

การใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองทดแทนข้าวโพดบดในอาหารโคนม

นางสาวณัฐนิตย์ ปวนปาน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2550

**USE OF SOYBEAN HULLS AS A REPLACEMENT FOR
GROUND CORN IN DAIRY CATTLE DIETS**

Nattanit Puanpan

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

Suranaree University of Technology

Academic Year 2007

การใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองทดแทนข้าวโพดบดในอาหารโคนม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักศึกษานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(รศ. ดร.พงษ์ชาญ ฌ ลำปาง)

ประธานกรรมการ

(รศ. ดร.วิศิษฐ์พร สุขสมบัติ)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(อ. ดร.พิพัฒน์ เหลืองลาวัณย์)

กรรมการ

(ศ. ดร.ไพโรจน์ สัตยธรรม)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(ผศ. ดร.สุเวทย์ นิงสานนท์)

คณบดีสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

ณัฐนิศ ป่วนปาน : การใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองทดแทนข้าวโพดบดในอาหารโคนม
(USE OF SOYBEAN HULLS AS A REPLACEMENT FOR GROUND CORN
IN DAIRY CATTLE DIETS) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.วิศิษฐ์พร สุขสมบัติ,
117 หน้า.

วิทยานิพนธ์นี้ศึกษาถึงการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดบดในอาหารขึ้นต่อการให้ผลผลิตของโคนมลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชียน การศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วย 2 ส่วน กล่าวคือ การศึกษาเบื้องต้นศึกษาองค์ประกอบทางเคมี การประเมินคุณค่าทางพลังงาน และการศึกษาการย่อยสลายในกระเพาะหมักของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง พบว่าเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองมีคุณค่าทางโภชนาและองค์ประกอบทางเคมีเหมาะสมที่จะนำมาเป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดบดในสูตรอาหารได้

การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองต่างระดับในอาหารโครีดนมต่อผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบของน้ำนม และการเปลี่ยนแปลงน้ำนมถั่ว ของโครีดนมลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชียน จำนวน 24 ตัว มีปริมาณน้ำนมเฉลี่ย 16.3 ± 3.7 กิโลกรัม จำนวนวันของการให้น้ำนม 84 ± 44 วัน น้ำนมเฉลี่ย 414 ± 52 กิโลกรัม แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มการทดลอง กลุ่มละ 8 ตัว จัดแผนการทดลองแบบ Completely randomized design (CRD) โดยทำการจัดกลุ่มแบบ Stratified random balance group โดยให้มีค่าใกล้เคียงกันตามปริมาณผลผลิตน้ำนม ระยะให้นมอายุ และน้ำนมถั่วก่อนการทดลอง โดยที่กลุ่มการทดลองที่ 1 ได้รับอาหารขึ้นทดลอง 0% เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง กลุ่มการทดลองที่ 2 ได้รับอาหารขึ้นทดลอง 10% เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง และกลุ่มการทดลองที่ 3 ได้รับอาหารทดลอง 20% เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง โดยที่ทั้ง 3 กลุ่มการทดลองได้รับข้าวโพดหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบในช่วงการทดลองช่วงที่ 1 และได้รับหญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบในช่วงการทดลองช่วงที่ 2-6 ใช้ระยะเวลาในการทดลอง 40 วัน โดยใช้ระยะเวลาในการปรับตัวของโคทดลอง 10 วัน และช่วงการเก็บข้อมูล 30 วัน แบ่งออกเป็น 6 ช่วงการทดลอง ช่วงละ 5 วัน มีการบันทึกข้อมูลน้ำนม ปริมาณการกินได้ และน้ำนมถั่ว ผลการทดลองพบว่า การกินได้ของโคนม น้ำนมถั่วที่เปลี่ยนแปลง ปริมาณแลคโตสในน้ำนม และของแข็งพร้อมไขมัน มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ส่วนปริมาณน้ำนม ไขมันในน้ำนม โปรตีนในน้ำนมของแข็งรวมใน น้ำนม มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระดับของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองในสูตรอาหารสูงขึ้น นอกจากนี้ในส่วนของการโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{sup}) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RUP_{sup}) ของทั้ง 3 กลุ่มการทดลองให้ผลไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองต่างระดับในอาหารโครีดนม ต่อนิเวศวิทยาในกระเพาะหมัก โดยใช้โคเจาะกระเพาะถูกผสมพันธุ์ไฮสไตน์ฟรีย์น จำนวน 3 ตัว จัดการทดลองแบบ 3x3 Latin square โดยให้โคเจาะกระเพาะในแต่ละตัวได้รับอาหารขึ้น ตามกลุ่มการทดลอง พบว่าโคนมที่ได้รับอาหารทดลอง 0, 10 และ 20% เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง ในสูตรอาหารขึ้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าความเข้มข้นแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3N) ความเข้มข้นของกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดบิวทีริก และอัตราส่วนกรดอะซิติกต่อกรดโพรพิโอนิก ของของเหลวในกระเพาะหมักของโคนม ทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

จากการทดลองทั้งหมดนี้สรุปได้ว่า การใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดบดในอาหารขึ้นสำหรับเลี้ยงโคนมสามารถใช้ได้ในระดับสูงสุด คือ 20% การใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะช่วยในการลดต้นทุนค่าอาหารขึ้นสำหรับโคนม และสามารถใช้ทดแทนข้าวโพดบดซึ่งเป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานที่มีราคาสูง โดยไม่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตของโคนม

NATTANIT PUANPAN : USE OF SOYBEAN HULLS AS A
REPLACEMENT FOR GROUND CORN IN DAIRY CATTLE DIETS.
THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. WISITIPORN SUKSOMBAT, Ph.D.,
117 PP.

DAIRY CATTLE/ENERGY AND PROTEIN REQUIREMENT/SOYBEAN HULLS

The present thesis aimed to study the utilization of soybean hulls (SH) as an energy source and as a replacement for ground corn in concentrate for crossbred Holstein Friesian dairy cows. This study comprised two sections. The first section was conducted to determine the preliminary study of chemical composition and energy assessment of SH, and digestibility of SH in the rumen of fistulated cows. The results showed that SH contained nutrients and chemical compositions for using as a replacement for ground corn in concentrate.

The first experiment was carried out to investigate the effect of different levels of SH replacement of ground corn in concentrates on milk production, milk composition and live weight change of lactating dairy cows. Twenty-four Crossbred Holstein-Friesian cows with the average 16.3 ± 3.7 kg milk yield, 84 ± 44 days in milk, 414 ± 52 kg body weight, were classified into 3 treatment groups (8 cows in each group). The experimental design was in a Completely Randomized Design (CRD). Cows were classified, by stratified random balance, into three groups according to milk yield, days in giving milk, age and live weight before the start of the trial. The first group was fed 0% SH concentrate, the second group 10% SH concentrate and the

last group 20% SH concentrate. All three groups were fed corn silage as roughage in the 1st period and grass silage as roughage in the 2nd to 6th period. The experiment lasted 40 days with the first 10 days being considered as adaptation period and measurements were made during the last 30 days in 6 periods of 5 days. Daily milk yields were recorded. Evening and morning samples of milk were collected in one day during the 5-day period. Live weights were recorded at the start and at the end of the experiment. The results showed no significant statistical differences in daily feed intake, live weight change, milk yield, milk lactose and solid not fat content ($P>0.05$). However, the production of milk fat, milk protein and total solid tended to increase linearly when levels of soybean hulls increased SH in the diet. Besides, rumen degradable protein (RDP) and rumen undegradable protein (RUP) supplies were similar in all groups, without significant statistical difference ($P>0.05$).

The second experiment was carried out to investigate the effect of different levels of SH in concentrates on rumen ecology. Three Holstein Friesian cows fitted with cannula were assigned to three treatments in a 3 x 3 Latin square to evaluate the incremental substitution of SH for ground corn in the diet. SH replaced ground corn in the concentrate to supply 0, 10 or 20% of diet. The rumen pH, ammonia N, acetate, propionate, butyrate and acetate: propionate ratio in ruminal fluids were not affected by treatments, and with no significant statistical differences.

To conclude, the present study clearly indicates that the use of soybean hulls (SH) as an energy source and as a replacement for ground corn in concentrate for crossbred Holstein Friesian dairy cows could reach the highest level of 20%. Therefore, it could be used as alternative for lowering the capital costs of dairy cattle

diets and as a replacement for ground corn in concentrate which is more expensive,
without minimizing the productivity of cow milks

School of Animal Production Technology Student's Signature_____

Academic Year 2007 Advisor's Signature_____

Co-advisor's Signature_____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการ และด้านดำเนินงานวิจัย จากบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ

รองศาสตราจารย์ ดร.วิศิษฐพร สุขสมบัติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้โอกาสการศึกษา ให้คำแนะนำและแนวคิดที่เป็นประโยชน์ทั้งในด้านวิชาการ และด้านการดำเนินการวิจัย ตลอดจนทั้งช่วยตรวจ แนะนำในการเขียน ตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ และสนับสนุน งบประมาณในการดำเนินการวิจัยจนเสร็จสมบูรณ์

อ.ดร.พิพัฒน์ เหลืองลาวัณย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำในการดำเนินการวิจัย และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ ให้ความรู้ และให้คำปรึกษาทางด้านการดำเนินการวิจัย และกราบขอบพระคุณอาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ทดลองจนอาจารย์ทุก ๆ ท่านที่ได้กรุณาอบรมสั่งสอน ถ่ายทอดความรู้และประสบการณ์

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา ซึ่งให้การสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงานวิจัย ขอขอบคุณฟาร์มมหาวิทยาลัย อาคารศูนย์เครื่องมือและเทคโนโลยี 1, 2 และ 3 รวมทั้งพี่ ๆ บุคลากร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ สัตว์ทดลอง เครื่องมือ อุปกรณ์ และอำนวยความสะดวกต่าง ๆ รวมถึงบริษัท ธนากร ที่ให้การสนับสนุนเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง ในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณคุณอุษวัญ จุลละนันท์ นายหส์นัยน์ เหลืองธนารักษ์ เพื่อน ๆ และพี่ ๆ น้อง ๆ ที่ร่วมศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาตลอดจนเพื่อนร่วมศึกษาระดับปริญญาตรีสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์รุ่น 8 ทุกท่านที่ให้คำปรึกษาให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจมาโดยตลอด

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดา มารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ญาติพี่น้อง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาท วิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา จนทำให้ประสบความสำเร็จในการศึกษา

ณัฐนิตย์ ป่วนปาน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฬ

บทที่

1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและปัญหาการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 สมมุติฐานของการวิจัย.....	2
1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 วรรณกรรมและเอกสารที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง.....	4
2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง.....	4
2.3 การใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นอาหาร โคนม.....	7
2.3.1 การใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองทดแทนข้าวโพดในอาหาร โคนม ต่อการกินได้.....	7
2.3.2 การใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองทดแทนข้าวโพดต่อผลผลิตน้ำนม และองค์ประกอบของน้ำนม.....	7
2.3.3 การใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองทดแทนข้าวโพดต่อการหมักย่อย ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง.....	8

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4	ความต้องการพลังงานในโคนม.....	12
2.4.1	หน่วยของพลังงาน.....	12
2.4.2	การจำแนกประเภทของพลังงาน.....	13
2.4.3	การประเมินคุณค่าทางพลังงาน.....	17
2.5	ความต้องการโปรตีนในโคนม.....	27
2.5.1	การคำนวณโปรตีนในอาหาร.....	27
2.5.2	การคำนวณความต้องการโปรตีนในตัวโคนม.....	27
2.6	การให้น้ำนมของโค.....	29
2.6.1	การสังเคราะห์นม.....	30
2.6.2	ส่วนประกอบของน้ำนม.....	32
2.6.3	ปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตและองค์ประกอบของน้ำนมดิบ.....	33
2.7	การควบคุมการกินอาหาร.....	36
2.7.1	Metabolic factors.....	36
2.7.2	Physical Factors	37
2.7.3	ปัจจัยทางพฤติกรรมการกินอาหารของ Grazing Cattle.....	39
2.7.4	ปัจจัยที่เกิดจากสัตว์.....	39
3	วิธีการทดลอง.....	41
3.1	การทดลองที่ 1 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี การประเมินคุณค่าทางพลังงานและการศึกษาการย่อยสลายในกระเพาะหมักของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง.....	42
3.1.1	อุปกรณ์และวิธีการ.....	42
3.1.2	การวิเคราะห์ข้อมูล.....	43
3.2	การทดลองที่ 2 การศึกษาระดับของการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งวัตถุดิบพลังงานในอาหารขึ้นต่อการให้ผลผลิตของโค.....	43
3.2.1	อุปกรณ์และวิธีการ.....	43
3.2.2	การวิเคราะห์ข้อมูล.....	47

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3	การทดลองที่ 3 การศึกษาการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง เป็นแหล่งวัตถุดิบพลังงานทดแทนข้าวโพดในอาหารชั้น ต่อนิวเคลียสในกระเพาะหมัก.....	47
3.3.1	อุปกรณ์และวิธีการ.....	47
3.3.2	การวิเคราะห์ข้อมูล.....	48
4	ผลการทดลอง.....	49
4.1	การทดลองที่ 1 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี การประเมินคุณค่า ทางพลังงานและการศึกษาการย่อยสลายในกระเพาะหมักของ เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง.....	49
4.1.1	องค์ประกอบทางเคมีในเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง และวัตถุดิบอาหารสัตว์.....	49
4.1.2	การประเมินค่าพลังงานในเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง และวัตถุดิบอาหารสัตว์.....	49
4.1.3	การย่อยสลายของวัตถุแห้ง.....	52
4.1.4	การย่อยสลายของโปรตีนรวม.....	52
4.2	การทดลองที่ 2 การศึกษาระดับของการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง เป็นแหล่งวัตถุดิบพลังงานในอาหารชั้นต่อการให้ผลผลิตของโค.....	56
4.2.1	องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารและการประเมินพลังงาน.....	56
4.2.2	ปริมาณการกินได้ของโคนม.....	59
4.2.3	ปริมาณน้ำนมและปริมาณองค์ประกอบของน้ำนม.....	61
4.2.4	น้ำนมที่คั่วและน้ำนมที่คั่วที่เปลี่ยนแปลง.....	61
4.2.5	องค์ประกอบของกรดไขมันในสูตรอาหารและในน้ำนม.....	62
4.2.6	การประมาณค่าโปรตีนและพลังงาน.....	68
4.2.7	การย่อยสลายของวัตถุแห้ง.....	72
4.2.8	การสลายตัวของโปรตีนรวม.....	72

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3	การทดลองที่ 3 การศึกษาการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง เป็นแหล่งวัตถุดิบพลังงานทดแทนข้าวโพดในอาหารชั้นต่อ นิเวศวิทยาในกระเพาะหมัก.....	76
4.3.1	ค่าความเป็นกรดต่าง	76
4.3.2	ความเข้มข้นของแอมโมเนียในโตรเจน.....	76
4.3.3	ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้.....	77
5	วิจารณ์ผลการทดลอง.....	79
5.1	การทดลองที่ 1 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี การประเมิน คุณค่าทางพลังงานและการศึกษาการย่อยสลายในกระเพาะหมัก ของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง.....	79
5.1.1	องค์ประกอบทางเคมีในเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง และวัตถุดิบอาหารสัตว์.....	79
5.1.2	การประเมินค่าพลังงานในเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง และวัตถุดิบอาหารสัตว์.....	81
5.1.3	การย่อยสลายของวัตถุแห้งของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง และวัตถุดิบอาหารสัตว์วัตถุแห้ง.....	81
5.1.4	การย่อยสลายของโปรตีนของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง และวัตถุดิบอาหารสัตว์.....	82
5.2	การทดลองที่ 2 การศึกษาระดับของการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง เป็นแหล่งวัตถุดิบพลังงานในอาหารชั้นต่อการให้ผลผลิตของโค.....	82
5.2.1	องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารและการประเมินพลังงาน.....	82
5.2.2	ปริมาณการกินได้ของโคนม.....	83
5.2.3	ปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม.....	84
5.2.4	องค์ประกอบของกรดไขมันในสูตรอาหารและในน้ำนม.....	85
5.2.5	น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง.....	85

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.2.6 การได้รับโปรตีนจากอาหารโปรตีนที่ย่อยสลายได้ใน กระเพาะหมักและโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก.....	86
5.3 การทดลองที่ 3 การศึกษาการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็น แหล่งวัตถุดิบพลังงานทดแทนข้าวโพดในอาหารชั้นต่อนิเวศวิทยา ในกระเพาะหมัก.....	87
5.3.1 ความเป็นกรดเป็นด่าง.....	87
5.3.2 ความเข้มข้นของแอมโมเนียในโตรเจน.....	87
5.3.3 ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้.....	88
6 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	90
รายการอ้างอิง.....	92
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก.....	101
ภาคผนวก ข.....	110
ประวัติผู้เขียน.....	117

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง.....	6
2.2 เปรียบเทียบโภชนะระหว่างเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองและข้าวโพด.....	6
2.3 การใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองทดแทนข้าวโพดในสูตรอาหารต่อการกินได้ ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบน้ำนม.....	10
2.4 การใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองทดแทนข้าวโพดในสูตรอาหารต่อนิวเคลียส ในกระเพาะหมัก.....	11
2.5 กระบวนการปรับปัจจัย (Processing adjustment factors, PAF) สำหรับNFC.....	19
2.6 ประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีนหยาบเพื่อใช้ในการประมาณค่า TDN _{ix} สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสัตว์.....	22
2.7 ประสิทธิภาพการย่อยได้เพื่อการดำรงชีพ (Assumed 8% increase in digestibility compared with 3X maintenance) สำหรับอาหารสัตว์จำพวกไถมัน.....	22
3.1 แสดงคุณสมบัติของกลุ่มโครีดนมที่ใช้ในการทดลอง.....	44
3.2 แสดงชนิดและปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง.....	45
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองและวัตถุดิบอาหารสัตว์.....	50
4.2 แสดงคุณค่าทางพลังงานของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองและวัตถุดิบอาหารสัตว์.....	51
4.3 แสดงการย่อยสลายวัตถุแห้งของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง และวัตถุดิบอาหารสัตว์ในกระเพาะหมัก.....	53
4.4 แสดงการย่อยสลายโปรตีนของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง และวัตถุดิบอาหารสัตว์ในกระเพาะหมัก.....	54
4.5 แสดงเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายวัตถุแห้งและการย่อยสลายโปรตีน ของวัตถุดิบอาหารสัตว์.....	55
4.6 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารและอาหารหยาบ.....	57
4.7 แสดงการจำแนกพลังงานโดยการคำนวณสมการของ NRC (2001).....	58
4.8 แสดงปริมาณการกินได้ของโคนมที่ได้อาหารสูตรทดลอง.....	60

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.9	แสดงปริมาณน้ำมันและองค์ประกอบของน้ำมัน..... 63
4.10	แสดงองค์ประกอบของน้ำมัน..... 65
4.11	แสดงน้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง..... 65
4.12	แสดงองค์ประกอบประกอบของกรดไขมันในสูตรอาหาร..... 66
4.13	แสดงผลการทดแทนข้าวโพดด้วยเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง ต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมัน..... 67
4.14	แสดงการได้รับโปรตีนย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RDP) โปรตีนไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP) 69
4.15	แสดงปริมาณของโปรตีนที่ได้รับจากอาหารและโคนมต้องการ..... 70
4.16	แสดงพลังงานที่โคนมต้องการเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ และที่โคนมได้รับจากอาหาร..... 71
4.17	แสดงการย่อยสลายได้วัตถุแห้ง และอัตราการย่อยสลายได้วัตถุแห้ง ของอาหารหยาบและอาหารผสม 3 สูตร..... 73
4.18	แสดงการย่อยสลายได้โปรตีน และอัตราการย่อยสลายได้โปรตีน ของอาหารหยาบและอาหารผสม 3 สูตร..... 74
4.19	แสดงเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายวัตถุแห้งและการย่อยสลายโปรตีน ของอาหารหยาบและอาหารผสม 3 สูตร..... 75
4.20	แสดงผลการทดแทนข้าวโพดด้วยเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองต่อการเปลี่ยนแปลง ระดับความเป็นกรด-ด่างและแอมโมเนียในโตรเจน..... 77
4.21	แสดงผลการทดแทนข้าวโพดด้วยเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองต่อความเข้มข้น ของกรดไขมันระเหยได้..... 78

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	กระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์.....4
2.2	แสดงขั้นตอนการจำแนกพลังงานประเภทต่าง ๆ.....16

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ADF	=	Acid detergent fiber
ADICP	=	Acid detergent insoluble crude protein
ADIN	=	Acid detergent insoluble N
ADL	=	Acid detergent lignin
CLA	=	Conjugated linoleic acid
C4:0	=	Butyric acid
C6:0	=	Caproic acid
C8:0	=	Caprylic acid
C10:0	=	Capric acid
C11:0	=	Cis-10-Pentadecenoic acid
C12:0	=	Lauric acid
C14:0	=	Myristic acid
C16:0	=	Palmitic acid
C16:1	=	Palmitoleic acid
C17:0	=	Heptadecanoic acid
C18:0	=	Stearic acid
C18:1n9t	=	Elaidic acid
C18:1n9c	=	Oleic acid
C18:2n6t	=	Linolelaidic acid
C18:2n6c	=	Linoleic acid
C18:3n3	=	Linoleic acid
C20:0	=	Arachidic acid
C22:0	=	Behenic acid
C22:1n9	=	Erucic acid
FCM	=	Fat corrected milk
NDF	=	Neutral detergent fiber
NDICP	=	Neutral detergent insoluble crude protein

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

NDIN	=	Neutral detergent insoluble N
NE	=	Net energy
NFC	=	Non-fiber carbohydrate
NPN	=	Non protein nitrogen
NRC	=	National research council
RDP	=	Rumen degradable protein
RDP _{req}	=	Rumen degradable protein Requirement
RDP _{sup}	=	Rumen degradable protein supplement
RUP	=	Rumen undegradable protein
RUP _{req}	=	Rumen undegradable protein requirement
RUP _{sup}	=	Rumen undegradable protein supplement
tdCP	=	Truly digestibility crude protein

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาในการทำวิจัย

สัตว์เคี้ยวเอื้องมีความต้องการอาหารเพื่อใช้เป็นแหล่งโภชนา ซึ่งอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้องนั้นอาจได้จากอาหารสัตว์ชนิดต่าง ๆ พืชอาหารสัตว์ รวมทั้งผลพลอยได้ทางการเกษตรและผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการเกษตร วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่นำมาผลิตอาหารสัตว์ทั้งที่เป็นแหล่งของพลังงาน เช่น ปลายข้าว ข้าวโพด ข้าวฟ่าง เป็นต้น และแหล่งโปรตีน เช่น กากถั่วเหลือง กากฝ้าย กากงา กากนุ่น เป็นต้น มักจะประสบปัญหาขาดแคลนและวัตถุดิบมีราคาสูงในบางฤดูกาล ดังนั้นจึงส่งผลต่อต้นทุนค่าอาหารตามไปด้วย การหาวัตถุดิบชนิดอื่น ๆ ที่มีราคาถูกกว่ามาทดแทนจะสามารถช่วยลดต้นทุนค่าอาหารของเกษตรกรลงได้ ส่งผลให้มีการเพิ่มผลกำไรมากยิ่งขึ้น ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการเกษตร จึงเป็นวัตถุดิบที่นำมาใช้ทดแทนวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีราคาสูง

เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง (soybean hulls) เป็นผลิตผลจากอุตสาหกรรมแปรรูปผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง ซึ่งเมื่อผ่านกระบวนการผลิตต่างๆ แล้วจะมีส่วนของเปลือกหุ้มเมล็ดเหลือประมาณ 8% ของน้ำหนักเมล็ดถั่วเหลือง เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองมีส่วนของเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบหลัก 47% ของวัตถุแห้ง และเฮมิเซลลูโลสประมาณ 20% ของวัตถุแห้ง มีค่าโปรตีนหยาบระหว่าง 9–16.5% เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองจึงเป็นวัตถุดิบที่ให้พลังงานสูงโดยมีค่าการย่อยได้ของโภชนาทั้งหมด (TDN) 77% พลังงานสุทธิเพื่อการเพิ่มน้ำหนัก 1.22 Mcal/Kg เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองที่มีการหมักย่อยอย่างรวดเร็วในกระเพาะหมัก มีคุณค่าเป็นแหล่งพลังงานเทียบเท่าข้าวโพด (AAFCO, 1996) สำหรับโคที่ได้รับหญ้าคุณภาพดีที่มีโปรตีนรวมที่แตกตัวได้ดีในกระเพาะหมักสูง การเสริมอาหารพลังงานที่หมักย่อยได้พลังงานอย่างรวดเร็วในกระเพาะหมักนี้ทำให้การเปลี่ยนโปรตีนจากหญ้าคุณภาพดีเป็นจุลินทรีย์โปรตีนมีประสิทธิภาพสูงขึ้น (เมธี และคณะ, 2550) แต่ในปัจจุบันการศึกษาเกี่ยวกับการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง เป็นอาหารโคนมในประเทศไทยนั้นยังมีน้อยมาก ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงเป็นไปเพื่อแสดงให้เห็นถึง การใช้ประโยชน์จากเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเพื่อนำมาใช้เป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานในอาหารข้น และต้นทุนในการผลิตอาหารโคนมร่วมกับการศึกษาถึงผลกระทบต่อผลผลิตของโคนมที่ได้รับเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดบดในสูตรอาหารข้น

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง
- 1.2.2 เพื่อศึกษาการย่อยสลายได้ของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง
- 1.2.3 เพื่อศึกษาผลของการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดในแต่ละระดับของสูตรอาหารขึ้น ต่อการให้ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบน้ำนม
- 1.2.4 เพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของนิเวศวิทยาในกระเพาะหมักของโคนมที่ได้รับอาหารขึ้นที่มีเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นองค์ประกอบในสูตรอาหาร

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

- 1.3.1 การใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองมีคุณค่าทางโภชนาการเหมาะสำหรับนำมาเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดบดในอาหารขึ้นสำหรับเลี้ยงโคนม
- 1.3.2 การใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองในแต่ละระดับของสูตรอาหารสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดบดในอาหารขึ้นเลี้ยงโคนมโดยไม่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตและองค์ประกอบของน้ำนม
- 1.3.3 การใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองในแต่ละระดับของสูตรอาหารเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดบดในอาหารขึ้นเลี้ยงโคนม ไม่ส่งผลทำให้โคนมเกิดการเปลี่ยนแปลงของนิเวศวิทยาในกระเพาะหมัก

1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

Dairy cattle, Energy and protein requirement, Soybean hulls

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาผลของการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพด 3 ระดับ คือ ได้แก่ 0, 10 และ 20% ในสูตรอาหารขึ้น สำหรับเลี้ยงโคนมต่อผลผลิต องค์ประกอบของน้ำนม และการเปลี่ยนแปลงของนิเวศวิทยาในกระเพาะหมัก

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ทราบถึงองค์ประกอบทางเคมี และคุณค่าทางโภชนาของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง

1.6.2 สามารถนำเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองมาใช้เป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพด
บดในอาหารชั้นสำหรับเลี้ยงโคนม

1.6.3 ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของนิเวศวิทยาในกระเพาะหมัก เมื่อได้รับอาหารชั้นที่มี
เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นองค์ประกอบ

บทที่ 2

วรรณกรรมและเอกสารที่เกี่ยวข้อง

ต้นทุนในการเลี้ยงโคนมมากกว่า 70% เป็นต้นทุนทางด้านการจัดการด้านอาหาร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาด้านอาหารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตให้สูงสุดและต้นทุนให้ต่ำที่สุด แนวทางหนึ่งในการลดต้นทุนในการผลิต คือ การนำวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดต่าง ๆ ที่มีราคาถูกมาเป็นแหล่งวัตถุดิบอาหารสัตว์ ปัจจุบันได้มีการนำเอาผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการเกษตรเข้ามาใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบอาหารสัตว์ เช่น กากมันสำปะหลัง กากเมล็ดทานตะวัน และเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง เป็นต้น

2.1 เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง (Soybean hulls)

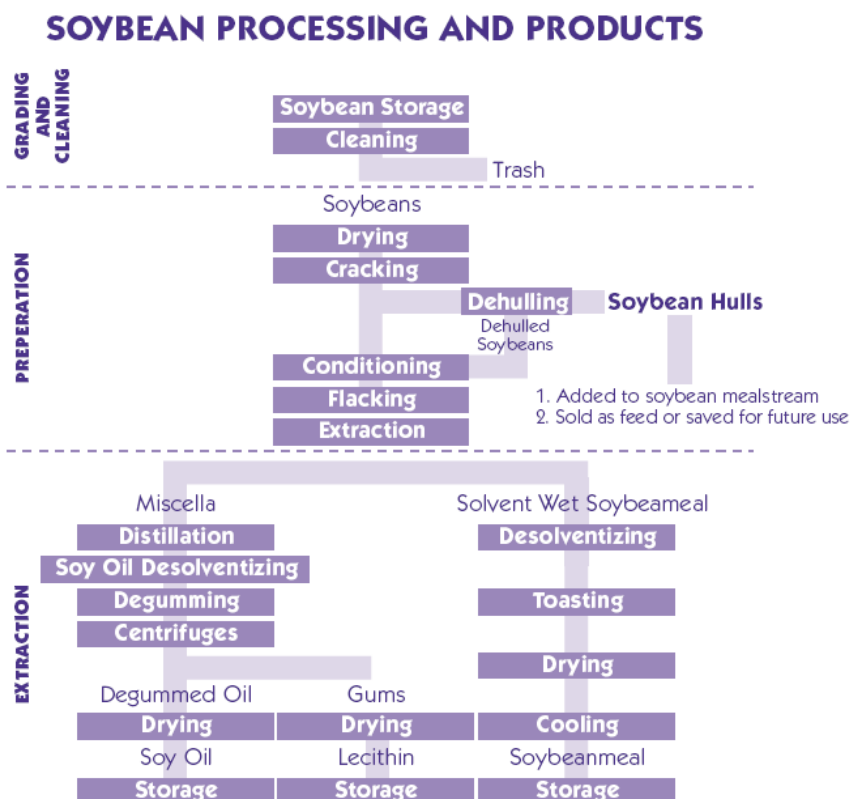
เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากเมล็ดถั่วเหลือง ซึ่งได้มีการแยกเอาส่วนของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองออกจากเมล็ดถั่วเหลือง ในแต่ละปีจะมีเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองที่เหลือจากการผลิตเป็นจำนวนมาก และในการผลิตถั่วเหลือง 100 กิโลกรัม จะเหลือเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองประมาณ 8 กิโลกรัม หรือเท่ากับ 8% ของปริมาณการผลิต (สุกัญญา, 2546)

ซึ่งกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากเมล็ดถั่วเหลืองในต่างประเทศ ได้มีการแยกเอาเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองออกจากกากถั่วเหลือง เพื่อให้โปรตีนในกากถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นจาก 49.9% เป็น 56.7 % (Gohl, 1981 อ้างโดย สุกัญญา, 2546) ส่งผลให้ราคาของกากถั่วเหลืองเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วยเช่นกัน เนื่องจากมีโปรตีนสูงขึ้น อีกทั้งสัตว์กระเพาะเคี้ยวสามารถใช้ประโยชน์จากกากถั่วเหลืองได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากสัตว์กระเพาะเคี้ยวไม่สามารถย่อยองค์ประกอบของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองที่มีส่วนของเยื่อใยสูง (สุกัญญา, 2546)

ซึ่งเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองที่ได้นั้น มาจาก 2 ทาง คือ

1. อุตสาหกรรมการทำอาหาร เช่น นํ้ามันถั่วเหลือง เต้าหู้ เต้าเจี้ยว ซีอิ๊ว เทมเป้ (Tempeh) เมล็ดถั่วเหลืองป่น (Kinako) และอื่น ๆ เป็นต้น
2. โรงงานสกัดนํ้ามันถั่วเหลือง ซึ่งจากรายงานการทดลองของ สุกัญญา (2546) รายงานว่าในการสกัดนํ้ามันถั่วเหลือง 100 กิโลกรัม จะเหลือเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองประมาณ 8 กิโลกรัม

หรือเท่ากับ 8% ของปริมาณการผลิต ในปัจจุบันประเทศไทยมีโรงงานสกัดน้ำมันถั่วเหลืองจำนวน 11 ราย มีกำลังการผลิตเมล็ดถั่วเหลืองรวมปีละ 2.972 ล้านตัน (สกัดน้ำมันถั่วเหลือง.373 ล้านตันและผลิตถั่วเหลืองหนึ่ง 0.599 ล้านตัน) ดังนั้นจะมีเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองจากกระบวนการผลิตปริมาณ 237,760,000 กิโลกรัม/ปี ซึ่งถือว่าปริมาณมากพอที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารโคนมได้



ภาพที่ 2.1 กระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง และผลิตภัณฑ์

ที่มา: Dale et al. (2000)

2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง (Chemical composition Soybean hulls)

เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากเมล็ด ถั่วเหลือง องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองโดยส่วนใหญ่ พบว่ามีโภชนะ โดยประมาณ คือ วัตถุแห้ง โปรตีนหยาบ เยื่อใยหยาบ ไขมัน NDF ADF และเถ้า มีค่าเท่ากับ 90.58, 12.06, 3.77, 62.49, 46.02, 5.05 และ 74.05% ตามลำดับ (Arosemena et al., 1995; DePeters et al., 1997; Zervas et al., 1998; DeFrain et al., 2002) ดังตารางที่ 2.1 และตารางเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีระหว่างเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองและข้าวโพด ตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง

Composition	Source			
	Arosemena	DePeters	Zervas	DeFrain
	et al. (1995)	et al. (1997)	et al. (1998)	et al. (2002)
Dry matter (DM)	89.83	NA	90.90	91.0
Crude protein (CP)	14.60	10.62	12.20	13.5
Ether extract (EE)	5.75	3.79	3.90	2.9
Neutral detergent fiber (NDF)	56.51	57.13	66.10	58.7
Acid detergent fiber (ADF)	43.39	49.11	47.30	43.30
Ash	5.52	5.05	4.50	5.4
TDN	NA	71.10	NA	NA

หมายเหตุ : NA = not available (ไม่มีข้อมูล)

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบโภชนะระหว่างเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองและข้าวโพด

Composition	Soybean hulls	Corn
Dry matter (DM)	91	88
Crude protein (CP)	12.1	10
Crude fiber (CF)	2.1	4.3
Ether extract (EE)	40.1	2.6
Neutral detergent fiber (NDF)	6.7	9
Acid detergent fiber (ADF)	50	9
Ash	5.1	1.6
TDN	77	85

ที่มา : NRC (1984)

2.3 การใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นอาหารโคนม

เปลือกหุ้มถั่วเหลืองเป็นผลพลอยได้ที่ได้จากการผลิตน้ำมันถั่วเหลืองและกากถั่วเหลืองซึ่งมีส่วนของเยื่อใยสูงและเป็นแหล่งที่มีค่าของพลังงานการย่อยได้สูง

2.3.1 การใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองทดแทนข้าวโพดในอาหารโคนมต่อการกินได้

Elliott et al. (1995) ได้ทำการทดลองใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดที่ 2 ระดับ คือ 0 และ 18% ในสูตรอาหาร ในโครีดนมพันธุ์เจอร์ซี่ที่ได้รับ alfalfa hay และ corn silage เป็นแหล่งอาหารหยาบ จำนวน 16 ตัว ปริมาณการกินได้ทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 19.8 และ 19.3 กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Ipharraguerre et al. (2002a) ที่ได้ศึกษาการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดที่ 0, 10, 20, 30 และ 40% ในสูตรอาหารโครีดนมพันธุ์โฮลส์ไต้น์ฟรีเซียน พบว่าปริมาณการกินได้ทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 23.8, 24.8, 24.4, 22.9 และ 22.7 กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ ซึ่งในกลุ่มที่ได้รับเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองทั้ง 5 ระดับ มีปริมาณการกินได้ทั้งหมดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) แต่ปริมาณการกินได้ของโคมีแนวโน้มลดลงตามระดับของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร

จากศึกษาของ Pantoja et al. (1994) ได้รายงานการศึกษาค้นคว้าการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดในโคเจาะกระเพาะที่ระดับ 0 และ 20% ในสูตรอาหาร พบว่าปริมาณการกินได้ทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 19.3 และ 17.8 กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) สอดคล้องกับรายงานของ Mansfield and Stern (1994) ที่ใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดในโคเจาะกระเพาะ ที่ 0 และ 30% พบว่าการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดในสูตรอาหารไม่มีผลกระทบต่อการกินได้ ดังแสดงในตารางที่ 2.3

2.3.2 การใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองทดแทนข้าวโพดต่อผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนม

Elliott et al. (1995) ได้ทำการทดลองใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดที่ 2 ระดับ คือ 0 และ 18% ในสูตรอาหาร ในโครีดนมพันธุ์เจอร์ซี่ ที่ได้รับ alfalfa hay และ corn silage เป็นแหล่งอาหารหยาบ พบว่าปริมาณน้ำนม เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนม และเปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนม ของโคที่ได้รับเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองทั้ง 2 ระดับ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) สอดคล้องกับการศึกษาของ Ipharraguerre et al. (2002a) เกี่ยวกับการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดที่ 0, 10, 20, 30 และ 40% ในสูตรอาหาร โดยให้ alfalfa silage และ corn silage เป็นแหล่งอาหารหยาบ พบว่าปริมาณ น้ำนม เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนม และเปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนม ของโคที่ได้รับเปลือกหุ้มเมล็ดถั่ว

เหลือทั้ง 4 ระดับไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำมันมีแนวโน้มสูงขึ้น

จากการศึกษาของ Pantoja et al. (1994) ได้รายงานการศึกษาการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดในโคเจาะกระเพาะที่ระดับ 0 และ 20% ต่อปริมาณน้ำมันเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำมัน และเปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำมัน พบว่าปริมาณน้ำมัน เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำมัน และเปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำมัน ของโคที่ได้รับเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองทั้ง 2 ระดับไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) สอดคล้องกับรายงานของ Mansfield and Stern (1994) ดังแสดงในตารางที่ 2.3

2.3.3 การใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองทดแทนข้าวโพดต่อการหมักย่อยในกระเพาะหมัก

2.3.3.1 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

Elliott et al. (1995) ได้ทำการทดลองใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดที่ 2 ระดับ คือ 0 และ 18% ในสูตรอาหาร ต่อกระบวนการหมักโดยพบว่า pH มีค่าเท่ากับ 6.08 และ 6.01 ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดในสูตรอาหารทั้ง 2 ระดับ สอดคล้องกับรายงานของ Pantoja et al. (1994) และ Mansfield and Stern (1994) ดังแสดงในตารางที่ 2.4

และจากการศึกษาของ Ipharraguerre et al. (2002b) ที่ได้ศึกษาการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดที่ 0, 10, 20, 30 และ 40% ในสูตรอาหารในโครีดนมพันธุ์โฮลส์ไตน์ฟรีเซียน พบว่า pH มีค่าเท่ากับ 6.11, 6.00, 6.09, 5.96 และ 6.09 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าในกลุ่มที่ได้รับเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองทั้ง 5 ระดับ pH ในกระเพาะหมัก ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) แต่ค่า pH ในกระเพาะหมักมีแนวโน้มลดลง ตามระดับของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร ดังแสดงในตารางที่ 2.4

2.3.3.2 แอมโมเนียไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$)

แอมโมเนียถือได้ว่าเป็นแหล่งไนโตรเจนที่สำคัญสำหรับจุลินทรีย์ในการนำไปใช้เพื่อสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน จากการศึกษาค้นคว้าของ Elliott et al. (1995) ได้ทำการทดลองใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพด ต่อความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะหมัก พบว่าค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะหมัก ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองในสูตรอาหารทั้ง 2 ระดับ คือ 0 และ 18% สอดคล้องกับรายงานของ Ipharraguerre et al. (2002b) แต่พบว่าเมื่อระดับของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองในสูตรอาหารเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะหมักสูงขึ้น แต่การศึกษาของ Mansfield and Stern (1994) พบว่าการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดในสูตรอาหารมีผลต่อค่าความเข้มข้นของ

แอมโมเนียไนโตรในกระเพาะหมักลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) วัดค่าได้ 20.3 และ 17.2 mg/dl ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2.4

2.3.3.3 กรดไขมันระเหยได้

ผลของการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองแทนข้าวโพดในอาหารโคนมต่อความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ในกระเพาะหมัก แสดงไว้ในตารางที่ 2.4 จากรายงาน Pantoja et al. (1994) ได้ทำการศึกษาการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดต่อความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ พบว่าการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงต่อความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้รวม กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดบิวทีริก และอัตราส่วนกรดอะซิติกต่องรดโพรพิโอนิก แต่พบว่ากรดอะซิติกและอัตราส่วนของกรดอะซิติกต่องรดโพรพิโอนิก มีแนวโน้มสูงขึ้น และค่าความเข้มข้นของกรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทีริก มีแนวโน้มลดลง ตามระดับของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร เช่นเดียวกับรายงานของ Ipharraguerre et al. (2002b) ดังแสดงในตารางที่ 2.4

Mansfield and Stern (1994) รายงานว่าการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองไม่ส่งผลต่อกรดโพรพิโอนิก แต่ส่งผลทำให้ปริมาณกรดไขมันระเหยได้รวม กรดอะซิติก และอัตราส่วนกรดอะซิติกต่องรดโพรพิโอนิก เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และส่งผลทำให้ให้กรดบิวทีริกในกระเพาะหมักลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) สอดคล้องกับการทดลองของ Elliott et al. (1995) ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 การใช้เปลือกหุ้มเมล็ดข้าวโพดแทนข้าวโพดในอาหารโคนม ต่อการกินได้ ผลผลิตน้ำนม และองค์ประกอบน้ำนม

		DMI	Milk	3.5%FCM	Fat	Protein
		(Kg/d).....	(%).....			
Pantoja et al. (1994)	Ct: 16% AS, 24% CS, 34% GC	19.3	29.5	23.6	2.65	2.97
	T: 16% AS, 24% CS, 16% GC, 20% SH	17.8	27.3	24.1	3.21	2.82
Mansfield and Stern (1994)	Ct: 14% AH, 6% GH, 32% CS, 28% GC	20.2	28.7	27.9	3.33	2.96
	T: 14% AH, 6% GH, 32% CS, 30% SH	20.7	27.7	26.9	3.33	2.90
Elliott et al. (1995)	Ct: 22% AS, 22% CS, 36% GC	19.8	23.8	25.9	4.61	3.93
	T: 22% AS, 22% CS, 18% GC, 18% SH	19.3	22.8	25.4	4.83	3.90
Ipharraguerre et al. (2002a)	Ct: 23% AS, 23% CS, 40% GC	23.8	29.5	29.0	3.60	3.36
	T1: 23% AS, 23% CS, 30% GC, 10% SH	24.8 ¹	29.3	29.0	3.61 ^L	3.28
	T2: 23% AS, 23% CS, 21% GC, 20% SH	24.4 ¹	29.9	30.1	3.67 ^L	3.33
	T3: 23% AS, 23% CS, 11% GC, 30% SH	22.9 ¹	29.3	30.6	3.93 ^L	3.30
	T4: 23% AS, 23% CS, 1% GC, 40% SH	22.7 ¹	28.3	29.7	3.91 ^L	3.31

หมายเหตุ : AH = alfalfa hay, AS = alfalfa silage, CS = corn silage, Ct = Control, GC = ground corn, GH = grass hay, HMC = high-moisture corn, SH = soy hulls, T = treatment.

