E.R. (2000). The *in situ* technique for the estimation of forage degradability in ruminants. In Givens, D.I., Owen, E., Axford, R.F.E. and Omed, H.M. (eds.). (pp. 175-188). **Forage Evaluation in ruminant nutrition**. Wallingford, Oxon, UK: CABI International.
- Ørskov, E.R. and Frazer, C. (1975). The effect of processing of barley based supplement on rumen pH, rate of digestion and voluntary intake in sheep. **Brit. J. Nutr.** 34: 493-500.

- Ørskov, E.R. and McDonald, I. (1979). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurement weighted according to rate of passage. **J. of Agricultural Science**, Cambridge 92: 499-503.
- Poppi, D.P., France, J. and McLennan, S.R. (2000). Intake, passage and digestibility. In Theodorou, M.K. and France, J. (eds). (pp. 35-52). **Feeding systems and feed evaluation models.**, Wallingford, Oxon, UK: CABI International.
- Promma, S. (1999). **XRATION (computer software, version 1.0)**. Chiang Mai Animal Breeding Station, Department of Livestock Development, Ministry of Agriculture and Cooperative, Thailand.
- Promma, S. Patcharin, J. and Tawatchai, I. (1998). Production responses of crossbred Holstein milking cows fed urea-treated rice straw at three different fiber levels and the preliminary estimation of nutrient requirements. In Cheva-Isarakul, B. and Promma, S. (eds.). (pp. 43-54). **Recent Research for the Development of Nutrient Requirements of Thai Dairy Cattle**. Faculty of Agriculture, Chiang Mai University.
- Roger B.W., (1983). Feeding experiments with dairy cattle. In Ternouth, J.H (ed.). (pp. 70-97). **Dairy cattle research Techniques**. Queensland Department of Primary Industries Miscellaneous Publication 82017. Brisbane, Australia.
- Russell, J.B., O' Conner, J. D., Fox, D.G., Van Soest, P.J., and Sniffen, C.J. (1992). A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Ruminant Fermentation. **J. of Anim. Sci.** 70: 3551-3561.
- Rymer, C. (2000). The measurement of forage digestibility *in vivo*. In Givens, D.I., Owen, E., Axford, R.F.E. and Omed, H.M. (eds). (pp. 1-14). **Forage evaluation in ruminant nutrition**. Wallingford, Oxon, UK: CABI International.
- SAS Institute. (1985). **SAS User's Guide: Statistics**. SAS Institute, Inc., Cary, North Carolina.
- Schnieder, B.H. and Flatt, W.P. (1975). **The evaluation of feed through digestibility experiments**. Athens, USA: University of Georgia Press.
- Shem, M.N., Ørskov, E.R. Kinambo, 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. **Animal Science** 60: 65-74.

- Silva, A.T. and Ørskov, E.R. (1984). Effect of the three different rumen environments on the rate and extent of rumen degradation of undegraded straw, ammonia treated straw and hay. **Proc. Nutr. Soc.**, 43: 11A.
- Statistical Package for Social Science. (2002). (**Computer software SPSS, version 11.5**). SPSS Inc.
- Stokoe, J. (1983). The design of experiments. In Ternouth, J.H. (ed.). (pp. 1-21). **Dairy Cattle Research Techniques**. Queensland Department of Primary Industries Miscellaneous Publication 82017. Brisbane, Australia.
- Stern, M.D. and Illg, D.J. (1990). Full fat soybean use in ruminant. American Soybean Association. **Technical bulletin**, MC (P). 8/1/90.
- Tilley, J.M.A. and Terry, R.A. (1963). A two stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. **J. of the British Grassland Society**. 18: 104-111.
- Uden, P. and Van Soest, P.J. (1984). Investigation of the *in situ* bag technique and a comparison of the fermentation in heifers, sheep, ponies and rabbits. **J. of Anim. Sci.** 58: 213-221.
- Van Soest, P.J. (1982). **Nutritional Ecology of the Ruminant**. O & B Books, Inc., Corvallis, Oregon, 374 pp.
- Van Soest, P.J. (1989). On the digestibility of bound N in distillers grains: A reanalysis. **Proc. Cornell Nutr. Conf.** p. 127.
- Van Soest, P.J., and J.B. Robertson. (1985). **Analysis of Forages and Fibrous Feeds: A laboratory manual for Animal Science 631**. 381 pp. Cornell University. University, Logan, Utah USA.
- Vanzant, E.S., Cochran, R.C., Titgemeyer, E.C., Stafford, S.D., Olson, K.C., Johnson, D.E. and St Jean, G. (1996). *In vivo* and *in situ* measurements of forage protein degradation in beef cattle. **J of Anim. Sci.** 74: 2773-2784.
- Waldo, D.R., and Glenn, B.P. (1984). Comparison of new protein system for lactating dairy cows. **J. Agric. Sci.** 93: 553-562.
- Wanderley, R.C., Huber, J.T., Wu, Z., Pesarakli, M. and Fontes, C., Jr. (1993). Influence of microbial colonization of feed particles on determination of nitrogen degradability by *in situ* incubation. **J. of Anim. Sci.** 71: 3073-3077.
- Weiss, W.P., Conrad, H.R. and Pierre, N.R. St. (1992). A theoretically-based model for predicting TDN value of forages and concentrates. **Animal Feed Science and Technology**. 39: 95-110.

- Wilkerson, W.A., Casper, D.P. and Mertens, D.R. (1995). The prediction of methane production of Holstein cows by several equations. **J. of Dairy Sci.** 78: 2402-2414.
- Winkins, R.J. (2000). Forage and their role in animal systems. In Givens, D.I., Owen, E., Axford, R.F.E. and Omed, H.M. (eds.). (pp. 1-14). **Forage evaluation in ruminant nutrition.** Wallingford, Oxon, UK: CABI International.
- Woods, V.B., Moloney, A.P., Mulligan, F.J., Kenny, M.J. and O'Mara, F.P. (1999). The effect of animal species (cattle or sheep) and level of intake by cattle on *in vivo* digestibility of concentrate ingredients. **Animal Feed Science and Technology.** 80: 135-150.

ภาคผนวก

Table 1 Feed value of 4 grass species (adapted from Martens, 2001)

Day of growth	DM %	CF %	CP %	Ash %	OMD ^{1/} %	ME ^{2/} MJ/kg DM	NEL ^{3/}	Day of growth	DM %	CF %	CP %	Ash %	OMD ^{1/} %	ME ^{2/} MJ/kg DM	NEL ^{3/}
<i>Digitaria milaniana</i> (Jarra digit)								<i>Panicum maximum</i> (Purple guinea)							
20	12.7	25.6	14.9	9.1	76.8	10.5	6.3	20	17.6	29.0	13.9	6.1	76.3	10.7	6.5
30	20.3	30.7	9.0	7.1	68.8	9.5	5.5	30	22.2	32.9	8.0	4.7	70.6	9.9	5.9
40	25.0	32.9	6.0	5.7	61.2	8.4	4.8	40	23.3	36.5	6.6	4.9	63.1	8.8	5.1
50	27.2	33.7	5.5	6.0	57.5	7.9	4.5	50	23.9	36.2	5.7	5.5	54.2	7.5	4.2
60	33.6	30.6	3.4	3.9	61.0	8.5	4.9	60	25.8	36.8	4.8	5.9	60.7	8.3	4.7
70	30.1	30.6	4.3	6.7	60.3	8.2	4.7	70	29.0	36.0	4.0	4.9	59.4	8.2	4.7
80	25.1	32.3	4.1	6.0	58.2	7.9	4.5	80	30.5	38.6	3.5	4.6	56.7	7.8	4.4
90	40.3	31.8	3.2	6.7	57.3	7.7	4.4	90	31.4	39.0	3.8	4.9	49.9	6.8	3.8
<i>Brachiaria ruziziensis</i> (Ruzi)								<i>Paspalum atratum</i> (Ubon paspalum)							
26	21.1	24.0	9.9	6.2	77.0	10.7	6.5	26	16.7	29.2	8.4	7.9	65.2	8.9	5.1
36	21.1	26.3	7.7	5.7	72.9	10.1	6.0	36	17.4	29.4	6.5	8.2	64.8	8.7	5.0
46	23.6	27.4	6.1	5.4	71.6	9.9	5.9	46	19.6	30.1	4.8	9.1	61.9	8.2	4.7
55	25.5	30.7	5.0	4.5	65.2	9.1	5.3	55	21.0	30.8	4.2	5.8	64.3	8.8	5.1
65	28.1	30.5	4.3	3.8	67.2	9.4	5.5	65	21.2	30.4	3.9	5.8	62.0	8.5	4.9
75	30.8	33.3	3.5	4.0	62.6	8.7	5.0	75	21.7	32.3	3.8	6.0	64.1	8.8	5.1
85	33.8	32.3	3.6	3.4	62.3	8.7	5.0	85	21.9	31.0	3.6	5.8	65.8	9.0	5.2
98	37.3	33.5	3.1	3.4	59.2	8.3	4.7	98	24.9	30.5	3.3	4.8	63.7	8.8	5.1