^L Significant linear effect (P<0.05),

¹ Significant linear effect (P<0.01)

ตารางที่ 2.4 การใช้เปลือกเมล็ดถั่วเหลืองแทนข้าวโพดในอาหารโคนม ต่อนิเวศวิทยาในกระเพาะหมัก

		pH	NH ₃ N	TVFA _s	C ₂	C ₃	C ₄	Ac:Pr
		(mg/dl)	(mM/L)	(mol/100 mol).....				
Pantoja et al. (1994)	Ct: 16% AS, 24% CS, 34% GC	6.05	NA	103	57.0 ^L	24.6 ^L	13.6	2.34 ^L
	T: 16% AS, 24% CS, 16% GC, 20% SH	5.96	NA	106	61.4 ^L	21.9 ^L	12.8	2.82 ^L
Mansfield and Stern (1994)	Ct: 14% AH, 6% GH, 32% CS, 28% GC	6.47	20.3 ^a	93 ^a	61.6 ^a	21.6	12.6 ^a	2.86 ^a
	T: 14% AH, 6% GH, 32% CS, 30% SH	6.36	17.2 ^b	100 ^b	64.9 ^b	20.9	11.0 ^b	3.11 ^b
Elliott et al. (1995)	Ct: 22% AS, 22% CS, 36% GC	6.08	14.5	97 ^a	61.6 ^A	23.1 ^a	11.7 ^a	2.74 ^a
	T: 22% AS, 22% CS, 18% GC, 18% SH	6.01	15.0	102 ^b	64.9 ^B	21.6 ^b	11.4 ^b	3.02 ^b
Ipharraguerre et al. (2002b)	Ct: 23% AS, 23% CS, 40% GC	6.11	12.6	123	63.7	20.4	11.3	3.2 ^L
	T1: 23% AS, 23% CS, 30% GC, 10% SH	6.00	15.8 ^L	125 ^L	65.0 ^L	19.6 ^l	11.1 ^L	3.38 ^L
	T2: 23% AS, 23% CS, 21% GC, 20% SH	6.09	15.7 ^L	127 ^L	64.5 ^L	20.2 ^l	10.6 ^L	3.32 ^L
	T3: 23% AS, 23% CS, 11% GC, 30% SH	5.96	16.3 ^L	131 ^L	65.5 ^L	19.6 ^l	10.6 ^L	3.44 ^L
	T4: 23% AS, 23% CS, 1% GC, 40% SH	6.09	17.8 ^L	131 ^L	66.2 ^L	19.3 ^l	10.3 ^L	3.48 ^L

หมายเหตุ : AH = alfalfa hay, AS = alfalfa silage, CS = corn silage, Ct = Control, GC = ground corn, GH = grass hay, HMC= high-moisture corn, SH = soybean hulls,

T = treatment, NH₃N = Ammonia nitrogen, C₂ =Acetate, C₃= Propionate, C₄ = Butyrate, Ac : Pr = Acetate-to-propionate ratio, NR = not available

^{a, b} Means within a column with common superscripts do not differ significantly (P < 0.05)

^{A, B} Means within a column with common superscripts do not differ significantly (P < 0.01)

^L Significant linear effect (P < 0.05), ^l Significant linear effect (P < 0.01)

2.4 ความต้องการพลังงานในโคนม

พลังงานเป็นเรื่องสำคัญมากในทางอาหารสัตว์ ร่างกายของสัตว์จะมีความต้องการพลังงานเป็นปริมาณมากเพื่อใช้ในกิจกรรมต่างๆ ทั้งเพื่อการดำรงชีพและการให้ผลผลิต ดังนั้นในการประกอบสูตรอาหารสัตว์จึงมีความจำเป็นต้องคำนึงถึงพลังงานเป็นอันดับแรกเพราะความเข้มข้นของโภชนะต่างๆ ที่จำเป็นต้องมีในสูตรอาหารเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของร่างกายสัตว์ ซึ่งร่างกายของสัตว์มักผันแปรตามระดับพลังงานในสูตรอาหารนั้นสัตว์มีความต้องการพลังงานเป็นปริมาณมากและมักจะขาดแคลน ในทางผลิตสัตว์พลังงานเป็นต้นทุนส่วนใหญ่ในอาหารซึ่งโภชนะที่ให้พลังงานได้คือพวกที่มีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบได้แก่ ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และโปรตีน ซึ่งกระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นในร่างกาย เช่น การกินอาหาร การดูดซึมสารอาหารและการเมแทบอลิซึมของร่างกายต่างต้องเกี่ยวข้องกับพลังงานทั้งสิ้น

2.4.1 หน่วยของพลังงาน

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

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

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

Feed DM Consumed

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

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

การเทียบค่าพลังงานระหว่างระบบทั้งสองกระทำได้โดยประมาณดังนี้

$$1 \text{ cal} = 4.184 \text{ joules}$$

$$1 \text{ kgTDN} = 3.82 \text{ Mcal ME} = 19 \text{ MJ DE} = 16 \text{ MJ ME}$$

2.4.2 การจำแนกประเภทของพลังงาน (Partition of energy) ภาพที่ 2.2 แสดงการจำแนกพลังงานประเภทต่าง ๆ โดยมีรายละเอียดดังนี้

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

2.4.2.2 พลังงานย่อยได้ (Digestible energy, DE) เป็นส่วนแตกต่างระหว่าง GE ที่สัตว์กินเข้าไปกับพลังงานในอุจจาระ (Faecal energy, FE) พลังงานในอุจจาระเป็นส่วนหนึ่งของ GE ในอาหารที่ไม่ถูกย่อยการวัดพลังงานในอุจจาระวัดได้โดยการวัดปริมาณอุจจาระที่ขับถ่ายออกมา (kgDM) และวัดความเข้มข้นของพลังงานในอุจจาระโดยใช้ Bomb calorimeter กล่าวคือ

$$\text{GE Intake} - \text{Faecal energy output} = \text{DE Intake}$$

หรือ
$$\text{DE} = \text{GE} - \text{Faecal Energy}$$

2.4.2.3 พลังงานใช้ประโยชน์ (Metabolisable energy, ME) เป็นส่วนของ DE ที่ไม่ปรากฏในปัสสาวะและแก๊สมีเทน (ซึ่งผลิตขึ้นระหว่างการหมักย่อยในกระเพาะหมัก) กล่าวคือ DE เมื่อถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายจะเกิดการสลายตัวขณะเดียวกันจะมีพลังงานบางส่วนถูกขับออกจากร่างกายโดยไม่ได้ใช้ประโยชน์ได้แก่พลังงานที่ขับออกทางปัสสาวะ (Urinary energy, UE) และพลังงานที่ขับออกในรูปแก๊ส (Gaseous หรือ Methane energy)

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

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

$$ME = 0.82DE$$

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

$$q = ME/GE$$

2.4.2.4 พลังงานสุทธิ (Net energy)

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

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

เมื่อ	NE_{LR}	=	$NE_{LM} + NE_{LG} + NE_{LL}$
โดย	NE_{LR} (Mcal/kg)	=	Net energy lactation requirement
	NE_{LM} (Mcal/kg)	=	Net energy lactation requirement for maintenance
	NE_{LG} (Mcal/kg)	=	Net energy lactation requirement for growth
	NE_{LL} (Mcal/kg)	=	Net energy lactation requirement for lactation

1. ความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพ (Net energy lactation requirement for maintenance) ความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพขึ้นอยู่กับกิจกรรมของตัวสัตว์ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับขนาดรูปร่างและพันธุ์การหา NE_{LM} ของโคนมที่ให้นมสามารถหาได้จากสมการ $0.073LW^{0.75}$ (NRC, 1988) อย่างไรก็ตามในสมการดังกล่าวได้มีการเผื่อในกิจกรรมบางส่วนอีก 10% ซึ่งจะได้สมการที่ใช้ในการหา NE_{LM} คือ $0.080LW^{0.75}$ (NRC, 1988) มีการศึกษากับการเลี้ยง

โคนมโดยการปล่อยเลี้ยงในทุ่งหญ้าโดยการเพิ่มระยะทางในการเดินของโคนมและพบว่าในทุ่งหญ้าที่มีหญ้าไม่สมบูรณ์อาจจะมีการเผื่อในการคำนวณต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพจาก 10% เป็น 20% ก็ได้ นอกจากกิจกรรมของตัวโคนมเองแล้วสิ่งแวดล้อมรอบตัวของโคนมนั้นก็มีผลต่อความต้องการพลังงานด้วยเช่นกัน

ในขณะที่โคสาวนั้นจะมีสมการในการหาความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพ คือ

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

2. ความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโต (Net energy lactation requirement for growth) ความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตในการเจริญเติบโตของสัตว์นั้น ดัชนีที่บ่งบอกได้อย่างชัดเจนก็คือน้ำหนักตัวของตัวสัตว์ Moe and Tyrrell (1974) พบว่าพลังงานที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม นั้นมีค่าพลังงานเท่ากับ 6 Mcal ซึ่ง Moe et al. (1971) ได้ประมาณการใช้พลังงานเพื่อการเจริญเติบโตไว้ว่าการสร้างนํ้านม 1 กิโลกรัม นั้นจะมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานจากน้ำหนักตัว 82% ดังนั้นในการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวที่ลดลง 1 กิโลกรัม ของโคนมในระยะการให้นมนั้นจะต้องการพลังงานเท่ากับ $(6.00)(0.82)$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.92 Mcal ในขณะที่การเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมของโคนมนั้นในระยะการให้นมประสิทธิภาพของการใช้ ME ในการสร้างนํ้านม 1 กิโลกรัมมีค่าเท่ากับ 64% และประสิทธิภาพของการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมของโคนมในระยะให้นมนั้น มีค่าเท่ากับ 75% ดังนั้นในการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมของโคนมในระยะให้นมนั้นจะต้องการพลังงานเท่ากับ $(6.00)(0.64 / 0.75)$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.12 Mcal ซึ่งการคำนวณความต้องการสำหรับการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวของโคนมนั้น เพื่อที่จะช่วยในการป้องกันการขาดพลังงานของโคนมในระยะให้นมในระยะต่างๆ (NRC, 1988) ในขณะที่โคสาวจะมีความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโต

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

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

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

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

ทั้งนี้เพราะ

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

เมื่อ
$$\text{Reserve energy} = (\text{proportion empty body fat} \times 9.4) + (\text{proportion of empty body protein} \times 5.55)$$

$$\text{Proportion empty body fat} = 0.037683 \times \text{BCS (9)}$$

$$\text{Proportion of empty body protein} = 0.200886 - 0.0066762 \times \text{BCS (9)}$$

$$\text{BCS (9)} = ((\text{dairy BCS} - 1) \times 2) + 1$$

3. ความต้องการพลังงานเพื่อการสร้างน้ำนม (Net energy lactation requirement for lactation) ในการคำนวณพลังงานเพื่อการสร้างน้ำนมจะใช้องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม เช่น เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนม เปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนม และเปอร์เซ็นต์แลคโตสในน้ำนม สำหรับประเมิน NRC (1988) ใช้สมการคำนวณจากเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนม ดังนี้ คือ $0.3512 + 0.0962 \% \text{Fat}$

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

ถ้าเราวิเคราะห์เฉพาะเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมใช้สมการต่อไปนี้

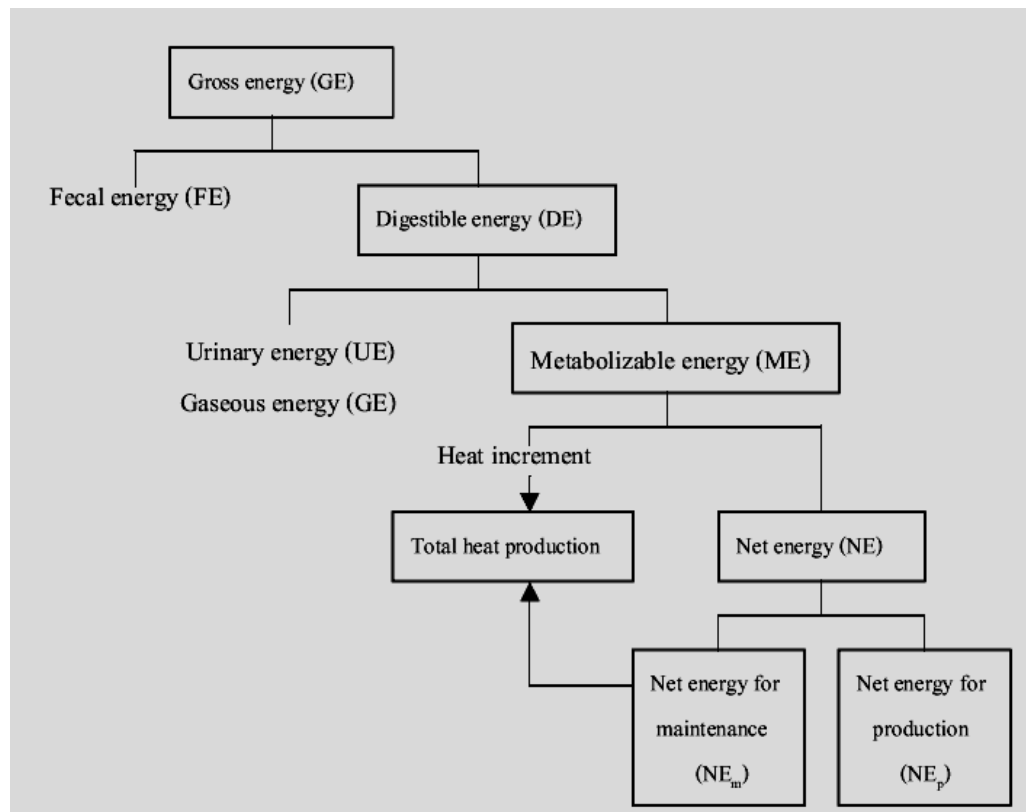
$$NE_{LL} \text{ (Mcal/kg of Milk)} = 0.360 + (0.0969 \times \% \text{Fat})$$

คำนวณจากเปอร์เซ็นต์ไขมันและโปรตีน

$$NE_{LL} \text{ (Mcal/kg of Milk)} = (0.0929 \times \% \text{Fat}) + (0.0547 \times \% \text{Protein}) + 0.192$$

คำนวณจากเปอร์เซ็นต์ไขมัน โปรตีนและแลคโตส

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



ภาพที่ 2.2 ขั้นตอนการจำแนกพลังงานประเภทต่าง ๆ

ที่มา : บุญล้อม (2541)

2.4.3 การประเมินคุณค่าทางพลังงานตาม NRC (2001)

ถึงแม้ระบบการประเมินคุณค่าทางโภชนาการโดยใช้ค่า NE จะเป็นระบบที่ดี แต่ทำการวัดโดยตรงได้ยากต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายมากตลอดจนต้องใช้เครื่องมือที่ยุ่ยากซับซ้อน ประเทศต่าง ๆ จึงคิดค้นสมการมาใช้ในการคำนวณ โดยใช้การประเมินค่าทางพลังงานจากองค์ประกอบทางเคมี เช่น ในประเทศเยอรมันคำนวณค่า NE_L จาก GE และ ME ประเทศสหรัฐอเมริกาคำนวณจาก TDN อย่างไรก็ตามการจะได้มาซึ่งค่าต่าง ๆ ในการทำนายคุณค่าทางพลังงานก็มีหลากหลายบางสมการใช้ได้เฉพาะอาหารบางชนิด เช่น อาหารข้น บางสมการใช้ได้เฉพาะกับอาหารหยาบจนกระทั่ง Weiss et al. (1992) ทำการปรับปรุงสมการที่สามารถนำมาใช้ทำนายค่าทางพลังงานกับอาหารหลายชนิดรวมทั้ง By-products และ Heat-damaged forages โดยหลักการของสมการนี้ยึดหลักที่ว่า โภชนะชนิดใด

ที่ให้พลังงานได้ต้องนำมาคำนวณด้วย ซึ่งโภชนะดังกล่าวประกอบด้วย โปรตีนหยาบ ไขมัน NFC และ NDF การคำนวณต้องอาศัย True digestibility (td) ของโภชนะนั้น ๆ จากนั้นจะได้ค่า TDN ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาค่า NE_{LL} ได้โดยอาศัยสมการต่าง ๆ ดังจะได้กล่าวต่อไป

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

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

เมื่อ td = Truly digestible

2.4.3.1 พลังงานจาก NFC

โดยปกติ NFC เป็น Uniform feed fraction ที่มีค่า td ประมาณ 0.98 ถ้าสัตว์ได้รับอาหารที่ระดับ Maintenance NFC คำนวณได้โดยการหักลบค่าถ้า โปรตีนหยาบ NDF_N และ ไขมัน จาก 100 ที่ต้องใช้ค่า NDF_N แทนค่า NDF ก็เพื่อไม่ให้โปรตีนหยาบ ถูกหักออกซ้ำกันถึง 2 ครั้ง มิฉะนั้นจะทำให้ค่า NFC ต่ำไป การคำนวณพลังงานจาก NFC คำนวณได้ดังสมการ

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

$$TdNFC = 0.98 (100 - [(NDFN + CP + EE + Ash]) \times PAF$$

$$NDF_N = NDF - NDICP$$

$$NDICP = NDIN \times 6.25$$

เมื่อ NFC = Non fiber carbohydrate

NDF = Neutral detergent fiber

NDIN = Neutral detergent insoluble nitrogen

PAF = Processing adjustment factor

ตารางที่ 2.5 ปัจจัยที่ใช้ในการปรับเนื่องจากกระบวนการผลิต (Processing adjustment factors, PAF)
สำหรับ NFC (NRC, 2001)

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

For feeds not shown PAF = 1.0

2.4.3.2. พลังงานจากโปรตีน

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

Truly digestible CP for forages (tdCPf)

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

Truly digestible CP for concentrates (tdCPc)

$$\text{TdCPc} = [1 - (0.4 \times (\text{ADICP}/\text{CP}))] \times \text{CP}$$

เมื่อ $\text{ADICP} = \text{Acid detergent insoluble nitrogen (ADIN)} \times 6.25$

2.4.3.3 พลังงานจากไขมัน

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

$$\text{FA} = \text{EE} - 1.0 \quad (\text{Allen, 2000})$$

$$\text{tdFA} = \text{FA} \quad \text{แต่ถ้าในกรณีที่ } \text{EE} < 1, \text{FA} \text{ จะมีค่าเท่ากับ } 0$$

2.4.3.4 พลังงานจาก NDF

NDF เป็นค่าที่ไม่ Uniform แต่ NDF ส่วนที่อาจย่อยได้ (Potential digestible NDF หรือ pdNDF) เป็นค่าที่ uniform โดยมีการย่อยได้เท่ากับ 1.0 นอกจากนี้ Conrad et al. (1984) ได้สร้างสมการประเมินค่า pdNDF โดยอาศัย Lignified surface area ทั้งนี้เพราะ Lignin ย่อยไม่ได้จึงควรนำมาหักลบออกจาก NDF เพื่อให้ได้ค่า Lignin-free NDF นอกจากนี้ Lignin ยังไปขัดขวางการย่อยได้ของ Cellulose และ Hemicellulose จึงควรคำนวณหาสัดส่วนของพื้นที่ผิว NDF ที่ถูกปกคลุมด้วย Lignin เพื่อนำมาหักลบออก ดังนั้นค่า pdNDF คำนวณได้จากสมการ

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

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

$$NDF_N = NDF - NDICP$$

ค่าทุกตัวมีหน่วยเป็น % และ $NDICP = NDIN \times 6.25$

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

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

อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่อาหารสัตว์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากสัตว์ เช่น โปรตีน จากสัตว์ ซึ่งจะไม่มีส่วนของ Structural carbohydrates แต่จะมีส่วนของ Neutral detergent insoluble residue แต่ไม่ใช่เป็นส่วนของ Cellulose, Hemicelluloses หรือ Lignin ดังนั้นสมการข้างต้นจะใช้ ไม่ได้ในกรณีนี้ต้องใช้สมการดังนี้

$$\begin{aligned} TDN_{IX} &= (CP_{digest} \times CP) + (FA \times 2.25) + 0.98(100 - CP - Ash - EE) - 7 \\ \text{เมื่อ } CP_{digest} &= \text{estimated true digestibility of CP (ตารางที่ 2.6)} \end{aligned}$$

ตารางที่ 2.6 ประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีนหยาบเพื่อใช้ในการประมาณค่า TDN_{IX} สำหรับ
ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสัตว์ (NRC, 2001)

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

เช่นเดียวกันกับกรณีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสัตว์ ถ้าเป็นอาหารสัตว์จำพวกไขมัน
จะคำนวณค่า TDN_{IX} จากการวัดค่า Fatty acid digestibility ดังแสดงไว้ในตารางที่ (2.7)

ตารางที่ 2.7 ประสิทธิภาพการย่อยได้เพื่อการดำรงชีพ (Assumed 8% increase in digestibility
compared with 3X maintenance) สำหรับอาหารสัตว์จำพวกไขมัน (NRC, 2001)

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

สำหรับแหล่งไขมันที่มีองค์ประกอบของ Glycerol:

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

สำหรับแหล่งไขมันที่ไม่มีองค์ประกอบของ Glycerol:

$$TDN_{IX}(\%) = (EE \times FA \text{ digest}) \times 2.25$$

2.4.3.5 การประมาณค่า DE

1. การประมาณค่า DE ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Maintenance โดย Crampton et al. (1957) และ Swift (1957) คำนวณค่า GE value of TDN เท่ากับ 4.409 Mcal/kg อย่างไรก็ตาม โภชนะแต่ละชนิดในอาหารมีค่า Heat of combustion ที่แตกต่างกัน เช่น 4.2 Mcal/kg for carbohydrate, 5.6 Mcal/kg for CP, 9.4 Mcal/kg for fatty acid และ 4.3 Mcal/kg for glycerol (Manynard et al., 1979)

จากการที่ GE value of TDN ในอาหารแต่ละชนิดมีค่าไม่เท่ากัน อาหารที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ใน TDN จะมีค่า GE value of TDN มากกว่า 4.409 Mcal/kg ในทางกลับกันอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ใน TDN จะมีค่า GE value of TDN น้อยกว่า 4.409 Mcal/kg ดังนั้นการคำนวณค่า DE จาก $0.4409 \times TDN(\%)$ ตามที่แนะนำไว้ใน NRC (1988) นั้น ปัจจุบันได้ยกเลิกแล้ว NRC (2001) ได้พัฒนาการคำนวณค่า DE โดยคำนวณจาก Estimated digestible nutrient concentration คูณด้วย Heat of combustion ของโภชนะนั้น ๆ และเนื่องจาก DE คำนวณจาก Apparent digestibility แต่สมการคำนวณ TDN จากโภชนะต่าง ๆ ใช้ค่า True digestibility ดังนั้นต้องใช้ค่า Metabolic fecal energy มาทำการปรับเมื่อต้องการคำนวณค่า DE จาก TDN โดยทั่วไปค่า Heat of combustion ของ Metabolic fecal TDN จะประมาณเท่ากับ 4.4 Mcal/kg ดังนั้น Metabolic fecal DE = $7 \times 0.044 = 0.3$ Mcal/kg ดังนั้นสามารถคำนวณ DE_{IX} ได้จากสมการดังต่อไปนี้

สำหรับอาหารสัตว์ทั่วไป

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

สำหรับอาหารโปรตีนจากสัตว์

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

สำหรับอาหารไขมันที่มีองค์ประกอบของ glycerol

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

สำหรับอาหารไขมันที่ไม่มีองค์ประกอบของ glycerol

$$DE_{IX} \text{ (Mcal/kg)} = [9.4 \times (FAdigest \times 0.9 \times (EE/100))]$$

tdNFC, tdNDF, tdCP และ FA มีหน่วยเป็น %

2. การประมาณค่า DE ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Actual Intake การย่อยได้

อาหารของโคนมจะลดลง เมื่อระดับการกินได้เพิ่มขึ้น (Tyrrell and Moe, 1975) ซึ่งจะมีผลทำให้ค่าพลังงานของอาหารนั้น ๆ ลดลงเมื่อการกินได้เพิ่มขึ้นโดยเฉพาะในโครีดนมที่ให้น้ำนมมาก ๆ อย่างเช่นในปัจจุบัน ซึ่งอาจกินอาหารได้มากถึง 4 เท่าของการกินได้ที่ระดับ Maintenance การลดลงของ Digestibility เมื่อ intake เพิ่มขึ้นจะมีความสัมพันธ์กับ Digestibility of diet at maintenance (Wagner and Loosli, 1967) เมื่อการกินได้อาหารเพิ่มขึ้นอาหารที่มีค่า Digestibility at maintenance สูงจะมีอัตราการลดลงของ Digestibility มากกว่าอาหารที่มีค่า Digestibility at maintenance ตาม NRC (1988) ใช้ค่าคงที่ 4% ในการปรับ Energy value at 1X to 3X maintenance ถ้าใช้วิธีการเดิมนี้ในการคำนวณ อาหารที่มี 75% TDN_{IX} จะมีค่า Discount 3% unit multiple of 1X ในขณะที่ อาหารที่มี 60% TDN_{IX} จะมีค่า Discount เท่ากับ 2.4% ถ้าอาหารมีค่า TDN_{IX} เท่ากับหรือน้อยกว่า 60% ค่า Discount จะมีค่าค่อนข้างน้อย NRC (2001) แนะนำให้ใช้สมการนี้ในการคำนวณ % Discount

$$\text{TDN percentage unit decline} = 0.18 \text{ TDN}_{IX} - 10.3 \text{ (R}^2 = 0.85\text{)}$$