^{1/} Organic matter digestibility estimated by *In vitro* cellulase method. ^{2/} MJ ME = 0.0146 digestible OM – 0.0004 indigestible OM + 0.0026 CP (in g/kg)

^{3/} MJ NEL = KL * MJ ME, where KL = 0.24 UE + 0.463, KL is the coefficient factor or the metabolizability of the energy (UE) results from the division of the metabolic energy (ME) by the gross energy that is relatively constant at 18.43 MJ/kg DM for nearly every feed stuff (Van Es, 1978)

Table 2 Range of chemical composition and apparent digestibility of Ruzi, Jarra digit and Purple guinea grass (adapted from Martens, 2001)

	Chemical composition, % DM							Apparent digestibility, %				
	DM	DCP	CP	EE	CF	NFE	Ash	CP	EE	CF	NFE	TDN
Ruzi												
Min	18.3	6.9	3.9	1.6	25.2	37.2	8.5	42	38	58	57	-
Max	36.4	9.6	16.9	2.3	39.4	47.6	9.0	72	60	76	77	-
Jarra												
Min	15.0	-	3.7	2.3	27.2	43.1	9.2	56.4	41.0	68.1	60.1	-
Max	21.8	-	20.1	-	37.2	46.8	13.7	-	-	-	-	-
Guinea												
Min	21.4	1.9	5.2	0.8	21.1	40.0	8.3	34	13	41	48	38.2
Max	30.6	6.0	20.5	2.8	39.6	50.1	14.7	80	66	76	74	60.7

Table 3 Chemical composition and apparent digestibility of Guinea grass hay in Thailand

	Wet season				Dry season			
	6 wk	8 wk	10 wk	12 wk	6 wk	8 wk	10 wk	12 wk
Composition, %DM								
DM	83.4	86.9	87.3	86.5	88.6	90.8	89.7	91.1
DCP	2.4	2.7	1.1	1.1	7.4	4.1	2.4	2.6
TDN	48.1	48.2	43.5	43.6	53.6	46.5	48.0	48.5
CP	6.8	7.7	5.5	5.5	11.9	8.3	6.6	7.2
EE	1.8	1.6	1.6	1.4	3.2	2.0	1.8	2.1
CF	36.3	39.0	40.1	40.1	31.7	35.7	35.5	36.4
NFE	43.8	40.8	42.0	42.6	41.2	41.0	42.9	41.8
Ash	11.3	10.9	10.8	10.4	12.0	13.0	13.2	12.5
Apparent Digestibility, %								
CP	35	35	20	20	62	49	36	36
EE	45	45	38	38	61	53	47	47
CF	57	57	52	52	58	56	58	58
NFE	53	53	48	48	57	49	54	54

Adapted from Holm (1971, Quoted in Martens 2001)

Table 4 Prediction equation of feed intake and nutrient digestibility of Jarra digit grass hay by SPSS with Adjusted R² (R²a) and Standard error of the estimation ($\pm$ S.D.)

Parameters	Methods	Model	Fitted model	R ² a	$\pm$ S.D.
DML, kg/d	Enter		= -37.493 + (-4.127EE) + (-0.240ADF) + (14.495 Mcal GE)	0.555	0.448
	Stepwise		= 58.374 + (-0.592 OM)	0.614	0.418
	Backward	Model 1	= -37.493 + (-4.127 EE) + (-0.240 ADF) + (14.495 Mcal GE)	0.555	0.448
		Model 2	= -18.417 + (-0.207 ADF) + (7.505 Mcal GE)	0.515	0.468
	Forward		= 58.374 + (-0.592 OM)	0.614	0.418
DML, %BW	Enter		= -22.221 + (-0.991 EE) + (-0.109 ADF) + (7.518 Mcal GE)	0.615	0.223
	Stepwise		= 32.318 + (-0.327 OM)	0.621	0.228
	Backward	Model 1	= -22.221 + (-0.991 EE) + (-0.109 ADF) + (7.518 Mcal GE)	0.615	0.230
		Model 2	= -17.639 + (-0.101 ADF) + (5.839 Mcal GE)	0.630	0.223
	Forward		= 32.318 + (-0.327 OM)	0.621	0.228
DML, g/W^{0.75}	Enter		= -712.207 + (-40.700 EE) + (-4.433 ADF) + (260.019 Mcal GE)	0.696	7.156
	Stepwise		= -5.435 + (12.262 Ash)	0.719	6.877
	Backward	Model 1	= -712.207 + (-40.700 EE) + (-4.433 ADF) + 260.019 Mcal GE	0.696	7.156
		Model 2	= -524.101 + (-4.111 ADF) + (191.094 Mcal GE)	0.700	7.110
	Forward		= -3.435 + (14.262 Ash)	0.719	6.877
DMD, %	Enter		= -154.290 + (-46.167 EE) + (-0.704 ADF) + (81.990 Mcal GE)	0.395	2.207
	Backward		= -154.290 + (-46.167 EE) + (-0.704 ADF) + (81.990 Mcal GE)	0.395	2.207
OMD, %	Enter		= -101.470 + (-43.679 EE) + (-0.838 ADF) + (69.894 Mcal GE)	0.415	2.169
	Stepwise		= 70.135 + (-0.148 Age)	0.291	2.388
	Backward		= -100.470 + (-42.679 EE) + (0.162 ADF) + (69.894 Mcal GE)	0.415	2.169
	Forward		= 70.135 + (-0.148 Age)	0.291	2.388
DCP, %	Enter		= 349.991 + (-65.121 EE) + (-2.267 ADF) + (-15.928 Mcal GE)	0.884	2.316
	Stepwise	Model 1	= 168.873 + (-2.239 NFE)	0.773	3.233
		Model 2	= 143.066 + (-1.459 NFE) + (-0.279 Age)	0.890	2.255
	Backward	Model 1	= 349.911 + (-65.121 EE) + (-2.267 ADF) + (-15.928 Mcal GE)	0.884	2.316
		Model 2	= 299.828 + (-71.764 EE) + (-2.317 ADF)	0.890	2.253
	Forward	Model 1	= 168.873 + (-2.239 NFE)	0.773	3.233
		Model 2	= 143.066 + (-1.459 NFE) + (-0.279 Age)	0.890	2.255
DEE, %	Enter		= 329.008 + (22.554 EE) + (2.685 ADF) + (-107.467 Mcal GE)	0.617	4.337
	Stepwise		= -543.156 + (6.372 OM)	0.660	4.085
	Backward		= 329.008 + (22.554 EE) + (2.685 ADF) + (-107.467 Mcal GE)	0.617	4.337
	Forward	Model 1	= 329.008 + (22.554 EE) + (2.685 ADF) + (-107.467 Mcal GE)	0.617	4.337
		Model 2	= 224.767 + (2.507 ADF) + (-69.272 Mcal GE)	0.626	4.286