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

$$\text{Discount} = [(TDN_{IX} - ((0.18 \times T \text{ TDN}_{IX}) - 10.3)) \times \text{Intake}] / TDN_{IX}$$

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

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

3. การประมาณค่า ME ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Actual Intake การประมาณค่า ME at production level of intake (ME_p) นั้นคำนวณจากค่า DE_p การคำนวณค่า ME จาก DE ใน NRC (1988) ใช้สมการ ME (Mcal/kg) = (1.01 x DE) – 0.45 อย่างไรก็ตามสมการดังกล่าวประเมินจากอาหารที่มีไขมันประมาณ 3% และเนื่องจากประสิทธิภาพการเปลี่ยน DE จากไขมันเป็น ME นั้นมีค่าเกือบ 100% (Andrews et al., 1991; Romo et al., 1996) ดังนั้นสมการข้างต้นจะประมาณค่า ME ของอาหารที่มีไขมันสูงต่ำเกินไป NRC (2001) แนะนำให้ใช้สมการนี้แทน

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

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

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

สำหรับ Fat supplements,

$$ME_p(\text{Mcal/kg}) = DE_p(\text{Mcal/kg})$$

2.4.3.6 การประมาณค่าพลังงานสุทธิ (Net energy, NE_L)

1. การประมาณค่า NE_L ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Actual Intake NRC (1988) ใช้สมการ NE_L (Mcal/kg) = 0.0245 x (%TDN) – 0.12 ในการประมาณค่า NE_L สมการนี้ได้วิจารณ์อย่างมากเพราะถ้าอาหารมี TDN 40% (DE = 1.76 Mcal/kg) มีค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยน DE เป็น NE_{Lix} เท่ากับ 0.49 แต่ถ้ามี TDN 90% (DE = 3.97 Mcal/kg) ประสิทธิภาพจะเป็น 0.53 ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวการประมาณค่า NE_{Lp} จาก ME_p NRC (2001) เลือกใช้สมการที่เสนอโดย Moe and Tyrrell (1972) แทนสมการเดิมที่ได้แนะนำไว้ใน NRC (1988)

$$NE_{Lp} = [0.703 \times ME_p(\text{Mcal/kg})] - 0.19 \text{ (Moe and Tyrrell, 1972)}$$

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

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

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

สำหรับ fat supplements

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

2. การประมาณค่า Net Energy of Feeds for Maintenance and Gain สม

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

$$NE_M = 1.37 ME - 0.138 ME^2 + 0.0105 ME^3 - 1.12$$

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

เมื่อ ME, NE_M และ NE_G มีหน่วยเป็น Mcal/kg

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

2.5.ความต้องการโปรตีนในโคนม

สัตว์เคี้ยวเอื้องมีความต้องการโปรตีนเพื่อเสริมสร้างส่วนต่างๆ ของร่างกายและเพื่อการเจริญเติบโตการให้ผลผลิตในรูปของเนื้อและนม ความต้องการโปรตีนเพื่อการต่างๆ มีลักษณะคล้ายกับความต้องการพลังงาน คือ ความต้องการโปรตีนเพื่อการดำรงชีพ ความต้องการโปรตีนเพื่อการเจริญเติบโตและความต้องการโปรตีนเพื่อการผลิตน้ำนม

2.5.1 การคำนวณโปรตีนในอาหาร

การคำนวณโปรตีนในอาหารจะสามารถทำได้โดยการหาประสิทธิภาพการย่อยได้ของอาหารโปรตีนจากวิธีการ Nylon bag technique

2.5.2 การคำนวณความต้องการโปรตีนในตัวโคนม

NRC (2001) ได้ปรับเปลี่ยนการประเมินความต้องการโปรตีนของโคนมโดยนำเสนอใหม่ในรูปของ Metabolizable protein (MP_R)

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

1. Metabolizable Protein requirements for maintenance (MP_M)

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

MP_U คือ ความต้องการ MP สำหรับ Endogenous urinary protein (UPN)

$$MP_U = UPN/0.67$$

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

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

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

$$MP_{SH} = SPN/0.67$$

$$SBW = 0.96BW$$

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

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

MP_{MFP} คือ ความต้องการ MP สำหรับ metabolic fecal protein

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

$$MFP \text{ (g/day)} = 30 \times \text{Dry Matter Intake (kg.)}$$

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

2. Metabolizable Protein requirements for growth (MP_G)

$$MP_G = NP_G / \text{EffMP_}NP_G$$

เมื่อ

$$NP_G = \text{SWG} \times (268 - (29.4 \times (RE/\text{SWG})))$$

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

$$\text{EQEBW} = 0.891 \times \text{EQSBW}$$

$$\text{EQEBG} = 0.956 \times \text{SWG}$$

$$\text{EQSBW} = \text{SBW} \times (478/\text{MSBW})$$

$$\text{MSBW} = 500 \text{ kg}$$

ถ้าน้ำหนักโค EQSBW (Equivalent shrunk BW) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 478 kg ใช้

$$\text{EffMP_}NP_G = (83.4 - (0.114 \times \text{EQSBW}))/100$$

ถ้าน้ำหนักโค EQSBW (Equivalent shrunk BW) มากกว่า 478 kg ใช้

$$\text{EffMP_}NP_G = 0.28908$$

3. Metabolizable Protein requirements for lactation (MP_L)

$$MP_L \text{ (g/d)} = (\text{Y Protein}/0.67) \times 1000$$

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

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

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

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

$$\begin{aligned} MCP &= 0.85 \text{ RDP (NRC, 2001)} \\ MTP &= 0.8 \text{ MCP} \\ \text{DMTP หรือ } MP_{RDP} &= 0.8 \text{ MTP} \\ MP_{Bact} &= 0.64 \text{ MCP} \end{aligned}$$

การคำนวณหาความต้องการ MCP ในโคนมสามารถหาได้จากสมการ NRC (2001)

$$\begin{aligned} \text{โดยที่ } MCP &= 0.85 \text{ RDP (NRC, 2001)} \\ RDP_R &= MCP/0.85 \\ RDP_R &= 0.15294 \times TDN_{Actual} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad MP_R &= MP_{RUP} + MP_{Bact} + MP_{Endo} \\ \text{หรือ} \quad MP_{Bact} &= MP_R - MP_{RUP} - MP_{Endo} \\ MP_{Bact} &= 0.64 \text{ MCP} \\ MP_{Endo} &= 0.4 \times 1.9 \times DMI \times 6.25 \end{aligned}$$

การคำนวณหาความต้องการ RUP

$$\begin{aligned} \text{MP}_{\text{RUP}} &= \text{MP}_R - (\text{MP}_{\text{Bact}} + \text{MP}_{\text{Endo}}) \\ 0.8 \text{ RU} &= \text{total digest RUP} \\ 0.66 \times \text{total digest RUP} &= \text{MP}_{\text{RUP}} \\ \text{total digest RUP} &= \text{MP}_{\text{RUP}} / 0.66 \\ \text{RUP}_R &= \text{MP}_{\text{RUP}} / 0.528 \end{aligned}$$

ดังนั้นจะสามารถคำนวณ CP requirement จาก RDP และ RUP จากสมการ

$$\text{CP}_R = \text{RDP}_R + \text{RUP}_R$$

เมื่อ	NP_G	= Net protein requirement for growth
	EffMP_NP_G	= Efficiency of use of microbial protein for growth
	SWG	= Shrunk weight gain
	RE	= Retain energy
	EQEBG	= Equivalent empty body weight gain
	EQSBW	= Equivalent shrunk body weight
	EQEBW	= Equivalent empty body weight
	SBW	= Shrunk body weight
	WG	= Weight gain

2.6 การให้น้ำนมของโค

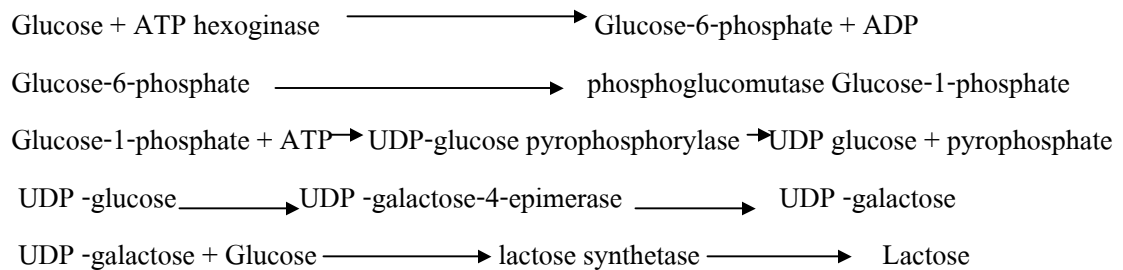
น้ำนมเป็นผลผลิตที่ได้จากการสังเคราะห์จากองค์ประกอบของสารตั้งต้นในเลือด เช่น กลูโคส กรดอะมิโน และกรดไขมันอิสระ เป็นต้น โดยเซลล์เฉพาะที่เต้านม คือ Secretory cell เป็นเซลล์สังเคราะห์น้ำนมที่มีลักษณะคล้ายกระเปาะนม เรียกว่า Alveolus ปริมาณน้ำนมที่ได้จะเก็บกักไว้รอการปล่อยออกมาโดยวิธีการดูดของลูกโค หรือผ่านกระบวนการรีดนม

2.6.1 การสังเคราะห์นม (Milk synthesis)

ส่วนประกอบหลักของน้ำนม ได้แก่ น้ำและปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำนมจะมีความสัมพันธ์ในทางบวก (Positive relations) กับปริมาณแร่ธาตุที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นและประจุ (ions) ต่าง ๆ ซึ่งได้แก่ ประจุโพแทสเซียม โซเดียม และคลอรีน ที่หลั่งออกมาทางน้ำนม

2.6.1.1 การสังเคราะห์แล็กโตส (Lactose synthesis)

น้ำตาลแล็กโตสในน้ำนมสังเคราะห์มาจากกลูโคส ซึ่งไหลเวียนอยู่ในกระแสเลือด ที่ไหลผ่านต่อมสร้างน้ำนมกลไกการดูดซึม (Uptake) กลูโคสโดยเซลล์กลั่นสร้างน้ำนมยังไม่มีรายงานที่แน่ชัดอย่างไรก็ตามระดับของอินซูลิน (Insulin) ในกระแสเลือดจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระดับของกลูโคสในกระแสเลือด สมการการสังเคราะห์กลูโคสสามารถแสดงได้ดังนี้



สมการขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นขั้นตอนที่จำกัด (Limiting step) การสังเคราะห์แล็กโตส ซึ่งเกิดขึ้นในรูเมน (Lumen) ของโกลจิแอปพาราตัส (Golgi apparatus) ปริมาณของน้ำนมที่โคผลิตจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณการสังเคราะห์แล็กโตสและปริมาณน้ำนมจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณการกินอาหารแล็กโตสส่วนใหญ่จะถูกสังเคราะห์มาจากกลูโคส ซึ่งสังเคราะห์มาจากกรดไพรูฟิอิกและกรดอะมิโนที่ดูดซึมมาจากระบบอาหารอีกทางหนึ่ง (Holmes and Wilson, 1984)

2.6.1.2 การสังเคราะห์โปรตีน (Protein synthesis)

โปรตีนในน้ำนมที่ถูกสังเคราะห์และขับออกมาโดยเซลล์กลั่นสร้างน้ำนมประกอบไปด้วยเคซีน (Casein) แอลฟา-แล็กตาลบูมิน (α -lactalbumin) เบต้า-แล็กโตโกลบูลิน (β -lactoglobulin) และโปรตีนชนิดอื่น ๆ อีกเล็กน้อย เช่น เอนไซม์ต่าง ๆ สารตั้งต้น (Precursors) ในการสังเคราะห์โปรตีน คือ กรดอะมิโนที่ถูกส่งมายังต่อมสร้างน้ำนมทางกระแสโลหิต ต่อมาสร้างน้ำนมจะดูดซึมกรดอะมิโนที่จำเป็น (Essential amino acids) อย่างเพียงพอต่อการสังเคราะห์กรดอะมิโนที่จำเป็นในน้ำนมแต่ในบางครั้งอาจดูดซึมกรดอะมิโนที่จำเป็นเกินกว่าความต้องการส่วนที่เกินจะถูกนำไปสังเคราะห์กรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น (Non-essential amino acids) และเป็นแหล่งพลังงานสำหรับการสังเคราะห์น้ำนมกรดอะมิโนที่จำเป็น โดยเฉพาะกรดอะมิโนที่มีกำมะถัน (Sulphur) เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยมากกว่า 60% จะถูกดูดซึมโดยต่อมสร้างน้ำนมในขณะที่ไหลผ่านมาตามกระแสเลือด ถ้ากรดอะมิโนเหล่านี้มีไม่เพียงพอจะมีผลกระทบต่อการสังเคราะห์โปรตีนในน้ำนม หรือแม้กระทั่งมีผลกระทบต่อการผลิตน้ำนมสำหรับการดูดซึมกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็นโดยต่อมสร้างน้ำมนั้นไม่แน่นอนในบางขณะจะดูดซึมมากกว่าความต้องการในการสังเคราะห์น้ำนม แต่ในบางโอกาสอาจขาดอย่างมาก (Holmes and Wilson, 1984)

กรดอะมิโนจะถูกดูดซึมจากกระแสเลือดเข้าสู่ต่อมสร้างน้ำนมโดยผ่านกลไกที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ แอลฟา-กลูตามิลทรานเปปติเดส (α -glutamyl tranpeptidase) และโปรตีนในน้ำนมจะถูกสังเคราะห์โดยไรโบโซม (Ribosomes) ที่อยู่บนเอนโดพลาสมิกเรติคูลัม (Endoplasmic reticulum) (Holmes and Wilson, 1984)

การสังเคราะห์น้ำนมอาจจะถูกจำกัดด้วยปริมาณของกรดอะมิโนบางชนิด ซึ่งโดยเฉพาะเมไทโอนีน (Methionine) อย่างไรก็ตามฟีนิลอะลานีน (Phenylalanine) ฮิสติดีน (Histidine) ไลซีน (Lysine) และทรีโอนีน (Threonine) อาจมีส่วนเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์น้ำนมด้วยทั้งนี้ มีรายงานว่า การเสริมกรดอะมิโนให้ไหลผ่านกระเพาะหมักและให้ไปย่อยในลำไส้เล็กสามารถเพิ่มผลผลิตน้ำนมได้กลไกการทำงานของกรดอะมิโนต่อผลผลิตน้ำนมยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด อาจเป็นไปได้ว่าเป็นการเพิ่มปริมาณของกรดอะมิโนให้กับต่อมสร้างน้ำนม หรือกรดอะมิโนที่เพิ่มขึ้นนี้อาจไปกระตุ้นการปลดปล่อยฮอร์โมนที่มีหน้าที่กระตุ้นการกลั่นสร้างน้ำนม (Holmes and Wilson, 1984)

2.6.1.3 การสังเคราะห์ไขมัน (Fat synthesis)

ไขมันในน้ำนมกว่า 98% จะอยู่ในรูปของไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides) ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคไขมันระหว่าง 1-7 ไมโครเมตร (μm) (Holmes and Wilson, 1984) โคเลสเตอรอลจะได้รับสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ไขมันโดยตรงจากอาหารและจากไขมันที่สะสมอยู่ในเนื้อเยื่อไขมันภายในร่างกายกรดไขมันในน้ำนมจำพวก Short และ Medium chain (C_4 - C_{16}) จะถูกสังเคราะห์มาจากอะซิเตท และเบต้า-ไฮดรอกซีบิวทีเรท (β -hydroxybutyrate) ซึ่งจะซิเตทจะถูกดูดซึมจากกระเพาะหมักและเบต้า-ไฮดรอกซีบิวทีเรท (β -hydroxybutyrate) จะถูกเปลี่ยนรูปมาจากบิวทีเรท ในขณะที่ถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะหมัก 40-60% ของสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ไขมันจะอยู่ในรูปของไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides) ซึ่งถูกสังเคราะห์ในลำไส้เล็กจากกรดไขมันที่ได้จากอาหารหรือถูกสังเคราะห์ที่ตับจากกรดไขมันที่ได้จากเนื้อเยื่อไขมัน (Holmes and Wilson, 1984)

2.6.2 ส่วนประกอบของน้ำนม

น้ำนมเป็นอาหารที่สมบูรณ์ที่สุดที่สร้างขึ้นในธรรมชาติสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมสร้างน้ำนมเพื่อใช้เลี้ยงลูกอ่อนทำให้ลูกสามารถมีชีวิตรอดและเจริญเติบโต น้ำนมมีลักษณะเป็นของเหลวปกติ มีสีขาวแต่บางครั้งอาจมีสีเหลืองปน มีรสหวานเล็กน้อย น้ำนมโคเป็นของเหลวที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายและมีสารต่าง ๆ ละลายอยู่ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ไขมันจะกระจายตัวอยู่ในน้ำเป็นอิมัลชัน (Emulsion) มีโปรตีน เช่น Casein Albumin และ Globulin ละลายอยู่ในรูปของสารแขวนลอย (Colloid) และน้ำตาลกรดอะมิโน วิตามินต่าง ๆ และเกลือแร่ต่าง ๆ ละลายอยู่ในรูปของ Crystalloid หรือสารละลายแท้ ส่วนประกอบของน้ำนมโคแบ่งออกได้เป็น 2 พวก คือ ส่วนประกอบที่มีปริมาณมากและส่วนประกอบที่มีปริมาณน้อย ส่วนประกอบที่มีปริมาณมาก ได้แก่ น้ำ ไขมัน

โปรตีน คาร์โบไฮเดรตและแร่ธาตุต่าง ๆ ในส่วนประกอบที่มีปริมาณน้อย ได้แก่ เอนไซม์ ฟอสโฟลิปิด (Phospholipid) สเตอรอล (Sterol) ริงควัตถุ วิตามินต่าง ๆ สารที่ให้กลิ่น สารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน และแก๊ส

2.6.2.1 น้ำ ในน้ำนมมีน้ำประมาณ 82-90% โดยเฉลี่ยประมาณ 87% ทำหน้าที่เป็นตัวละลายเพื่อให้ส่วนประกอบที่เป็นของแข็งละลาย หรือแพร่กระจาย นอกจากนั้นน้ำบางส่วนยังเกาะอยู่กับเกล็ดและน้ำตาลและบางส่วนรวมอยู่กับโปรตีน

2.6.2.2 ไขมัน ไขมันนมหรือ Milk fat หรือ Butter fat มีปริมาณแปรปรวนมากกว่าชนิดอื่น ๆ มีค่าประมาณ 3.9% ความแปรปรวนขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น พันธุ์สัตว์แต่ละตัว อาหาร และฤดูกาล ฯลฯ ไขมันนมประกอบด้วย Triglycerides 98-99% ส่วนอีก 1-2% เป็นพวก Phospholipid, Sterol, Carotinoid, Fat soluble vitamins A, D, E และ K และ Free-fatty acid เล็กน้อย ซึ่งรวมเรียกว่า Milk lipids 98% โดยน้ำหนัก 50% ของกรดไขมันในน้ำนมสังเคราะห์มาจากอะซิเตท และเบต้า-ไฮดรอกซีบิวทีเรท โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์ในต่อมสร้างน้ำนมอีก 40-45% ได้รับจากอาหารที่โคกินเข้าไปและน้อยกว่า 10% ได้จากไขมันที่สะสมในร่างกาย (Palmquist and Maltos, 1978)

2.6.2.3 โปรตีน โปรตีนในน้ำนมโคที่สำคัญ ได้แก่ Casein, Lactoalbumin และ Lactoglobulin โปรตีน Casein มีประมาณ 80% ของโปรตีนทั้งหมด ส่วน Lactoalbumin และ Lactoglobulin รวมกันเรียกว่า Serum-protein โปรตีนทุกชนิดสังเคราะห์ขึ้นจากกรดอะมิโนในกระแสเลือด การสังเคราะห์โปรตีนเกิดขึ้นในเซลล์กลั่นสร้างน้ำนม โปรตีนเคซีนในน้ำนมอยู่ในรูปเป็นเม็ดเล็ก ๆ กระจายอยู่สม่ำเสมอในน้ำนม โดยมีเค-เคซีนเป็นตัวรักษาเคซีนให้คงอยู่ในรูปเม็ดไม่จับกันเป็นก้อน (ชวนิศนดากร, 2534)

2.6.2.4 น้ำตาลและคาร์โบไฮเดรต น้ำตาลที่พบมากในน้ำนม คือ น้ำตาลแล็กโตส ซึ่งเป็นพวกน้ำตาล Saccharide เป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดเดียวที่มีเป็นจำนวนมากในน้ำนมเป็นส่วนหนึ่งของของแข็งที่มีมากที่สุดและมีปริมาณค่อนข้างคงที่ในน้ำนม โคมีปริมาณแล็กโตส 4.4-5.2% ค่าเฉลี่ยประมาณ 4.9% ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อระดับหรือปริมาณ แล็กโตสในน้ำนม คือ สภาพของเต้านม ถ้าเต้านมอักเสบจะมีผลทำให้เกล็ดกลอไรด์ในน้ำนมเพิ่มขึ้นและแล็กโตสลดลง และจะแปรผกผันกับปริมาณเต้านม แล็กโตสมีความสำคัญต่อขบวนการหมักและการบ่มของผลิตภัณฑ์นม และเป็นตัวช่วยเพิ่มคุณค่าทางอาหารในน้ำนมและผลิตภัณฑ์นม นอกจากนั้นยังช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์นมที่ต้องใช้ความร้อนสูง ๆ เกิดกลิ่นและสีเนื่องจากเกิดการไหม้

2.6.2.5 แร่ธาตุต่างๆ (Minerals) ในน้ำนมมีแร่ธาตุต่าง ๆ หลายชนิดเป็นแร่ธาตุอาหารที่สำคัญและจำเป็นต่อร่างกาย เซลล์กลั่นสร้างน้ำนมรับแร่ธาตุและวิตามินต่าง ๆ จากน้ำเลือดโดยตรง แร่ธาตุที่พบมากในน้ำนม คือ แคลเซียม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม คลอไรด์ และแมกนีเซียม จำนวนน้ำตาลแล็กโตสโซเดียม โพแทสเซียม และคลอไรด์ในน้ำนมค่อนข้างคงที่ แร่ธาตุที่