Table 4 Cont'd

Parameters	Methods	Model	Fitted model	R ² _a	± S.D.
DCF, %	Enter		= -246.021 + (-57.437 EE) + (-1.186 ADF) + (116.454 Mcal GE)	0.288	3.733
DNFE, %	Enter		= -325.602 + (-31.762 EE) + (-1.240 ADF) + (121.852 Mcal GE)	0.471	3.405
	Stepwise		= 400.058 + (-3.693 OM)	0.479	3.382
	Backward	Model 1	= -325.602 + (-31.762 EE) + (-1.240 ADF) + (121.852 Mcal GE)	0.471	3.405
		Model 2	= -178.804 + (-0.990 ADF) + (68.063 Mcal GE)	0.421	3.564
	Forward		= 400.058 + (-3.693 OM)	0.479	3.382
DNDF, %	Enter		= -464.815 + (-44.565 EE) + (-1.013 ADF) + (160.770 Mcal GE)	0.561	3.276
	Stepwise	Model 1	= -150.454 + (-55.997 EE) + (3.656 DM)	0.583	3.196
		Model 2	= -87.753 + (1.700 DM)	0.425	3.752
		Backward	= -464.815 + (-44.565 EE) + (-1.013 ADF) + (160.770 Mcal GE)	0.561	3.276
	Forward	Model 1	= -150.454 + (-55.997 EE) + (3.656 DM)	0.583	3.196
		Model 2	= -87.753 + (1.700 DM)	0.425	3.752
DADF, %	Enter		= -393.664 + (-56.311 EE) + (-0.221 ADF) + (140.888 Mcal GE)	0.417	3.065
	Stepwise	Model 1	= 9.240 + (0.808 NDF)	0.197	3.598
		Model 2	= -28.173 + (2.836 NDF) + (-2.019 NFE)	0.434	3.019
	Backward	Model 1	= -393.664 + (-56.311 EE) + (-0.221 ADF) + (140.888 Mcal GE)	0.417	3.065
		Model 2	= -385.892 + (-52.714 EE) + (135.061 Mcal GE)	0.449	2.979
	Forward	Model 1	= 9.240 + (0.808 NDF)	0.197	3.598
		Model 2	= -28.173 + (2.836 NDF) + (-2.019 NFE)	0.434	3.019
DE, %	Enter		= -302.208 + (-45.864 EE) + (-5.120 ADF) + (115.282 Mcal GE)	0.171	3.768
	Backward	Model 1	= 302.208 + (-45.864 EE) + (-5.120 ADF) + (115.282 Mcal GE)	0.171	3.768
		Model 2	= -284.165 + (-37.514 EE) + (101.753 Mcal GE)	0.172	3.765
		Model 3	= -97.147 + (37.817 Mcal GE)	0.570	4.017
TDN, %	Enter		= 11.392 + (-36.797 EE) + (-0.274 ADF) + (31.812 Mcal GE)	0.270	2.537
	Stepwise		= 102.337 + (-22.525 EE)	0.308	2.470
	Backward	Model 1	= 11.392 + (-36.797 EE) + (-0.274 ADF) + (31.812 Mcal GE)	0.270	2.537
		Model 2	= 21.057 + (-32.325 EE) + (24.556 Mcal GE)	0.291	2.500
		Model 3	= 102.337 + (-22.525 EE)	0.308	2.470
	Forward		= 102.337 + (-22.525 EE)	0.308	2.470