พบในน้ำนมเพียงเล็กน้อย เช่น โบรอน โคบอลต์ ไอโอดีน นั้นพบว่าเมื่ออยู่ในอาหารมากก็จะพบว่ามีมากในน้ำนมเช่นกัน (ชวนิศนดากร, 2534)

2.6.2.6 รังควัตถุ ในน้ำนมมีรงควัตถุที่ละลายได้ในไขมันและที่ละลายได้ในน้ำที่ละลายได้ในไขมัน ได้แก่ Carotene จะให้สีเหลืองแก่ น้ำนม หรือครีม ส่วน Riboflavin จะละลายได้ในน้ำ จะให้สีเหลืองอ่อนในน้ำนมที่ปราศจากไขมัน ส่วนสีขาวเกิดเนื่องจากการกระจายตัวของเม็ดไขมัน Calcium caseinate Colloid และ Calcium phosphate Colloid ในน้ำนม เมื่อถูกแสงแดดจะสะท้อนแสง

2.6.2.7 สารที่หักกลืน กลิ่นของน้ำนมก็จะคล้ายกลิ่นของอาหารหรือหญ้าที่โคกินเข้าไป

2.6.2.8 ความเป็นกรด-ด่าง น้ำนมมี pH ค่อนข้างเป็นกรดมี pH ประมาณ 6.4-6.8 ถ้าน้ำนมมี pH ต่ำกว่า 6.4 อาจจะมีนมเน่าเหลืองเจือปนอยู่หรือถ้ามี pH สูงกว่า 6.8 อาจมีน้ำนมที่รีดมาจากแม่วัวที่เป็นเต้านมอักเสบเจือปน

2.6.2.9 วิตามิน (Vitamins) ในน้ำนมมีวิตามินเกือบทุกชนิดทั้งที่ละลายในไขมันและที่ละลายในน้ำ

2.6.3 ปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตและองค์ประกอบของน้ำนมดิบ

การให้ผลผลิตน้ำนมของโคนมหลังคลอดในช่วงแรกโคจะให้ผลผลิตน้ำนมไม่สูงและจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนถึงระดับที่สูงสุด (Peak of lactation) ซึ่งจะมีระยะเวลาประมาณ 3-6 สัปดาห์ แต่โคที่ให้นมมากจะมีระดับสูงสุดนานกว่านี้ จากนั้นปริมาณน้ำนมจะลดลงอย่างช้า ๆ อัตราการลดลงของน้ำนมจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการให้นมทน (Milk persistency) ของโคแต่ละตัว (ชวนิศนดากร, 2534) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของพันธุกรรมและการเลี้ยงดูการให้อาหารด้วย โดยปกติระยะเวลาการให้นมของโคประมาณ 305 วัน และมีระยะเวลาการพักการให้นม (Dry period) ประมาณ 60 วัน องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมจะเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการให้นม ในทางตรงกันข้ามกับปริมาณน้ำนม คือ โคที่ให้นมนลดลงแต่คุณภาพน้ำนมจะสูงขึ้น โดยที่เปอร์เซ็นต์ไขมันจะเปลี่ยนแปลงมาก เปอร์เซ็นต์โปรตีนจะเปลี่ยนแปลงตามไขมัน เปอร์เซ็นต์แลคโตสในน้ำนมค่อนข้างคงที่ และเปอร์เซ็นต์ของแข็งที่ไม่ใช่ไขมันสูงขึ้น ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมสามารถแบ่งออกเป็น 2 ปัจจัยหลักได้แก่

2.6.3.1 ปัจจัยทางสรีรวิทยา

เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการให้น้ำนมซึ่งมีทั้งที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางพันธุกรรมและไม่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางพันธุกรรม

1. ลักษณะทางพันธุกรรม โดยที่โคที่มีพันธุกรรมต่างกันจะมีผลผลิตและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมต่างกัน เช่น โคนมพันธุ์โฮลส์ไคนฟรีเซียนจะให้ปริมาณน้ำนมสูงกว่าโคนมพันธุ์เจอร์ซี (Jersey) ประมาณ 40–60% แต่จะมีองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมต่ำกว่า

2. อายุ โคนมจะสามารถเริ่มให้น้ำนมได้เมื่ออายุประมาณ 2–3 ปี ซึ่งร่างกายยังไม่โตเต็มที่ ทั้งนี้รวมไปถึงอวัยวะอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างน้ำนมด้วย ดังนั้นปริมาณน้ำนมที่โคนมให้จะต่ำกว่าโคที่เจริญเติบโตมากกว่า เมื่อโคให้นมครั้งต่อไปขนาดของโคใหญ่ขึ้นอวัยวะต่าง ๆ เจริญขึ้นโคจะให้นมมากขึ้นตามลำดับ จนกว่าจะโตเต็มที่เมื่ออายุประมาณ 6 ปี การให้นมของโคจะสูงสุดเมื่อมีอายุประมาณ 6–7 ปี จากนั้นปริมาณน้ำนมจะลดลงเรื่อย ๆ ส่วนเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนม และของแข็งที่ไม่ใช่ไขมันในน้ำนมลดลง

3. วงรอบของการเป็นสัดและการตั้งท้อง ในขณะที่โคแสดงการเป็นสัดจะมีผลทำให้ปริมาณน้ำนมลดลงเนื่องจากอิทธิพลของฮอร์โมนและปริมาณการกินได้ของโคลดลง หลังจากนั้นผลผลิตน้ำนมจะคืนสู่สภาพปกติในโคที่ตั้งท้องจะไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพน้ำนมโคที่ตั้งท้องในระยะแรก ๆ ไม่ต้องการใช้อาหารในการตั้งท้องมากแต่เมื่อการตั้งท้องอยู่ในระยะปลายไกล์คลอดจะมีเอนไซม์ ออกซิโทซินเนส (Oxytocinase) เพิ่มขึ้น และจะไปทำลายฮอร์โมนออกซิโทซินโดยเป็นตัวกระตุ้นการปล่อยฮอร์โมนโปรแลคตินจากต่อมใต้สมองส่วนหน้า (วิศิษฐ์พร, 2538) โดยเฉพาะก่อนคลอดประมาณ 4 สัปดาห์ ซึ่งเป็นผลให้โคลดปริมาณน้ำนม

2.6.3.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมมีหลายปัจจัย ได้แก่ สภาพภูมิอากาศ การเลี้ยงดู และการจัดการรีดนม เป็นต้น

1. อุณหภูมิและความชื้น มีความสำคัญต่อการให้ผลผลิตน้ำนมมากอากาศร้อนจะทำให้โคให้นมลดลงเพราะโคกินอาหารได้ลดลงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงโค คือ $4.4\text{--}23.9^{\circ}\text{C}$ ถ้ามีอุณหภูมิต่ำกว่า 4.4°C ไม่มีผลต่อปริมาณน้ำนมแต่โคมีความต้องการอาหารเพิ่มขึ้นและถ้ามีอุณหภูมิต่ำกว่า 15°C จะมีผลให้ปริมาณน้ำนมลดลงแต่องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมจะสูงขึ้นและถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 23.9°C จะมีผลทำให้ผลผลิตน้ำนมลดลงอย่างมาก แต่เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนม ของแข็งพร้อมไขมัน และของแข็งในน้ำนมลดลงเพียงเล็กน้อย การลดลงของผลผลิตน้ำนมจะทำให้ความเข้มข้นของไขมันในน้ำนมเพิ่มสูงขึ้น และการกินอาหารของโคจะลดลง แต่การกินน้ำ อุณหภูมิของร่างกาย และอัตราการหายใจจะเพิ่มขึ้น

2. ฤดูกาล มีผลต่อผลผลิตและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมโดยปกติโคจะกินอาหารได้มากเมื่อมีอากาศหนาวเย็น และจะให้ผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้น ฤดูฝนเป็นเวลาที่โคจะให้ผลผลิตนมมากกว่าฤดูกาลอื่น ๆ เพราะโคจะได้รับอาหารที่อุดมสมบูรณ์ และอากาศเย็นสบาย

เหมาะกับการให้นมในระดับสูงและเมื่อเข้าฤดูร้อน โคจะให้ น้ำนม น้อยลง ส่วนเปอร์เซ็นต์ไขมัน ใน น้ำนม จะเพิ่มขึ้นในฤดูหนาว ในขณะที่ปริมาณ น้ำนม อยู่ในระดับสูงด้วยและจะลดลงในฤดูร้อน

3. ระยะพักการให้นม (Dry period) โคที่มีระยะพักการให้นมจะมีผลทำให้สภาพโค เมื่อคลอดลูกสมบูรณ์และทำให้ปริมาณ น้ำนม ที่โคผลิตได้สูงสุดโดยโคจะใช้อาหารที่ สะสม ไว้ในร่างกายมา สร้างเป็นองค์ประกอบของ น้ำนม โคควรมีระยะพักการให้นมไม่เกิน 60 วัน ถ้าโคไม่มีระยะพักนานเกินไปจะมีผลให้ผลผลิต น้ำนม ทั้งหมดลดลง แต่ถ้ามีระยะพักการให้นม น้อยเกินไปก็ทำให้ผลผลิต น้ำนม ลดลง เช่นกัน Smith and Dodd (1966) พบว่าโคที่ไม่ได้มีระยะพักการให้ นมจะทำให้ผลผลิต น้ำนม ต่ำกว่าโคที่มีระยะพักการให้นม 56–62%

4. การรีดนม จำนวนครั้งของการรีดนมในแต่ละวัน และความยาวนาน ของการรีดนม มีผลกระทบต่อปริมาณและองค์ประกอบของ น้ำนม เปลี่ยนแปลงไป การรีดนมไม่ หมดเต้า มีผลทำให้ผลผลิตและเปอร์เซ็นต์ไขมัน ใน น้ำนม ลดลง เนื่องจาก น้ำนม ที่ค้างอยู่ในเต้า เป็น น้ำนม ที่มีเปอร์เซ็นต์ไขมันสูง เมื่อเทียบกับ น้ำนม ที่รีดออกมาครั้งแรก ๆ และการที่ น้ำนม ค้าง เต้าเป็นระยะเวลาหลายวัน จะทำให้ผลผลิตของ น้ำนม ลดลงและเปอร์เซ็นต์ไขมันเพิ่มขึ้น ปกติการ รีดนมมักจะทำกันวันละ 2 ครั้ง เช้าและเย็นและระยะห่างไม่ค่อยเท่ากัน คือไม่ทุก 12 ชั่วโมง โดยที่ ระยะช่วงเย็นถึงเช้าจะนานกว่าระยะช่วงเช้าถึงเย็น ช่วงระยะเวลาที่ยาวกว่าจะได้ปริมาณ น้ำนม สูง กว่าแต่องค์ประกอบทางเคมีของ น้ำนม จะต่ำกว่า คือ เปอร์เซ็นต์ไขมันจะต่ำกว่าในช่วงระยะเวลาที่ สั้นกว่านอกจากนี้จำนวนครั้งของการรีดนมก็มีผลต่อปริมาณ น้ำนม เช่น การรีดนม 3 ครั้ง ต่อวันจะ ได้ปริมาณ น้ำนม สูงกว่าการรีด 2 ครั้งต่อวัน

5. อาหารและการให้อาหาร ชนิดของอาหารและวิธีการให้อาหารมีผลทั้ง ทางตรงและทางอ้อมต่อผลผลิตและองค์ประกอบของ น้ำนม ผลต่อการให้ผลผลิต น้ำนม และองค์ ประกอบทางเคมีของ น้ำนม ทั้งทางตรงและทางอ้อมปริมาณ น้ำนม ที่ผลิตได้เป็นผลมาจากระดับของ โภชนะที่สัตว์ได้รับถ้าได้รับ โภชนะต่ำกว่าปกติจะมีผลทำให้ปริมาณ น้ำนม และน้ำตาลแลคโตสใน น้ำนม ลดลงแต่ถ้าได้รับ โภชนะสูงกว่าปกติจะไม่มีผลทำให้ปริมาณ น้ำนม และน้ำตาลแลคโตสใน น้ำ นม สูงขึ้นมากนัก การขาดอาหารหยাবจะมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ไขมันต่ำกว่าปกติ Dhiman et al. (1995) ศึกษาสัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้น พบว่าเมื่ออาหารหยาบสูงขึ้นจะมีผลทำให้ ปริมาณการกิน ได้วัตถุแห้งของ โคลลดลงแต่เปอร์เซ็นต์ไขมัน ใน น้ำนม เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับรายงาน ของ MacLeod and Wood (1972)

2.7 การควบคุมการกินอาหาร (Regulation of feed intake)

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกินได้ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง (Factors affecting the intake of ruminant) การกินได้อย่างอิสระ (Voluntary food intake, VFI) ของสัตว์เคี้ยวเอื้องที่เลี้ยงในคอก (Indoor feeding) จะถูกควบคุมการกินได้โดยปัจจัยหลัก ๆ 2 ประการ (วิศิษฐ์พร, 2538) คือ

2.7.1 Metabolic factors

คือ ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความต้องการโภชนะของสัตว์และความสามารถของสัตว์ในการใช้ประโยชน์จากโภชนะที่ถูกดูดซึมการควบคุมการกินอาหาร สามารถพิจารณาได้จากการที่สัตว์พยายามที่จะปรับความสมดุลของพลังงานภายในร่างกายให้สอดคล้องกับสภาพแวดล้อม หรือสัตว์พยายามรักษาความสมดุลของพลังงานภายในร่างกายโดยการปรับเปลี่ยนปริมาณการกินอาหาร ในรูปพลังงานเป็นสัดส่วนกับความต้องการพลังงานของตัวสัตว์เอง รวมทั้งพยายามปรับให้เข้ากับสภาพทางสรีระวิทยาของสัตว์ในระยณะนั้น ๆ เช่น อายุ ขนาด น้ำหนัก การตั้งท้อง การให้ผลผลิตของสัตว์และพยายามปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อม

สรีระวิทยาการควบคุมการกินอาหารเริ่มจาก End products ของการย่อยและเมแทบอลิซึมเป็นตัวกระตุ้นระบบประสาทรับรู้ที่อยู่ที่อยู่ใน Gastrointestinal tract, Hepatic portal system, Adipose tissue และ/หรือ Peripheral และ Cerebrospinal fluid เมื่อส่วนต่าง ๆ เหล่านี้รับรู้สภาพทางโภชนะจะส่งสัญญาณกลับไปยังระบบประสาทรับรู้ที่สมอง สมองจะสั่งการควบคุมการกินอาหารคือ ให้สัตว์กินอาหารหรือหยุดกินอาหาร End products จากการย่อยคาร์โบไฮเดรตในอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้องส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันระเหยได้ (VFAs) ซึ่ง กรดไขมันระเหยได้เหล่านี้เป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการควบคุมการกินอาหารกรดไขมันระเหยได้ ที่มีบทบาทสำคัญ ได้แก่ โพรพิโอนัทและอะซิเตท ถ้าอาหารถูกย่อยได้กรดไขมันระเหยได้ทั้งสองชนิดนี้มากจะทำให้สัตว์หยุดกินอาหาร เพราะว่ากรดไขมันระเหยได้เป็นตัวที่ทำให้เกิดสัญญาณความอิ่มในสัตว์เคี้ยวเอื้อง ส่วนบิวทิเรทซึ่งเป็นกรดไขมันระเหยได้ อีกชนิดมีบทบาทน้อยในด้านการควบคุมการกินอาหารในสภาพความเป็นกรดเป็นด่างในกระเพาะ Reticulo-rumen มีส่วนในการส่งสัญญาณการควบคุมการกินอาหารเหมือนกับกรดไขมันระเหยได้ คือ ถ้า pH ใน Reticulo-rumen ลดลงจะทำให้สัตว์หยุดกินอาหาร แต่ระดับ pH ในกระเพาะจะเป็นตัวกำหนดการกินอาหารเฉพาะในระยะสั้น ๆ เท่านั้น เพราะระดับ pH มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

2.7.2 Physical Factors

คือ ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความสามารถของสัตว์ที่จะกินอาหารความจุกระเพาะอาหารและความสามารถในการย่อยอาหารในระบบทางเดินอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ได้รับอาหารหยาบเป็น

อาหาร (VFI) จะถูกจำกัดโดยความจุของกระเพาะสังเกตได้จากสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ได้รับอาหารที่มีเยื่อใยสูง จะหยุดกินอาหารก่อนที่จะได้รับพลังงานเพียงพอ ปัจจัยทางกายภาพนี้จะเกี่ยวข้องกับความสามารถในการขยายตัว (Distention) ของ Reticulo-rumen และการไหลผ่านของ Digesta ออกจาก Reticulo-rumen

1. การขยายตัวของ Reticulo-rumen (Distention of the reticulo-rumen) สัตว์เคี้ยวเอื้องที่ได้รับอาหารหยาบเป็นอาหารหลัก จะกินอาหารได้จำนวนหนึ่ง ก่อนข้างคอกที่ตามความจุของกระเพาะ คือเมื่อสัตว์กินอาหารหยาบเข้าไประดับหนึ่ง จนกระเพาะไม่สามารถขยายตัวรับอาหารได้อีก สัตว์จะหยุดกินอาหาร ซึ่งการขยายตัวของกระเพาะจะถูกกำหนดโดยความจุของช่องท้อง (Abdominal cavity) นอกจากนี้ถ้าแม่โคตั้งท้อง การเจริญเติบโตของตัวอ่อนจะกินเนื้อที่ภายในช่องท้อง ทำให้ความจุช่องท้องลดลง เป็นผลให้กินอาหารน้อยลง เพราะกระเพาะขยายตัวได้น้อยกว่าปกติ การสะสมไขมันในช่องท้องก็เหมือนกัน คือ จะลดขนาดความจุของช่องท้องลง สรีระวิทยาการควบคุมให้สัตว์หยุดกินอาหารเมื่อกระเพาะขยายเต็มที่ เกิดจากที่ผนังกระเพาะมีประสาทรับความรู้สึกถึงการขยายตัวของกระเพาะหมักแต่กลไกยังไม่ทราบแน่ชัด

2. อัตราการไหลผ่านของ Digesta จาก Reticulo-rumen ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ส่วนประกอบทางเคมีของอาหาร อัตราการย่อยสลายทางกายภาพ และทางเคมี ความสามารถในการบีบรัดกล้ามเนื้อของกระเพาะและขนาดของ Reticulo-omasal orifice ถ้าส่วนประกอบเคมีของอาหารประกอบด้วยส่วนที่ย่อยได้ง่าย เช่น Soluble carbohydrate ในปริมาณมาก Digesta ก็จะไหลผ่านไปได้อย่างรวดเร็วในทางตรงกันข้ามถ้าอาหารที่ประกอบไปด้วย Structural carbohydrate ที่ย่อยได้ยากหรือประกอบด้วยเยื่อใยที่ย่อยได้ยากในปริมาณมากอาหารจะถูกย่อยได้ช้า Digesta ก็จะไหลผ่าน Reticulo-rumen ได้ช้าอัตราการย่อยสลายทางกายภาพและทางเคมี ก็มีลักษณะเช่นเดียวกันคือ ถ้าย่อยได้ช้า Digesta ก็จะไหลผ่านได้ช้า ถ้าย่อยสลายเร็วก็จะผ่านไปอย่างรวดเร็ว

3. ความสามารถในการบีบรัดของกล้ามเนื้อของกระเพาะ ถ้ามีการบีบรัดกล้ามเนื้อของกระเพาะหมักรุนแรงและบ่อยครั้ง Digesta ก็จะถูกดันให้ผ่าน Reticulo-omasal orifice ได้มาก ขนาดของ Reticulo-omasal orifice ถ้ามีขนาดใหญ่ Digesta ก็จะผ่านได้สะดวกกระดับการกินได้ของอาหารจะมีผลต่ออัตราการไหลผ่านของอาหารออกจาก Reticulo - rumen กล่าวคือ เมื่อระดับการกินได้เพิ่มขึ้นปริมาตรของของเหลวใน Rumen (Rumen fluid volume) เปอร์เซ็นต์ DM ใน Digesta และอัตราการไหลผ่าน (Rate of passage) จะเพิ่มขึ้น การตั้งท้อง การออกกำลังกาย อุณหภูมิ ความถี่ในการให้อาหาร (Frequency of feeding) และช่วงเวลาในแต่ละวันจะเปลี่ยนแปลงปริมาณของกระเพาะหมัก และการเคลื่อนไหวบีบตัวของกระเพาะหมัก ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลผ่าน Digesta ด้วยการที่อาหารถูกเก็บกักไว้ใน Reticulo-rumen เรียกว่า Retention of feed ซึ่งจะทำให้โอกาสในการหมักอาหารโดยจุลินทรีย์มีมากขึ้น โดยทั่ว ๆ ไป 60% ของอินทรีย์วัตถุจะถูกย่อยภายใน

ใน Reticulo-rumen ระยะเวลาที่ถูกเก็บกัก (Retention time) ขึ้นอยู่กับปริมาณอาหารที่กินเข้าไป (ถ้าสัตว์กินอาหารได้มาก Retention time จะลดลง) สัดส่วนอาหารหยابต่ออาหารข้น (ถ้าอาหารหยابต่ออาหารข้นมาก Retention time เพิ่มขึ้น) ส่วนประกอบเยื่อใย และลักษณะทางกายภาพของเยื่อใย ถ้าอาหารมีเยื่อใย มากและเป็นเยื่อใยที่ย่อยได้ยาก Retention time จะเพิ่มขึ้น (วิศิฐิพร, 2538)

ปัจจัยที่มีผลต่อการไหลผ่านของอนุภาคอาหาร (Feed particle) จาก Reticulo rumen ประกอบด้วยขนาดของ Feed particle (ถ้ามีขนาดเล็กจะไหลผ่านไปได้เร็ว) ความหนาแน่นของ Feed particle (ถ้ามี Density สูงจะไหลผ่านได้เร็ว) อัตราการลดขนาดของ Feed particle (ถ้าลดได้ช้าก็จะไหลผ่านได้ช้า) ส่วนประกอบของ พลังเซลล์ในอาหาร (ถ้ามีมากจะไหลผ่านได้ช้า) Hydration Time (ถ้าเร็วจะไหลผ่านได้เร็ว) pH (ถ้า pH ต่ำ จะไหลผ่านได้ช้าเนื่องจากการย่อยได้ช้า) ความแรงและการบีบตัวของกระเพาะหมัก และ Abomasum (ถ้าแรงและถี่จะไหลผ่านไปได้เร็ว) อาหารที่ไม่ถูกย่อย (Undigested feed) จะไหลผ่าน Reticulo-omasal orifice ได้ต้องถูกย่อยจนมีขนาดเล็กกว่า 2.0 mm แต่อัตราการไหลผ่านจะขึ้นอยู่กับปริมาณอาหารที่ไหลผ่านกับการบีบตัวของ Rumen และ Abomasum พันธุ์ และชนิดของสัตว์ สัตว์จะมีความสามารถในการกินอาหารแตกต่างกันไปตามชนิดของสัตว์ สัตว์ที่มีขนาดใหญ่จะมีความจุของกระเพาะอาหารมากกว่าสัตว์ที่มีขนาดเล็ก โดยปกติแล้วในโคที่มีอายุน้อยจะกินอาหารมากกว่าสัตว์ที่ โตเต็มวัยเมื่อเทียบกับน้ำหนักตัว ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงของสัตว์ที่มีอายุน้อยนั้นต้องการสารอาหารเพื่อใช้ในการสร้างเนื้อเยื่อต่าง ๆ เพื่อการเจริญเติบโต ส่วนในสัตว์เพศผู้จะมีการเจริญเติบโตได้ดีกว่าในสัตว์เพศเมีย คือ ประสิทธิภาพในการใช้อาหารของเพศผู้จะดีกว่าในเพศเมีย

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมเป็นปัจจัยที่ส่วนใหญ่แล้วจะเกิดจากการจัดการในการเลี้ยงสัตว์เป็นส่วนใหญ่ กล่าวคือ เป็นปัจจัยภายนอกที่มีผลกระทบต่ออาหารของสัตว์ เช่น การได้รับอาหารและน้ำไม่เพียงพอ เช่น ในสัตว์ที่ขาดน้ำจะทำให้กินอาหารได้น้อยลงโดยเฉพาะถ้าอาหารนั้น มีลักษณะแห้งหรือเป็นฝุ่น กระแสลมตามธรรมชาติจะไม่กระทบกระเทือนต่อการกินอาหารของสัตว์ แต่ถ้าเป็นลมร้อนหรือเป็นลมที่พัดแรงเกินไปจะมีผลต่อสุขภาพของสัตว์ได้เนื่องจากฝุ่นละอองที่มากับลมจะทำให้สัตว์ไม่สบายได้ แต่ลมที่พัดโชยผ่านคอกเพื่อช่วยระบายความร้อนภายในโรงเรือนจะช่วยให้สัตว์อยู่สบายและคงกินอาหารได้ตามปกติความชื้นและอุณหภูมิจะมีผลกระทบต่อปริมาณการกินอาหารเป็นอย่างมาก คือ ถ้าอุณหภูมิสูง และมีความชื้นมากการกินอาหารจะลดลงอย่างมากด้วย แม้ว่าจะมีอุณหภูมิสูงแต่ถ้ามีความชื้นน้อย สัตว์จะไม่ถูกกระทบกระเทือนมากนัก สัตว์เลี้ยงเอื้องมีความพยายามที่จะรักษาระดับอุณหภูมิของร่างกายให้คงที่ (ประมาณ 37°C) เมื่ออุณหภูมิสภาพแวดล้อมสูงขึ้น สัตว์เลี้ยงเอื้องพยายามที่จะลดปริมาณความร้อนในร่างกายที่เกิดขึ้นภายในร่างกายโดยการลดการกินอาหารโดยเฉพาะอาหารพลังงาน เมื่อการกินอาหารลดลงการเคลื่อนบีบตัวของกระเพาะก็ลดลงด้วย เมื่อสัตว์อยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีอากาศร้อน

เมแทบอลิซึมภายในร่างกายสัตว์จะลดลง จะเกิดขึ้นร่วมกับการขับฮอร์โมน Thyroid ลดลงและความจุของกระเพาะเพิ่มขึ้น

ปัจจัยทางด้านอาหารอาหารสัตว์นั้นจะมีความน่ากินมากน้อยเพียงใดจะมีผลต่อการกินของสัตว์ สารพิษหรือสิ่งเจือปน อาหารที่มีสารพิษหรือสารที่ขัดขวางการเจริญเติบโต อายุ การตัดในกรณีของพืชอาหารสัตว์ คือ ถ้าตัดพืชอาหารสัตว์มาในระยะที่ยังอ่อนอยู่ ก็จะทำให้สัตว์กินอาหารได้มากขึ้นส่วนพืชที่แก่จะมีเยื่อใยและลิกนินอยู่มากสัตว์จะไม่ชอบกิน และลิกนินก็จะขัดขวางการย่อยเมื่ออาหารย่อยได้เข้าปริมาณการกินได้ก็จะลดลงสัตว์จะกินอาหารหยาบได้มากขึ้นเมื่อเพิ่มอาหารขึ้น

มากขึ้นเพราะว่าอาหารขึ้นจะเป็นแหล่งของพลังงานสำหรับการทำงานของจุลินทรีย์ อย่างไรก็ตามเมื่อมาถึงจุดหนึ่งที่สัตว์ได้รับอาหารขึ้นมากที่สุดแล้วจะทำให้ปริมาณการกินได้ของอาหารหยาบลดลงปริมาณของลิกนินนั้น มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับปริมาณเยื่อใยในอาหารจึงเป็นการยากที่จะแยกอิทธิพลของเยื่อใยออกจากอิทธิพลของลิกนินโดยตรง การที่อินทรีย์วัตถุ (Organic matter) จะถูกย่อยได้มากน้อยเพียงใดจะขึ้นอยู่กับการจัดตัวระหว่าง เฮมิเซลลูโลส หรือ เซลลูโลส กับลิกนิน

2.7.3 ปัจจัยทางพฤติกรรมการกินอาหารของ Grazing Cattle

ถ้าปริมาณหญ้ามีให้โคกินมากคุณค่าทางอาหารของหญ้าจะเป็นตัวกำหนดการกินได้ โดยมีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการแทะเล็ม (Grazing behavior) คือ สัตว์จะเลือกกินหญ้าที่มีคุณค่าทางอาหารสูง แต่ถ้าคุณค่าทางอาหารของหญ้าง่าย การกินได้จะถูกควบคุมโดย Distention mechanism ในขณะที่ปริมาณหญ้าที่ให้โคกินมีมาก และคุณค่าทางอาหารของหญ้าขณะนั้นสูงมาก Metabolic mechanism จะเป็นตัวกำหนดควบคุมการกินอาหาร ถ้าปริมาณหญ้าที่มีให้โคกินน้อย คุณค่าทางอาหารของหญ้าแทบจะไม่มีผลต่อการกินได้ แต่การกินได้จะถูกกำหนดโดยพฤติกรรมการแทะเล็ม

2.7.4 ปัจจัยที่เกิดจากสัตว์ (Animal factors)

ขนาดของตัวสัตว์เป็นตัวกำหนดปริมาตรของ ช่องท้อง ซึ่งจะมีส่วนสัมพันธ์กับความจุกระเพาะ สัตว์ที่มีขนาดใหญ่จะกินอาหารให้มากกว่าสัตว์ที่มีขนาดเล็ก นอกจากนี้ขนาดตัวสัตว์มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักสัตว์ปกติสัตว์ที่มีน้ำหนักมากจะกินอาหารได้มากกว่าสัตว์ที่มีน้ำหนักน้อยกว่า แต่ก็ไม่เสมอไปเพราะน้ำหนักตัวสัตว์อาจขึ้นอยู่กับการโครงสร้างและการสะสมไขมัน

1. อายุของสัตว์ก็เกี่ยวข้องกับการกินได้ คือ การกินได้จะเพิ่มขึ้น เมื่อสัตว์เจริญเติบโตจากอายุน้อยไปอายุมาก

2. พันธุกรรมของสัตว์เกี่ยวข้องกับการกินได้ขึ้นอยู่กับการขนาดและน้ำหนักตัวของสัตว์ในแต่ละพันธุ์ เช่น พันธุ์ที่มีขนาดใหญ่จะกินอาหารได้มากกว่าพันธุ์ที่มีขนาดเล็ก

3. การตั้งท้อง ระหว่างการตั้งท้อง ขนาดของตัวอ่อนจะเจริญขึ้นเรื่อย ๆ และมีความต้องการโภชนะเพื่อการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น สัตว์จะกินอาหารเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีอัตราการเกิดเมแทบอลิซึมสูงสัตว์มีความต้องการอาหารเพิ่มเพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของตัวอ่อน และอาจเกิดจากการเพิ่มปริมาณ Progesterone ในกระแสเลือดทำให้สัตว์กินอาหารได้มากขึ้น

4. การให้นมในโคนม ในโคนมช่วงที่กำลังรีดนม โคจะกินอาหารมากกว่าโคที่ไม่ได้รีด หรือโคหยุดรีดนม

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี การประเมินคุณค่าทางพลังงานและการศึกษาการย่อยสลายในกระเพาะหมักของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง

3.1.1 อุปกรณ์และวิธีการ

3.1.1.1 ทำการสุ่มตัวอย่างเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองและวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นองค์ประกอบในสูตรอาหาร (ข้าวโพดบด มันเส้น กากมันสำปะหลัง กากปาล์ม กากถั่วเหลือง) นำมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 36 ชั่วโมง เพื่อหาวัตถุแห้ง (Dry matter, DM) (AOAC, 1990)

3.1.1.2 นำตัวอย่างเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองและวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นองค์ประกอบในสูตรอาหาร (ข้าวโพดบด มันเส้น กากมันสำปะหลัง กากปาล์ม กากถั่วเหลือง) มาทำการบดด้วยเครื่องบดผ่านตะแกรงขนาด 1.0 มิลลิเมตร (mm) แล้วนำตัวอย่างที่ได้เก็บไว้ในภาชนะที่ปิดสนิท เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและการย่อยสลายในกระเพาะหมักต่อไป

3.1.1.3 นำตัวอย่างเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองและวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นองค์ประกอบในสูตรอาหาร (ข้าวโพดบด มันเส้น กากมันสำปะหลัง กากปาล์ม กากถั่วเหลือง) มาวิเคราะห์เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมี โดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis) (AOAC, 1990) ซึ่งวิเคราะห์วัตถุแห้งโดยเครื่อง Hot air oven โปรตีนหยาบ (Crude protein, CP) โดยเครื่อง Kjeltac auto analyzer ไขมัน (Ether extract) โดยเครื่อง Soxhlet auto เยื่อใยหยาบ (Crude fiber, CF) โดยเครื่อง Fibertec auto analyser และเถ้า (Ash) โดยการเผาที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ส่วน และการวิเคราะห์เยื่อใยโดย Detergent analysis (Goering and VanSoest, 1970) ได้แก่ เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกลาง (Neutral detergent fiber, NDF) เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกรด (Acid detergent fiber, ADF) และ Acid detergent lignin, ADL โดยเครื่อง Fibertec auto analyser

3.1.1.4 นำตัวอย่างเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองและวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นองค์ประกอบในสูตรอาหาร (ข้าวโพดบด มันเส้น กากมันสำปะหลัง กากปาล์ม และกากถั่วเหลือง) ที่ได้เก็บไว้ในข้อ 3.1.1.2 มาศึกษาการย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักโดยวิธีถุงไนลอน (Nylon bag technique) บ่มในกระเพาะหมักของโคเจาะกระเพาะ (Rumen degradability or in sacco digestibility) (Ørskov et al., 1980) โดยการนำตัวอย่างวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดต่าง ๆ มาบดด้วยเครื่องบดผ่านตะแกรงขนาด 2.0 mm และถุงไนลอนที่ใช้ในการทดลองมีขนาดรูพรุนของถุง 47 µm

นำไปอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 1–2 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น ชั่งน้ำหนักวัตถุดิบประมาณ 5–6 กรัม ใส่ลงในถุงไนลอน ทำการชั่งและบันทึกน้ำหนักไว้ แล้วหลังจากนั้นนำถุงไนลอนที่ใส่ตัวอย่างวัตถุดิบแล้วนำมาร้อยติดกับสายพลาสติกยาวประมาณ 90 เซนติเมตร นำไปบ่มในกระเพาะหมักของโคเจาะกระเพาะ โดยให้สายพลาสติกอยู่ในส่วนที่ลึกที่สุดของกระเพาะหมัก และให้แต่ละถุง มีระยะเวลาการบ่มอยู่ในกระเพาะหมักต่างกันดังนี้ คือ 0, 2, 4, 6, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง โดยในแต่ละตัวอย่างทำ 2 ซ้ำ ใช้โคเจาะกระเพาะจำนวน 3 ตัว และให้ถุงที่ใส่ในโคแต่ละตัวเป็น 1 ซ้ำ

เมื่อบ่มถุงไนลอนในกระเพาะหมักของโคได้ตามเวลาที่กำหนดแล้วนำถุงทั้งหมดออกจากกระเพาะหมักนำมาล้าง เพื่อเอาเศษอาหารที่ติดจากกระเพาะหมักออกแล้วนำไปแช่แข็งเพื่อหยุดการทำงานของจุลินทรีย์ เมื่อได้ตัวอย่างครบตามเวลานำถุงไนลอนทั้งหมดมาล้างผ่านน้ำจนสะอาดหลังจากนั้นนำถุงไนลอนทั้งหมดมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 36 ชั่วโมง และนำไปชั่งเพื่อวิเคราะห์หาวัตถุแห้ง และนำอาหารที่เหลือจากการย่อยสลายในถุงไนลอนไปวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน โดยทำการรวมตัวอย่างจากโคตัวที่ 1, 2 และ 3 เข้าไว้ด้วยกันจาก นั้นนำค่าสัดส่วนที่สูญหายไปในช่วงเวลาต่างๆของวัตถุแห้งและไนโตรเจนมาคำนวณหาอัตราการย่อยสลายได้ต่อไป

นำค่าสัดส่วนโปรตีนที่สูญหายไปในช่วงเวลาต่าง ๆ ที่นำถุงออกมาจากกระเพาะหมักมาคำนวณโดยใช้สมการที่แนะนำโดย (Ørskov and Mehrez, 1979)

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

เมื่อ	dg	= effective rumen degradability
	a	= water soluble N extracted by cold water rinsing (0 hr bag)
	b	= potentially degrade N, other than water soluble N
	c	= fraction rate of degradation of feed N per hour
	t	= hour

การคำนวณค่าปริมาณการย่อยสลายของโปรตีนที่ทิ้งไว้ในช่วงระยะเวลาต่างๆ มาคำนวณอัตราการย่อยสลายในกระเพาะหมักโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป NEWAY EXCEL (Chen, 2003) ตาม สมการดังนี้

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

เมื่อ	dg	= Effective protein degradability
	a	= water soluble N extracted by cold water rinsing (0 hr bag)
	b	= potentially degrade N, other than water soluble N
	c	= fraction rate of degradation of feed N per hour
	k	= Fractional outflow rate of digesta per hour

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

$$RDP = CP \times dg$$

$$CP = RDP + RUP \text{ หรือ } RUP = CP - RDP$$

3.1.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำผลการวิเคราะห์ตัวอย่างเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองและวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นองค์ประกอบในสูตรอาหาร (ข้าวโพดบด มันเส้น กากมันสำปะหลัง กากปาล์ม กากถั่วเหลือง) และการย่อยสลายในกระเพาะหมักมาหาค่าเฉลี่ยและนำเสนอในรูปแบบ Mean $\pm$ SE

3.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาระดับของการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งวัตถุดิบพลังงานในอาหารขึ้นต่อการให้ผลผลิตของโคนม

3.2.1 อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งวัตถุดิบพลังงานในอาหารขึ้นต่อการให้ผลผลิตของน้ำนม คุณภาพของน้ำนม น้ำหนักตัวเปลี่ยนแปลงของโคนม ลูกผสมพันธุ์โฮสไตน์ฟริเซียน (Crossbred Holstein Friesian) ซึ่งอยู่ในระยะต้นของการให้นม (Early lactation)

3.2.2 อาหารทดลอง

อาหารทดลองที่ 1 (T1)	เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง 0% ในสูตรอาหารขึ้น
อาหารทดลองที่ 2 (T2)	เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง 10% ในสูตรอาหารขึ้น
อาหารทดลองที่ 3 (T3)	เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง 20% ในสูตรอาหารขึ้น

3.2.3 แผนการทดลองและการจัดการให้อาหาร

จัดแผนการทดลองแบบ Completely randomized design (CRD) โดยจัดโคนม ลูกผสมพันธุ์ ไฮสโตน์ฟรีเซียนออกเป็น 3 กลุ่มการทดลองและทำการจัดกลุ่มแบบ Stratified random balance group โดยให้มีค่าใกล้เคียงกันตามปริมาณการให้น้ำนม ระยะเวลาในการให้น้ำนม อายุ (เดือน) และ น้ำหนักตัว (กิโลกรัม) ในระยะต้นของการให้นม จำนวน 24 ตัว

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของกลุ่มโคนมที่ใช้ในการทดลอง

รายละเอียด	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 3
ปริมาณน้ำนม (กิโลกรัม/วัน)	16.3 ± 3.3	16.2 ± 4.2	16.3 ± 4.4
ระยะเวลาการให้นม (วัน)	82 ± 44.3	85 ± 39.4	86 ± 42.5
น้ำหนักตัว (กิโลกรัม)	417 ± 53.2	417 ± 67.5	410 ± 49.7
อายุ (เดือน)	41.25 ± 15.8	44.5 ± 14.4	39.6 ± 12.7

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงอยู่ในรูป (Mean±SD)

โคนมทุกตัวถูกขังคอกเดี่ยวมีอ่างสำหรับใส่น้ำให้กินตลอดเวลา ในการทดลองครั้งนี้ได้ทำการผสมอาหารข้นทั้งสิ้น 3 สูตรด้วยเครื่องผสมอาหาร ในการให้อาหารกับโคนมจะให้ป็นรายตัวโดยจ่ายอาหารแยกเป็นอาหารข้น (Concentrate) และอาหารหยาบ (Roughage) ให้อาหารข้นจำนวน 9 กก./ตัว/วัน ให้วันละ 3 ครั้ง คือ เวลา 08.00, 11.00 และ 16.00 น. โดยทุกกลุ่มการทดลองจะได้รับแหล่งของอาหารหยาบชนิดเดียวกัน คือ หญ้าหมัก ของทุกวันตลอดการทดลองโดยโคนมในแต่ละกลุ่มจะได้รับอาหารข้นตามสูตรอาหารดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ชนิดและปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

วัตถุดิบ/100 กิโลกรัม (น้ำหนักสด)	สูตรที่ 1 (0%SH)	สูตรที่ 2 (10%SH)	สูตรที่ 3 (20%SH)
เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง	0	10	20
ข้าวโพด	20	10	0
มันเส้น	15.5	15.5	15.5
กากมันสำปะหลัง	14	14	14
กากถั่วเหลือง	14.9	14.9	14.9
กากปาล์ม	25	25	25
กากน้ำตาล	5	5	5
ยูเรีย	2.6	2.6	2.6
แร่ธาตุ	2.5	2.5	2.5
พรีมิกซ์	0.5	0.5	0.5

หมายเหตุ : SH = Soybean Hulls

กลุ่มการทดลองที่ 1 ได้รับอาหารสูตร 0%SH และอาหารหยาบ

กลุ่มการทดลองที่ 2 ได้รับอาหารสูตร 10%SH และอาหารหยาบ

กลุ่มการทดลองที่ 3 ได้รับอาหารสูตร 20%SH และอาหารหยาบ

3.2.4 การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ตัวอย่าง

เมื่อทำการสุ่มโคนมตามกลุ่มแผนการทดลองแล้ว ทำการให้อาหาร และใช้ระยะเวลาในการปรับตัวของโคทดลองประมาณ 1 สัปดาห์ และช่วงการเก็บข้อมูล 30 วัน ซึ่งแบ่งออกเป็น 6 ช่วงการทดลอง ช่วงละ 5 วัน โดยทำการบันทึกและเก็บข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้

3.2.4.1 การกินได้

ชั่งและบันทึกปริมาณอาหารที่กิน รวมถึงเก็บตัวอย่างอาหารก่อนกินและหลังกินเป็นรายตัว เก็บทุก ๆ 5 วัน (สุ่มเก็บ 2 วันติดต่อกัน) โดยสุ่มเก็บอาหารแต่ละชนิด (อาหารชั้นกลุ่มควบคุม อาหารชั้นกลุ่มทดลอง และอาหารหยาบ) เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยวิธี Proximate Analysis ดังต่อไปนี้ คือ วัตถุแห้ง โปรตีน ไขมัน เชื้อใย และเถ้า ตามวิธีของ AOAC. (1990) และการวิเคราะห์เชื้อใย (detergent analysis) ตามวิธีของ Goering and Van Soest (1970) ได้แก่ NDF, ADF และ ADL

3.2.4.2 น้ำหนักตัว

ทำการชั่งน้ำหนักตัวก่อนและหลังการทดลองของโคนมทุกตัวทั้ง 3 กลุ่มการทดลองโดยชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง ในช่วงเช้าหลังจาการคืนนมเสร็จ

3.2.4.3 ผลผลิตและองค์ประกอบน้ำนม

ทำการบันทึกการให้ผลผลิตน้ำนมของโคนมทุกวันตลอดระยะเวลาของการทดลอง และสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำนมดิบรายตัวทุก ๆ 5 วัน (สุ่มเก็บ 2 วันติดต่อกัน) โดยแบ่งเป็นนมช่วงเย็นและช่วงเช้า นำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม ได้แก่ ไขมันนม โปรตีนนม แล็กโตส ของแข็งพร้อมไขมัน ของแข็งรวมในน้ำนม และ Fatty acid ในน้ำนม

3.2.4.4 การศึกษาองค์ประกอบและปริมาณของ Fatty acid

1. อาหารสัตว์

สุ่มเก็บอาหารแต่ละชนิด (อาหารข้นกลุ่มควบคุม อาหารข้นกลุ่มทดลอง และ อาหารหยাব) ตัวอย่างอาหารนำมาสกัดน้ำมัน คัดแปลงตามวิธีของ Folch et al. (1957) และ Metcalfe et al. (1966) โดยนำตัวอย่างที่ได้จากการทดลอง ตัวอย่างละ 15 กรัม สกัดด้วย Chloroform – methanol (2 :1 v/v) ปริมาณ 90 ml นำไปปั่น (homogenize) เป็นเวลา 2 นาที แล้วเติม Chloroform ปริมาณ 30 ml และ 0.58 NaCl ปริมาณ 5 ml เขย่าให้เข้ากันและทิ้งไว้จนสารละลายแยกชั้นอย่างชัดเจน ปล่อยให้สารละลายส่วนล่างใส่ evaporating flask ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน ทำการแยกตัวทำละลายออกจากไขมันโดยระเหยที่อุณหภูมิ 40°C ด้วย Rotary Evaporator บันทึกน้ำหนักไขมันที่ได้ จากนั้นเก็บไว้ภายใต้ไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ -20°C จนกว่าจะนำมา Methylation

2. น้ำนม

สุ่มเก็บน้ำนมดิบช่วงสุดท้ายของการทดลองทั้งช่วงเย็นและเช้า (รวมกัน) จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ที่ความเร็ว 3000 rpm ที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 15 นาที ชั้นของไขมัน (Fat cake) จะแยกอยู่ชั้นบนของน้ำนม แยกชั้นของไขมันออกมาเพื่อนำไปสกัดไขมันต่อไปตามวิธีการของ Kelly et al. (1998) โดยนำชั้นของไขมันมาสกัดด้วย hexane – isopropanol (3:2 v/v) 18 ml/ g Fat cake นำไปเขย่า (vortex) จากนั้นเติม Sodium sulfate solution (6.7 % Na₂SO₄) ปริมาตร 12 ml/ g fat cake จากนั้นชั้นของ hexane จะแยกออกมาด้านบน ให้แยก hexane ให้แยกออกมาจากหลอดทดลองที่เติม Na₂SO₄ 1 กรัม ทิ้งไว้ 30 นาที ย้ายและเก็บไว้ภายใต้ไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ -20°C จนกระทั่งทำการ Methylation หลังจากนั้นนำตัวอย่าง Fatty acid methyl ether (FAME) ที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณ Fatty acid ในน้ำนมโดยเครื่อง Gas Chromatography (GC)