ตารางผนวกที่ 5 ความต้องการของโคชนะต่อวัน เพื่อการดำรงชีพ การตั้งท้อง การผลิตนม และการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวของโคนม

น้ำหนักตัว	พลังงาน				โปรตีน	แร่ธาตุ	
	NE	ME	DE	TDN	CP	Ca	P
	กค. ^{1/}	Mcal	Mcal	Mcal	kg	kg	g
ความต้องการเพื่อการดำรงชีพของแม่โคที่โตเต็มที่							
450	7.86	13.20	15.17	3.44	0.34	18.61	13.17
500	8.45	14.18	16.29	3.70	0.36	20.43	14.07
550	9.02	15.13	17.39	3.95	0.38	22.25	15.44
590	9.57	16.07	18.47	4.19	0.40	24.06	16.80
640	10.12	16.99	19.52	4.43	0.42	25.88	18.16
680	10.66	17.89	20.56	4.67	0.44	27.69	19.52
ความต้องการเพื่อการดำรงชีพ และการตั้งท้องระยะ 2 เดือนสุดท้าย ของแม่โคที่โตเต็มที่							
450	10.22	16.94	19.87	4.53	0.98	29.96	18.16
500	10.98	18.19	21.34	4.86	1.05	32.69	19.98
550	11.72	19.42	22.78	5.19	1.12	35.87	21.79
590	12.45	20.62	24.19	5.51	1.19	39.04	23.61
640	13.16	21.8	25.57	5.82	1.26	41.77	25.42
680	13.86	22.96	26.93	6.13	1.33	44.95	27.24
(ไขมันนม, %)	ความต้องการเพื่อการผลิตนม (โคชนะต่อ กค. ของน้ำมัน) ที่ระดับไขมันต่างๆ						
3.0	0.64	1.08	1.23	0.62	0.172	5.94	3.74
3.5	0.68	1.14	1.32	0.66	0.185	6.60	3.96
4.0	0.73	1.23	1.41	0.71	0.198	7.04	4.40
4.5	0.79	1.32	1.52	0.75	0.211	7.70	4.62
5.0	0.84	1.39	1.61	0.80	0.222	8.14	5.06
5.5	0.88	1.47	1.69	0.85	0.236	8.58	5.28
ความต้องการเพื่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว 1 กค.							
น้ำหนักลด	- 4.91	- 8.23	- 9.53	- 4.78	- 0.70		
น้ำหนักเพิ่ม	5.11	8.54	9.95	4.97	0.70		

ตัวอย่างความต้องการโคชนะของโคนมโตเต็มที่ น้ำหนักตัว 450 กก. ให้นมวันละ 13.6 กก. ไขมันนม 4.0%

BW, kg	Energy				Total	แร่ธาตุ	
	NE	ME	DE	TDN	CP	Ca	P
	Mcal	Mcal	Mcal	kg	kg	g	g
ความต้องการเพื่อการดำรงชีพ							
นน. ตัว 454 กก.	7.86	13.20	15.17	3.44	0.34	18.61	13.17
ความต้องการเพื่อการผลิตนม							
น้ำมัน 13.6 กก.	9.88	16.76	19.16	9.64	2.69	95.79	59.87
รวมทั้งหมด	17.74	29.96	34.33	13.08	3.04	114.40	73.03

หมายเหตุ ^{1/} น้ำหนักตัวแปลงค่าจาก 1,000 ถึง 1,500 ปอนด์ เป็นหน่วย กิโลกรัม และปิดตัวเลขเป็นจำนวนเต็ม
ที่มา: คัดแปลงจาก NRC (1988)

ตารางผนวกที่ 6 ปริมาณความต้องการอาหาร (กก. น้ำหนักแห้งต่อวัน) ของโครีดนม ที่น้ำหนักตัว และการให้ผลผลิตน้ำนม ระดับต่างๆ กัน และปริมาณอาหารหยาบ ที่โคได้รับในสัดส่วน 30 ถึง 60 %