การทำ Methylation คัดแปลงตามวิธีของ Ostrowska et al. (2000) ดังนี้ชั่งตัวอย่างน้ำหนัก แนนอนประมาณ 30 mg ใส่หลอดทดลองฝาเกลียวขนาด 15 ml จากนั้นเติม 1.5 ml ของ 0.5 N NaOH/MeOH ใส่ในหลอด แล้วไล่อากาศในหลอดด้วยด้วยแก๊สไนโตรเจน ปิดฝาหลอดทดลองให้สนิท และให้ความร้อนที่ 100°C ใน Water bath นาน 5 นาที ระหว่างนั้นควรเขย่าอย่างแรง 1–2 ครั้ง แล้วทำให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้องปกติ การทำ Saponification ที่สมบูรณ์สังเกตจากการได้สารละลายใสไม่มีหยดน้ำมันเหลืออยู่ จากนั้นเติม 14 % BF_3/MeOH ปริมาตร 2 ml ใส่ในหลอดทดลอง แล้วไล่อากาศภายในหลอดด้วยแก๊สไนโตรเจนและให้ความร้อนที่ 100°C Water bath นาน 5 นาที ระหว่างนั้นควรเขย่าอย่างแรง 1–2 ครั้ง แล้วทำให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้องปกติ หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่น 10 ml แล้วย้าย Solution ที่ได้จากการทำ Methylation ลงในหลอดเซนตริฟิวซ์ฝาเกลียวขนาด 50 ml นำไปปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ที่ความเร็ว 5000 rpm ที่อุณหภูมิ 10°C เป็นเวลา 15 นาที เพื่อให้ liquid – liquid phase แยกได้ดีขึ้นแล้วทำการย้ายชั้น Hexane (ชั้นบน) และ Dry น้ำที่อาจติดออกมาด้วย Na_2SO_4 จากนั้นเก็บสารละลายในขวดสีชา ไล่อากาศออกด้วยแก๊สไนโตรเจน หลังจากนั้นนำตัวอย่าง Fatty acid methyl ether ที่ได้ไปวิเคราะห์ ปริมาณ fatty acid โดยเครื่อง Gas Chromatography (GC)

3.2.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลปริมาณการกินได้ ปริมาณน้ำนม องค์ประกอบของน้ำนม น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง ความต้องการพลังงานและโปรตีน พลังงานและโปรตีนที่ได้รับจากอาหาร ที่ได้จากการทดลองไปวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวิธี F-test เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test และวิเคราะห์หาแนวโน้มโดยวิธี Orthogonal polynomial วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS (SAS, 1988)

3.3 การทดลองที่ 3 การศึกษาการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งวัตถุดิบพลังงานทดแทนข้าวโพดในอาหารชั้นต่อการเปลี่ยนแปลงของนิเวศวิทยาในกระเพาะหมัก

3.3.1 สัตว์ทดลอง

จัดแผนการทดลองแบบ 3x3 Latin square โดยใช้โคเจาะกระเพาะ (fistulated non-lactating dairy cows) ลูกผสมพันธุ์โฮสไตน์ฟรีเชียน จำนวน 3 ตัว เพื่อศึกษาการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งวัตถุดิบพลังงานทดแทนข้าวโพดในอาหารชั้น ต่อการเปลี่ยนแปลงของนิเวศวิทยาในกระเพาะหมัก ที่ระดับทดแทน 3 ระดับ คือ 0, 10 และ 20% ในสูตรอาหารชั้น โดยที่โคจะได้รับหญ้าหมักเป็นอาหารหยาบ

3.3.2 อาหารทดลอง

- อาหารทดลองที่ 1 (T1) เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง 0%SH ในสูตรอาหารชั้น
อาหารทดลองที่ 2 (T2) เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง 10%SH ในสูตรอาหารชั้น
อาหารทดลองที่ 3 (T3) เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง 20%SH ในสูตรอาหารชั้น

3.3.3 เก็บข้อมูล และวิเคราะห์ตัวอย่าง

โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ช่วงการทดลอง ๆ ละ 14 วัน และสุ่มเก็บตัวอย่างในช่วง 2 วันสุดท้ายของแต่ละช่วงการทดลอง โดยทำการบันทึกและเก็บข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้

3.3.3.1 ความเป็นกรด - ด่าง (Rumen pH)

สุ่มเก็บตัวอย่าง Rumen fluid 50 ml ปีกเกอร์ขนาด 100 ml วัดการเปลี่ยนแปลงระดับ pH ของกระเพาะหมักทันทีหลังจากเก็บตัวอย่างโดยใช้เครื่อง pH/Temperature meter

3.3.3.2 แอมโมเนีย – ไนโตรเจน (NH_3N)

สุ่มเก็บตัวอย่าง rumen fluid ปริมาตร 20 ml ใส่หลอดทดลองชนิดมีฝาจุขนาด 25 ml บรรจุด้วย 6 N HCl ปริมาตร 5 ml จากนั้นนำหลอดตัวอย่างไปปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ที่ 3000 รอบ/เวลา เป็นเวลา 15 นาที เก็บเอาเฉพาะส่วนของเหลวใส (Supernatant) ลงในขวดขนาด 25 ml ปิดด้วยฝาจุเกลียวเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -20°C เพื่อนำไปวิเคราะห์หาแอมโมเนีย – ไนโตรเจน

3.3.3.3 กรดไขมันระเหยได้ Volatile fatty acids (VFA_s)

สุ่มเก็บตัวอย่าง rumen fluid ปริมาตร 20 ml ใส่หลอดทดลองชนิดมีฝาจุขนาด 25 ml บรรจุด้วย 6 N HCl ปริมาตร 5 ml จากนั้นนำหลอดตัวอย่างไปปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ที่ 3000 รอบ/เวลา เป็นเวลา 15 นาที เก็บเอาเฉพาะส่วนของเหลวใส (Supernatant) ลงในขวดขนาด 25 ml ปิดด้วยฝาจุเกลียวเก็บรักษาไว้ที่ อุณหภูมิ -20°C จนกว่าจะนำไปวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันระเหยได้ ที่สำคัญ ได้แก่ กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทีริก ด้วยเครื่อง Gas Chromatographic (GC)

3.3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวิธี F-test เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's new multiple range test และวิเคราะห์หาแนวโน้ม โดยวิธี Orthogonal polynomial วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS (SAS, 1988)

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี การประเมินคุณค่าทางพลังงาน และ การศึกษาการย่อยสลายในกระเพาะหมักของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองและวัตถุดิบอาหารสัตว์

4.1.1 องค์ประกอบทางเคมีในเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองและวัตถุดิบอาหารสัตว์

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองและวัตถุดิบอาหารสัตว์ ด้วยวิธีการ Proximate analysis และ detergent Analysis ในห้องปฏิบัติการ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่าเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนใกล้เคียงกับข้าวโพด แต่เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง มีองค์ประกอบของเยื่อใย NDF และ ADF ในปริมาณที่สูง เช่นเดียวกับกากปาล์ม และในกากปาล์มมีเปอร์เซ็นต์ไขมันค่อนข้างสูง (8.50 เปอร์เซ็นต์) แต่มันสำปะหลังและกากมันสำปะหลังมีเปอร์เซ็นต์ไขมันค่อนข้างต่ำ (0.46 และ 0.16%ตามลำดับ) และในกากถั่วเหลือง มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนสูง (48.95%)

4.1.2 การประเมินค่าพลังงานในเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองและวัตถุดิบอาหารสัตว์

เมื่อนำผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองและวัตถุดิบอาหารสัตว์จากตารางที่ 3.1 มาคำนวณหาพลังงานประเภทต่างๆ ตามสมการของ NRC (2001) จะได้ค่าพลังงานของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองและวัตถุดิบอาหารสัตว์ดังตารางที่ 4.2 พบว่าเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองมีโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (Total digestible nutrient, TDN_{1x}) ค่าพลังงานการย่อยได้ (DE_p) พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (ME_p) และค่าพลังงานสุทธิ (NE_p) มีค่าต่ำกว่าข้าวโพด, กากถั่วเหลือง, มันสำปะหลัง, กากมันสำปะหลัง และกากปาล์ม แต่มีค่าพลังงานการย่อยได้สูงกว่ากากปาล์ม

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองและวัตถุดิบอาหารสัตว์ (Mean ± SE)

เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง	วัตถุดิบ					
	เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง	ข้าวโพด	กากมันสำปะหลัง	กากถั่วเหลือง	มันสำปะหลัง	กากปาล์ม
วัตถุแห้ง	95.89 ± 0.03	89.43 ± 0.70	89.40 ± 0.07	88.32 ± 0.01	89.00 ± 0.10	94.84 ± 0.09
โปรตีน	10.25 ± 0.03	9.21 ± 0.13	4.25 ± 0.25	48.95 ± 0.00	3.38 ± 0.23	14.62 ± 0.20
ไขมัน	1.29 ± 0.01	2.65 ± 0.01	0.16 ± 0.01	2.03 ± 0.03	0.46 ± 0.00	8.50 ± 0.06
เถ้า	4.64 ± 0.04	1.61 ± 0.05	8.07 ± 0.06	6.50 ± 0.023	2.35 ± 0.00	4.08 ± 0.03
เยื่อใย	34.14 ± 0.07	2.69 ± 0.13	13.32 ± 0.45	6.42 ± 0.28	3.62 ± 0.13	23.40 ± 0.73
NDF	64.86 ± 0.05	11.48 ± 0.32	37.31 ± 0.21	16.62 ± 0.03	20.86 ± 0.26	61.92 ± 0.20
ADF	46.41 ± 0.13	2.76 ± 0.15	19.58 ± 0.09	10.47 ± 0.56	11.50 ± 0.42	34.64 ± 0.30
ADL	3.63 ± 0.00	1.60 ± 0.60	3.70 ± 0.10	0.75 ± 0.07	1.17 ± 0.04	12.67 ± 0.30
NFC	18.97 ± 0.07	75.05 ± 0.06	50.22 ± 0.63	25.91 ± 0.00	72.95 ± 0.50	10.87 ± 0.04
NDIN	0.61 ± 0.02	1.10 ± 0.01	0.13 ± 0.01	1.31 ± 0.07	1.30 ± 0.10	1.30 ± 0.17
NDICP	3.79 ± 0.00	6.96 ± 0.04	0.79 ± 0.06	8.16 ± 0.47	8.35 ± 0.60	8.13 ± 1.03
ADIN	0.16 ± 0.13	0.88 ± 0.00	0.11 ± 0.01	0.88 ± 0.02	0.84 ± 0.02	0.74 ± 0.02
ADICP	0.99 ± 0.01	5.48 ± 0.10	0.70 ± 0.01	5.51 ± 0.10	5.24 ± 0.12	4.62 ± 0.09

ห ม า ย เ ท ศ : ADF = Acid-detergent fiber, ADL = Acid-detergent lignin, ADIN = Acid- detergent insoluble nitrogen, ADINCP = Acid- detergent insoluble crude protein, NDF = Neutral-detergent fiber, NDIN = Neutral-detergent insoluble nitrogen, NDICP = neutral detergent insoluble crude protein, NFC = non fiber carbohydrate

ตารางที่ 4.2 คุณค่าทางพลังงานของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองและวัตถุดิบอาหารสัตว์ (Mean ± SE)

เปอร์เซ็นต์วัตถุดิบ	วัตถุดิบ					
	เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง	ข้าวโพด	กากมันสำปะหลัง	กากถั่วเหลือง	มันสำปะหลัง	กากปาล์ม
TDN _{IX} (%) ^{1/}	62.33 ± 0.06	82.94 ± 0.54	66.22 ± 0.40	80.02 ± 0.10	80.71 ± 0.20	60.36 ± 0.70
DE _{IX} (Mcal/kg) ^{2/}	2.75 ± 0.003	3.58 ± 0.02	2.83 ± 0.12	4.01 ± 0.00	3.41 ± 0.01	2.70 ± 0.03
DE _p (Mcal/kg) ^{3/}	2.67 ± 0.00	3.18 ± 0.01	2.69 ± 0.00	3.60 ± 0.00	3.05 ± 0.00	2.65 ± 0.02
ME _p (Mcal/kg) ^{4/}	2.25 ± 0.00	2.76 ± 0.01	2.27 ± 0.00	3.18 ± 0.00	2.63 ± 0.00	2.26 ± 0.02
NE _{LP} (Mcal/kg) ^{5/}	1.39 ± 0.00	1.75 ± 0.00	1.41 ± 0.00	2.05 ± 0.00	1.66 ± 0.00	1.41 ± 0.02

หมายเหตุ :

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

² DE_{IX}(Mcal/kg) = [(tdNFC/100) x 4.2]+[(tdNDF/100) x 4.2] x [(tdCP/100) x 5.6]+[(FA/100) x 9.4] – 0.3

³ DE_p(Mcal/kg) = {[(TDN_{IX} – [(0.18 x TDN_{IX}) – 10.3]) x Intake]/ TDN_{IX}} x DE_{IX}

⁴ ME_p(Mcal/kg) = [1.01 x (DE_p) – 0.45] + [0.0046 x (EE – 3)]

⁵ NE_{LP}(Mcal/kg) = [0.703 x ME_p] – 0.19 (Moe and Tyrrell, 1972), (EE < 3%)

⁵ NE_{LP}(Mcal/kg) = ([0.703 x ME_p] – 0.19) + [(0.097 x ME_p)/97] x [(EE – 30), (EE > 3%)

4.1.3 การย่อยสลายของวัตถุแห้ง

เมื่อศึกษาเปรียบเทียบการย่อยสลายของวัตถุแห้งของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองและวัตถุดิบอาหารสัตว์โดยวิธีการใช้ถุงไนลอนพบว่าปริมาณวัตถุแห้งที่ย่อยสลายไปดังแสดงในตารางที่ 4.3 ณ ชั่วโมงต่าง ๆ เมื่อนำไปบ่มในกระเพาะหมักของโคทดลอง พบว่าเมื่อมีระยะเวลาอยู่ในกระเพาะหมักนานขึ้น วัตถุดิบอาหารสัตว์ทุกชนิดมีอัตราการย่อยสลายในกระเพาะหมักเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา โดยเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองมีอัตราการย่อยสลายของวัตถุแห้ง ($dgDM$) ใกล้เคียงกับกากปาล์ม แต่มีอัตราการย่อยสลายของวัตถุแห้งต่ำกว่าข้าวโพด กากถั่วเหลือง มันสำปะหลัง และกากมันสำปะหลัง

4.1.4 การย่อยสลายของโปรตีนรวม

เมื่อศึกษาเปรียบเทียบการย่อยสลายของโปรตีนของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองและวัตถุดิบอาหารสัตว์โดยวิธีการใช้ถุงไนลอนพบว่าปริมาณโปรตีนที่สลายตัวไปดังแสดงในตารางที่ 4.4 ณ ชั่วโมงต่าง ๆ เมื่อนำไปบ่มในกระเพาะหมักของโคทดลอง พบว่าเมื่อมีระยะเวลาอยู่ในกระเพาะหมักนานขึ้น วัตถุดิบอาหารสัตว์ทุกชนิดมีอัตราการย่อยสลายโปรตีน ($dgCP$) ในกระเพาะหมักเพิ่มขึ้นตามเวลา โดยที่วัตถุดิบอาหารสัตว์ มีอัตราการย่อยสลายโปรตีนใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.3 การย่อยสลายวัตถุแห้งของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองและวัตถุดิบอาหารสัตว์ในกระเพาะหมัก

วัตถุดิบ	วัตถุแห้ง							dg ^{/6}
	0	2	4	6	12	24	48	
	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	
Degradability of DM	------(%)-----							
เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง	17.1	24.9	26.8	27.1	36.5	58.8	74.0	45.5
ข้าวโพด	25.7	32.1	33.1	34.7	46.4	58.5	75.3	50.2
กากถั่วเหลือง	24.9	41.8	44.8	49.3	65.5	85.2	93.9	68.1
มันสำปะหลัง	48.0	61.8	65.6	69.2	81.3	84.9	93.0	78.7
กากมันสำปะหลัง	20.7	27.8	30.9	35.3	47.1	65.6	79.6	52.1
กากปาล์ม	20.2	23.4	28.4	33.2	40.4	47.0	66.5	43.0

หมายเหตุ : ⁶ Effective degradability of Dry matter

ตารางที่ 4.4 การย่อยสลายโปรตีนของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองและวัตถุดิบอาหารสัตว์ในกระเพาะหมัก

วัตถุดิบ	วัตถุแห้ง							dg ⁷
	0	2	4	6	12	24	48	
	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	
Degradability of CP	------(%)-----							
เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง	29.8	38.6	39.5	41.6	56.3	63.2	78.1	56.1
ข้าวโพด	39.1	40.9	42.2	44.4	52.2	61.7	76.7	55.9
กากถั่วเหลือง	21.8	26.3	31.6	41.3	51.8	79.5	89.9	59.3
กากปาล์ม	39.7	41.1	43.2	46.4	49.1	66.3	76.5	56.8

หมายเหตุ : ⁷ Effective degradability of Crude protein

ตารางที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์การย่อยสลายวัตถุแห้งและการย่อยสลายโปรตีนของวัตถุดิบอาหารสัตว์

Disappearance (%)	วัตถุดิบ					
	เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง	ข้าวโพด	กากถั่วเหลือง	มันสำปะหลัง	กากมันสำปะหลัง	กากปาล์ม
DM Disappearance (%)						
A	17.1	25.7	24.9	48.0	20.7	20.2
B	81.0	69.4	74.0	44.9	68.5	69.4
c	0.026	0.026	0.059	0.079	0.042	0.021
A + B	98.1	95.1	98.9	92.9	89.2	89.6
Effective Disappearance (%)*	45.5	50.2	68.1	78.7	52.1	43.0
CP Disappearance (%)						
A	29.8	39.1	21.8	-	-	39.7
B	56.6	60.7	74.8	-	-	52.2
c	0.038	0.021	0.056	-	-	0.027
A + B	86.4	99.8	96.6	-	-	91.9
Effective Disappearance (%)*	56.1	55.9	59.3	-	-	56.8

หมายเหตุ : *Outflow rate (fraction/h) = 0.05

4.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งวัตถุดิบพลังงานทดแทนข้าวโพดในอาหารชั้นต่อการให้ผลผลิตน้ำนม และคุณภาพของน้ำนม

4.2.1 องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารและการประเมินพลังงานโดยการคำนวณจากสมการ NRC (2001) ที่โคนมได้รับจากสูตรอาหารและอาหารหยาบ

ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของอาหารที่ใช้ในการทดลองทั้ง 3 สูตร พบว่าอาหารทดลองสูตรที่ 1 คือสูตรอาหารที่มีการทดแทนแหล่งพลังงานจากข้าวโพดด้วยเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองในระดับ 0% ในสูตรอาหารชั้น อาหารทดลองสูตรที่ 2 คือสูตรอาหารที่มีการทดแทนแหล่งพลังงานจากข้าวโพดด้วยเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองในระดับ 10% ในสูตรอาหารชั้น และอาหารทดลองสูตรที่ 3 คือ สูตรอาหารที่มีการทดแทนแหล่งพลังงานจากข้าวโพดด้วยเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองในระดับ 20% ในสูตรอาหารชั้น พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองสูตรที่ 1 มีค่าวัตถุแห้ง โปรตีนหยาบ ไขมัน เถ้า และพวกโครงสร้างพืช ได้แก่ ปริมาณของเยื่อใย NDF ADF และ ADL มีค่าเท่ากับ 91.48, 19.70, 2.69, 6.00, 12.23, 31.43, 18.16 และ 3.48% ของวัตถุแห้ง ตามลำดับ ส่วนอาหารทดลองสูตรที่ 2 พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุแห้ง โปรตีนหยาบ ไขมัน เถ้า และพวกโครงสร้างพืช ได้แก่ ระดับของเยื่อใย NDF ADF และ ADL มีค่าเท่ากับ 91.65, 22.38, 2.67, 6.22, 13.94, 31.85, 20.9 และ 3.21% ของวัตถุแห้ง ตามลำดับ ส่วนอาหารทดลองสูตรที่ 3 พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุแห้ง โปรตีนหยาบ ไขมัน เถ้า และพวกโครงสร้างพืช ได้แก่ ระดับของเยื่อใย NDF ADF และ ADL มีค่าเท่ากับ 91.83, 20.5, 2.43, 6.37, 16.15, 35.74, 25.12 และ 3.43% ของวัตถุแห้ง ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.6

เมื่อนำค่าองค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองทั้ง 3 สูตรมาคำนวณหาค่าโภชนะย่อยได้ (TDN) พลังงานย่อยได้ (DE) พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (ME) และพลังงานสุทธิ (NE) ตามสมการ NRC (2001) ดังแสดงในตารางที่ 4.4 ค่าโภชนะย่อยได้ ของอาหารทดลองทั้ง 3 สูตร มีค่าเท่ากับ 74.72, 75.44 และ 72.56% ตามลำดับเช่นเดียวกับพลังงานย่อยได้ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.09, 3.12 และ 3.04 Mcal/kgDM ตามลำดับ ส่วนพลังงานใช้ประโยชน์ได้ มีค่าเท่ากับ 2.67, 2.73 และ 2.63 Mcal/kgDM ตามลำดับ และพลังงานสุทธิ มีค่าเท่ากับ 1.69, 1.73 และ 1.66 Mcal/kgDM ตามลำดับ

ตารางที่ 4.6 องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารและอาหารหยาบ (Mean $\pm$ SE)