ผลผลิตนม, กก./วัน	น้ำหนักตัว (กก.)					
	450	500	545	590	640	680
ปริมาณการกินอาหารทั้งหมด (กก./วัน)						
9.1	14.2	14.4	15.0	15.5	16.7	17.0
13.6	16.5	16.9	17.7	18.4	19.1	19.6
18.2	18.2	19.4	19.7	20.7	21.5	21.3
22.7	20.4	21.2	21.8	22.9	23.8	23.8
ปริมาณการกินหญ้าแห้ง ที่ระดับ 30% ของวัตถุดิบแห้ง (กก./วัน)						
9.1	4.3	4.3	4.5	4.7	5.0	5.1
13.6	5.0	5.1	5.3	5.5	5.7	5.9
18.2	5.5	5.8	5.9	6.2	6.5	6.4
22.7	6.1	6.4	6.5	6.9	7.1	7.1
ปริมาณการกินหญ้าแห้ง ที่ระดับ 40% ของวัตถุดิบแห้ง (กก./วัน)						
9.1	5.7	5.7	6.0	6.2	6.7	6.8
13.6	6.6	6.7	7.1	7.4	7.6	7.8
18.2	7.3	7.7	7.9	8.3	8.6	8.5
22.7	8.2	8.5	8.7	9.1	9.5	9.5
ปริมาณการกินหญ้าแห้ง ที่ระดับ 50% ของวัตถุดิบแห้ง (กก./วัน)						
9.1	7.1	7.2	7.5	7.8	8.4	8.5
13.6	8.3	8.5	8.9	9.2	9.6	9.8
18.2	9.1	9.7	9.9	10.4	10.8	10.7
22.7	10.2	10.6	10.9	11.5	11.9	11.9
ปริมาณการกินอาหารข้น ที่ระดับ 60% ของวัตถุดิบแห้ง (กก./วัน)						
9.1	8.5	8.6	9.0	9.3	10.0	10.2
13.6	9.9	10.1	10.6	11.1	11.4	11.7
18.2	10.9	11.6	11.8	12.4	12.9	12.8
22.7	12.3	12.7	13.1	13.7	14.3	14.3

หมายเหตุ ปริมาณนมแปลงค่าจาก 10 ถึง 40 ปอนด์ มาเป็นหน่วย กิโลกรัม สำหรับปริมาณการกินอาหารได้ปรับค่าเพิ่มขึ้นอีก 25%

ที่มา: ดัดแปลงจาก NRC (1988)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายกังวาน ธรรมแสง

Mr. Kungwan Thummasaeng

ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง

อาจารย์ระดับ 7 ภาควิชาสัตวศาสตร์

คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ที่อยู่ คณะเกษตรศาสตร์ศาสตร์

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

โทรศัพท์ และ โทรสาร (045) 288374-5

E-mail address : <kungwan@agri.ubu.ac.th>

ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญา และ ชื่อเต็ม	สาขาวิชา	วิชาเอก	ชื่อสถาบันการศึกษา
2523	ตรี	ว.ทบ. (ศึกษาศาสตร์เกษตร)	ศึกษาศาสตร์	เกษตรศาสตร์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
2530	โท	ว.ทม. (สัตวศาสตร์)	สัตวศาสตร์	การผลิตสัตว์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ประวัติการฝึกอบรมต่างประเทศ

Date	Courses	Countries
19 May - 29 June 1994	International Training Course on “ Ruminant Nutrition in the Tropics ”	Germany
24 Aug - 19 Sep 1995	International Workshop on “ Livestock Treatment Under Heat Stress “	Israel
1 Jun - 28 Aug 1996	Special Training on “ Techniques in Animal Production “	The University of Queensland, Australia
3 Mar - 30 May 1997	Diploma course of “ The International Animal Feed Training Programme “	Barneveld College, The Netherlands