เปอร์เซ็นต์วัตถุดิบ	หญ้าหมัก	ข้าวโพดหมัก	ระดับเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง		
			0%	10%	20%
วัตถุดิบ	26.49 $\pm$ 1.30	29.41 $\pm$ 0.40	91.48 $\pm$ 0.05	91.65 $\pm$ 0.05	91.83 $\pm$ 0.04
โปรตีน	7.51 $\pm$ 0.03	7.76 $\pm$ 0.15	19.70 $\pm$ 0.004	22.38 $\pm$ 0.10	20.50 $\pm$ 0.20
ไขมัน	1.07 $\pm$ 0.04	1.30 $\pm$ 0.03	2.69 $\pm$ 0.07	2.67 $\pm$ 0.02	2.43 $\pm$ 0.06
เยื่อใย	41.6 $\pm$ 0.20	65.27 $\pm$ 0.20	12.23 $\pm$ 0.50	13.94 $\pm$ 0.40	16.15 $\pm$ 0.40
เถ้า	9.57 $\pm$ 0.00	14.12 $\pm$ 0.20	6.00 $\pm$ 0.03	6.22 $\pm$ 0.01	6.37 $\pm$ 0.10
NFC	8.49 $\pm$ 0.10	12.05 $\pm$ 0.10	40.19 $\pm$ 0.20	36.89 $\pm$ 0.60	34.98 $\pm$ 0.20
NDF	73.37 $\pm$ 0.04	66.09 $\pm$ 0.02	31.43 $\pm$ 0.20	31.85 $\pm$ 0.40	35.74 $\pm$ 0.07
ADF	43.59 $\pm$ 0.01	40.09 $\pm$ 0.30	18.16 $\pm$ 0.20	20.90 $\pm$ 0.30	25.12 $\pm$ 0.60
ADL	4.17 $\pm$ 0.45	3.74 $\pm$ 0.20	3.48 $\pm$ 0.00	3.21 $\pm$ 0.07	3.43 $\pm$ 0.10
NDIN	0.71 $\pm$ 0.00	0.66 $\pm$ 0.00	2.37 $\pm$ 0.35	2.72 $\pm$ 0.30	2.21 $\pm$ 0.03
NDICP	4.44 $\pm$ 0.02	4.14 $\pm$ 0.03	14.83 $\pm$ 0.22	16.79 $\pm$ 0.40	13.83 $\pm$ 0.20
ADIN	0.53 $\pm$ 0.03	0.56 $\pm$ 0.04	0.82 $\pm$ 0.00	0.85 $\pm$ 0.00	0.73 $\pm$ 0.203
ADICP	3.31 $\pm$ 0.20	3.49 $\pm$ 0.260	5.15 $\pm$ 0.06	5.34 $\pm$ 0.15	4.53 $\pm$ 0.20

หมายเหตุ : ADF = Acid-detergent fiber, ADL = Acid-detergent lignin, ADIN = Acid-detergent insoluble nitrogen, ADINCP = Acid-detergent insoluble crude protein, NDF = Neutral-detergent fiber, NDIN = Neutral-detergent insoluble nitrogen, NDICP = neutral detergent insoluble crude protein, NFC = non-fiber carbohydrate,

ตารางที่ 4.7 การจำแนกพลังงานโดยการคำนวณสมการของ NRC (2001) ที่โคได้รับจากสูตรอาหารและอาหารหยาบ (Mean ± SE)

เปอร์เซ็นต์วัตถุดิบ	ระดับเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง				
	หญ้าหมัก	ข้าวโพดหมัก	0%	10%	20%
พลังงาน TDN (%TDN) ¹	52.97 ± 0.80	51.58 ± 0.25	74.72 ± 0.30	75.44 ± 0.70	72.56 ± 0.04
พลังงานย่อยได้ DE (DE _p) Mcal/kgDM ²	2.31 ± 0.03	2.25 ± 0.01	3.38 ± 0.001	3.45 ± 0.00	3.30 ± 0.00
พลังงานใช้ประโยชน์ ME (ME _p) Mcal/kgDM ³	1.95 ± 0.02	1.90 ± 0.01	2.67 ± 0.01	2.73 ± 0.01	2.63 ± 0.00
พลังงานสุทธิ NE (NE _{LP}) Mcal/kgDM ⁴	1.18 ± 0.01	1.14 ± 0.01	1.69 ± 0.01	1.73 ± 0.00	1.66 ± 0.00

หมายเหตุ :

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

² DE_p (Mcal/kg) = DE_{ix} x Discount

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

Discount = [TDN_{ix} + ([0.18 x TDN_{ix}) - 10.3] x Intake) / TDN_{ix}

³ ME_p (Mcal/kg) = [1.01 x (DE_p) - 0.45] + 0.0046 x (EE - 3) (กรณี EE > 3%)

³ ME_p (Mcal/kg) = 1.01 x DE (Mcal/kg) - 0.45 (กรณี EE < 3%)

⁴ NE_p (Mcal/kg) = 0.703 x ME_p - 0.19 + ([0.0097 x ME_p + 0.19)/97] x [EE - 3] (กรณี EE > 3%)

⁴ NE_p (Mcal/kg) = [0.703 x ME_p (Mcal/kg)] - 0.19 (กรณี EE < 3%)

2.2 ปริมาณการกินได้ของโคนม

จากการทดลองปริมาณการกินได้โภชนะของโคนม เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มการทดลองที่มีการทดแทนข้าวโพดด้วยเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองในระดับ 0, 10 และ 20% ในสูตรอาหาร แสดงดังตารางที่ 4.8 ดังนี้ปริมาณการกินได้วัตุแห้ง/ตัว/วัน พบว่าปริมาณการกินได้วัตุแห้งของอาหารขุ่นมีค่าเฉลี่ยเท่า 8.23, 8.25 และ 8.26 กิโลกรัมวัตุแห้งต่อ/ตัว/วัน ตามลำดับ ปริมาณการกินได้วัตุแห้งของอาหารหยาบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.87, 6.76 และ 6.95 กิโลกรัมวัตุแห้ง/ตัว/วันตามลำดับ และปริมาณการกินได้วัตุแห้งของอาหารรวมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15.10, 15.01 และ 15.21 กิโลกรัมวัตุแห้ง/ตัว/วันตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) สำหรับปริมาณการกินได้วัตุแห้งต่อน้ำหนักตัว ($\text{g/kgW}^{0.75}$) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 166, 163 และ 172 $\text{g/kgW}^{0.75}$ ตามลำดับ พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อระดับการทดแทนด้วยเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น

ปริมาณการกินได้โปรตีนต่อตัวต่อวัน พบว่าปริมาณการกินได้โปรตีนจากอาหารหยาบ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 514, 501 และ 526 กรัมวัตุแห้ง/ตัว/วันตามลำดับ ปริมาณการกินได้โปรตีนจากอาหารขุ่นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1620, 1846 และ 1693 กรัมวัตุแห้ง/ตัว/วันตามลำดับ ปริมาณการกินได้โปรตีนจากอาหารรวมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2134, 2347 และ 2219 กรัมวัตุแห้ง/ตัว/วัน ตามลำดับ และปริมาณการกินได้โปรตีนต่อน้ำหนักตัว ($\text{g/kgW}^{0.75}$) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 23.40, 25.57 และ 25.09 $\text{g/kgW}^{0.75}$ ตามลำดับ) พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) สำหรับปริมาณการกินได้โปรตีนจากอาหารหยาบ ปริมาณการกินได้โปรตีนจากอาหารขุ่น และปริมาณการกินได้โปรตีนต่อน้ำหนักตัว ($\text{g/kgW}^{0.75}$) แต่พบว่าปริมาณการกินได้โปรตีนจากอาหารรวมทั้งหมด พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อระดับการทดแทนด้วยเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าความแตกต่างดังกล่าวมีความสัมพันธ์แบบเส้นโค้งกำลังสอง (Quadratic contrast)

ปริมาณการกินได้พลังงานสุทธิต่อตัวต่อวัน พบว่าปริมาณการกินได้พลังงานจากอาหารหยาบ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.11, 7.89 และ 8.20 Mcal/ตัว/วัน ตามลำดับ ปริมาณการกินได้พลังงานจากอาหารขุ่น มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.92, 14.72 และ 13.72 Mcal/ตัว/วัน ตามลำดับ ปริมาณการกินได้พลังงานจากอาหารรวม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 22.03, 22.25 และ 21.92 Mcal/ตัว/วัน ตามลำดับ และปริมาณการกินได้พลังงานสุทธิต่อน้ำหนักตัว ($\text{g/kgW}^{0.75}$) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.24, 0.24 และ 0.25 $\text{g/kgW}^{0.75}$ ตามลำดับ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางที่ 4.8 ปริมาณการกินได้ของโคนมที่ได้อาหารสูตรทดลอง

ปริมาณการกินได้	ระดับเปลือกหุ้มเมล็ดข้าวเหลือง			SEM	P value	Contrast ^d	
	0%	10%	20%			L	Q
ปริมาณการกินได้วัตถุดิบ	----- (kgDM/d) -----						
- อาหารข้น	8.23	8.25	8.26				
- อาหารหยาบ	6.87	6.76	6.95	0.35	0.9360	0.8795	0.7443
- รวม	15.10	15.01	15.21	0.35	0.9304	0.8362	0.7539
g / kg W ^{0.75}	166	163	172	4.71	0.4344	0.3815	0.3442
ปริมาณการกินได้โปรตีน	----- (g/d) -----						
- อาหารข้น	1620	1846	1693				
- อาหารหยาบ	514	501	526	26.82	0.8156	0.7674	0.5765
- รวม	2136	2347	2219	18.20	0.0924	0.7374	0.0327
g / kg W ^{0.75}	23.40	25.57	25.09	0.74	0.0831	0.0937	0.1265
ปริมาณการกินได้พลังงานสุทธิ	----- (Mcal/d) -----						
- อาหารข้น	13.92	14.27	13.72				
- อาหารหยาบ	8.11	7.89	8.20	0.42	0.9371	0.8832	0.7454
- รวม	22.03	22.25	21.92	0.42	0.8539	0.8639	0.5971
g / kg W ^{0.75}	0.24	0.24	0.25	0.01	0.5679	0.3610	0.5955

หมายเหตุ : ^d เปรียบเทียบความแตกต่างตามความสัมพันธ์แบบ Orthogonal contrast; L = linear; Q = quadratic

SEM = standard error of the mean

4.2.3 ปริมาณน้ำนมและปริมาณองค์ประกอบของน้ำนม

จากการทดลองใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดต่อปริมาณน้ำนม พบว่าเมื่อใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดในระดับ 0, 10 และ 20% ในสูตรอาหารชั้น ปริมาณน้ำนม มีค่าเท่ากับ 14.77, 15.47 และ 14.16 กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) และเมื่อปรับปริมาณน้ำนมตามเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมที่ 4% (4 %FCM) ในหน่วยกิโลกรัมต่อวัน มีค่าเป็น 14.82, 16.47 และ 15.67 กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) และเมื่อพิจารณาไขมันในน้ำนมเป็นหน่วยกรัมต่อวัน มีค่าเท่ากับ 594, 686 และ 667 กรัม/วัน ตามลำดับ เช่นเดียวกับปริมาณโปรตีนในน้ำนม (476, 513 และ 472 กรัมต่อวัน ตามลำดับ) ส่วนของปริมาณแลคโตสในน้ำนม (697, 763 และ 692 กรัม/วัน ตามลำดับ) ปริมาณของแข็งพร้อมไขมันในน้ำนม (1275, 1383 และ 1263 กรัม/วัน ตามลำดับ) และปริมาณของแข็งรวมในน้ำนม (1859, 2069 และ 1930 กรัม/วัน ตามลำดับ) พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อระดับการทดแทนด้วยเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4.9

เปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบน้ำนมในสูตรอาหารทดลองที่มีการทดแทนแหล่งพลังงานข้าวโพดด้วยเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองในระดับ 0, 10 และ 20% ในสูตรอาหารชั้น แสดงไว้ในตารางที่ 4.10 พบว่าเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนม มีค่าเท่ากับ 4.04, 4.51 และ 4.87% ตามลำดับ เช่นเดียวกับปริมาณเปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนม (3.22, 3.33 และ 3.36% ตามลำดับ) และเปอร์เซ็นต์ของแข็งรวมในน้ำนม (12.59, 13.42 และ 13.77% ตามลำดับ) ที่ศึกษาพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อระดับการทดแทนข้าวโพดด้วยเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าความแตกต่างดังกล่าวมีแนวโน้มลดลงความสัมพันธ์แบบเส้นตรง (Linear contrast) ส่วนเปอร์เซ็นต์แลคโตสมีค่าเท่ากับ 4.71, 4.89 และ 4.84% ตามลำดับ และเปอร์เซ็นต์ของแข็งพร้อมไขมัน (8.63, 8.91 และ 8.90% ตามลำดับ) พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

4.2.4 น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง

น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลงของโคนมที่ได้รับอาหารชั้นทดลองที่ใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดในระดับ 0, 10 และ 20% ในสูตรอาหาร แสดงไว้ในตารางที่ 4.11 พบว่าน้ำหนักตัวของโคนมก่อนการทดลอง มีค่าเท่ากับ 417, 417 และ 410 กิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนน้ำหนักตัวหลังสิ้นสุดการทดลอง มีค่าเท่ากับ 415, 419 และ 398 กิโลกรัม ตามลำดับ และน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง มีค่าเท่ากับ -63, 50 และ 83 กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งจากการทดลองพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ของโคนมทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง

ตารางที่ 4.9 ปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนม

	ระดับเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง			SEM	P value	Contrast ^{/d}	
	0%	10%	20%			L	Q
ปริมาณน้ำนม	----- (กิโลกรัม/วัน) -----						
- ปริมาณน้ำนม	14.77	15.47	14.25	0.95	0.6965	0.7196	0.4459
- ปริมาณน้ำนมปรับไขมัน 4 %	14.82	16.47	15.67	0.82	0.3919	0.4789	0.2435
องค์ประกอบของน้ำนม	----- (กรัม/วัน) -----						
- ปริมาณไขมันนม	594	686	667	34.65	0.1252	0.1199	0.1753
- โปรตีนนม	476	513	472	27.56	0.5652	0.9360	0.2925
- ปริมาณแล็คโตส	697	763	692	52.34	0.6239	0.9536	0.3380
- ปริมาณของแข็งพร่องไขมัน	1275	1383	1263	85.96	0.6103	0.9270	0.3281
- ปริมาณของแข็งรวมในนม	1859	2069	1930	114.07	0.4637	0.6763	0.2474

หมายเหตุ : ^dเปรียบเทียบความแตกต่างตามความสัมพันธ์แบบ Orthogonal contrast; L = linear; Q = quadratic

SEM = standard error of the mean

ตารางที่ 4.10 แสดงองค์ประกอบของน้ำมัน

	ระดับเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง			SEM	P value	Contrast ^{/d}	
	0%	10%	20%			L	Q
เปอร์เซ็นต์	------(%)-----						
- ไขมันนม	4.04	4.51	4.87	0.25	0.0608	0.0196	0.8495
- โปรตีนนม	3.22	3.33	3.36	0.06	0.0972	0.0345	0.7491
- แล็กโตส	4.71	4.89	4.84	0.09	0.4166	0.3387	0.3621
- ของแข็งพร่องไขมัน	8.63	8.91	8.90	0.34	0.1040	0.0691	0.2527
- ของแข็งรวมในนม	12.59 ^B	13.42 ^A	13.77 ^A	0.11	0.0081	0.0027	0.4354

หมายเหตุ : ^d เปรียบเทียบความแตกต่างตามความสัมพันธ์แบบ Orthogonal contrast; L = linear; Q = quadratic

SEM = standard error of the mean

^{AB} แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01)

ตารางที่ 4.11 แสดงน้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง

	ระดับเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง			SEM	P value	Contrast ^d	
	0%	10%	20%			L	Q
น้ำหนักตัว (กิโลกรัม)							
- ก่อนการทดลอง	417	417	410	18.59	0.9575	0.8007	0.8841
- หลังการทดลอง	415	419	398	18.08	0.6968	0.5115	0.5965
น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง (กรัม/วัน)	-63	50	-156	177.09	0.1884	0.1849	0.2014

หมายเหตุ : ^d เปรียบเทียบความแตกต่างตามความสัมพันธ์แบบ Orthogonal contrast; L = linear; Q = quadratic; SEM = standard error of the mean

4.2.5 องค์ประกอบของกรดไขมันในสูตรอาหารและในน้ำมัน

ตารางที่ 4.12 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันในอาหารหยาดและในอาหารทดลองทั้ง 3 สูตร พบว่ากรดไขมันบางตัวในสูตรอาหารในแต่ละสูตรจะแตกต่างกัน เพราะในแต่ละสูตรมีการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองและข้าวโพดในระดับที่แตกต่างกันองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันของอาหารทั้ง 3 สูตร แสดงในตารางที่ 4.13 พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) เช่นเดียวกับปริมาณ CLA เมื่อระดับของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองในสูตรอาหารเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณ $C_{18:2n6}$, $C_{18:3n3}$ และ $C_{22:4n6}$ ในน้ำมันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางที่ 4.12 แสดงองค์ประกอบของกรดไขมันในสูตรอาหาร

Fatty acid profile	ข้าวโพดหมัก	หญ้าหมัก	ระดับเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง		
			0%	10%	20%
-----(% of total fatty acid)-----					
C _{8:0}	-	-	1.39	1.30	1.39
C _{10:0}	-	-	1.52	1.53	1.57
C _{12:0}	1.35	2.25	26.24	27.17	26.07
C _{14:0}	1.38	1.33	9.67	10.02	9.45
C _{15:0}	1.95	2.55	-	-	-
C _{16:0}	26.45	24.13	18.53	20.33	18.46
C _{18:0}	5.41	3.81	3.83	4.23	3.98
C _{18:1n9c}	7.64	3.67	22.57	23.65	20.88
C _{18:2n6c}	21.04	20.32	14.96	17.03	15.84
C _{20:0}	1.78	2.14	0.33	0.00	0.00
C _{18:3n3}	24.50	35.03	0.97	1.80	2.37
C _{22:0}	2.30	1.60	-	-	-
C _{24:0}	6.20	3.81	-	-	-

ตารางที่ 4.13 แสดงผลการทดแทนข้าวโพดด้วยเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองต่อองค์ประกอบของ กรดไขมันในน้ำมัน

Fatty acid profile	ระดับเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง					Contrast ^{/d}		
	0%	10%	20%	SEM	P value	L	Q	
----- (mg/g milk fat) -----								
C _{8:0}	C _{4:0}	8.04	8.89	9.69	0.11	0.3351	0.1460	0.9554
	C _{6:0}	6.69	8.09	7.87	0.74	0.3508	0.2566	0.3692
		4.23	5.21	5.01	0.46	0.2788	0.2270	0.2909
	C _{10:0}	10.07	12.56	11.48	1.10	0.2539	0.3445	0.1722
C _{11:0}		1.31	1.47	1.52	0.15	0.6261	0.3635	0.7707
C _{12:0}		29.39	33.74	31.94	2.30	0.3985	0.2740	0.4264
C _{13:0}		1.02	1.16	1.12	0.13	0.6328	0.5242	0.4826
C _{14:0}		72.71	80.13	78.39	0.78	0.5046	0.3946	0.4278
C _{14:1}		7.50	7.80	9.25	0.93	0.4769	0.2610	0.6678
C _{15:0}		5.11	5.93	5.85	0.33	0.1238	0.0910	0.2313
C _{16:0}		204.64	207.02	226.73	11.16	0.3495	0.1913	0.5445
C _{16:1}		10.54	10.60	16.76	2.09	0.3959	0.2369	0.5103
C _{18:0}		44.17	47.45	46.83	4.25	0.8809	0.7052	0.7480
C _{18:1n9t}		6.99	4.83	8.32	1.39	0.1727	0.4632	0.0854
C _{18:1n9c}		103.92	116.63	126.06	9.37	0.2751	0.1152	0.8916
C _{18:2n6t}		0.30 ^b	0.53 ^a	0.54 ^a	0.08	0.0435	0.0263	0.2116
C _{18:2n6c}		5.90	7.11	7.36	0.64	0.2462	0.1209	0.5476
C _{18:3n3}		0.74 ^b	1.06 ^{ab}	1.16 ^a	0.13	0.0377	0.0146	0.4484
C _{20:0}		0.76	0.75	0.71	0.07	0.9167	0.7077	0.8675

หมายเหตุ : ^d เปรียบเทียบความแตกต่างตามความสัมพันธ์แบบ Orthogonal contrast; L =linear;

Q = quadratic

SEM = standard error of the mean;

^{ab} แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ 4.13 แสดงผลการทดแทนข้าวโพดด้วยเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำนม (ต่อ)

Fatty acid profile	ระดับเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง				P value	Contrast ^{/d}	
	0%	10%	20%	SEM		L	Q
	----- (mg/g milk fat) -----						
CLA ^{/e}	2.89	2.50	2.63	0.35	0.7737	0.6353	0.5996
C _{20:2n6}	0.35	0.49	0.45	0.05	0.2236	0.2207	0.2141
C _{22:4n6}	0.75 ^b	1.08 ^a	0.97 ^{ab}	0.10	0.0421	0.0805	0.0539
C _{24:0}	0.72	1.09	0.55	0.22	0.1918	0.5780	0.0863

หมายเหตุ : ^d เปรียบเทียบความแตกต่างตามความสัมพันธ์แบบ Orthogonal contrast; L =linear;

Q = quadratic; SEM = standard error of the mean;

^e Cis-9, trans-11-Octadecadienoic acid

^{ab} แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

4.2.6 การประมาณค่าโปรตีนและพลังงานของโคนมที่ได้รับอาหารชั้นสูตรทดลอง

ผลของโปรตีนย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{sup}) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RUP_{sup}) ของโคนมที่ได้รับจากอาหารชั้นสูตรทดลองทั้ง 3 สูตร ร่วมกับอาหารหยาบแสดงไว้ในตารางที่ 4.14 โดยที่สามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพการย่อยสลายได้ของโปรตีนโดยวิธี Nylon bag technique พบว่า RDP_{sup} มีค่าเท่ากับ 1325, 1541 และ 1410 กรัม/วัน ตามลำดับ และ RUP_{sup} มีค่าเท่ากับ 828, 829 และ 823 กรัม/วัน ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง

ความต้องการโปรตีนย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{req}) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP_{req}) ที่สามารถคำนวณได้จากสมการของ NRC (2001) แสดงไว้ในตารางที่ 4.14 พบว่าความต้องการโปรตีนย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{req}) ของโคนมในกลุ่มการทดลองที่ 1 มีค่าเท่ากับ 1498 กรัม/วัน โคนมในกลุ่มการทดลองที่ 2 มีค่าเท่ากับ 1500 กรัม/วัน และโคนมในกลุ่มการทดลองที่ 3 มีค่าเท่ากับ 1480 กรัม/วัน ซึ่งกลุ่มการทดลองที่ 1 และกลุ่มการทดลองที่ 2 ได้รับ RDP_{sup} ไม่เพียงพอต่อความต้องการเท่ากับ -172 และ -70 กรัม/วัน ตามลำดับ ในส่วนของความต้องการโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RUP_{req}) พบว่าโคนมในกลุ่มการทดลองที่ 1 โคนมในกลุ่มการทดลองที่ 2 และโคนมในกลุ่มการทดลองที่ 3 ได้รับ RUP_{req} เท่ากับ 759, 854 และ 772 กรัม/วัน ตามลำดับ ซึ่งพบว่าโคนมในกลุ่มการทดลองที่ 2 ได้รับ RUP_{sup} ไม่เพียงพอต่อความต้องการเท่ากับ -25 กรัม/วัน ตามลำดับจากผลการศึกษา แต่พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ของทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง

นอกจากนี้โปรตีนที่ได้รับจากจุลินทรีย์โปรตีน เท่ากับ 1273, 1275 และ 1258 กรัม/วัน ตามลำดับและความต้องการโปรตีนทั้งหมด มีค่าเท่ากับ 1287, 1338 และ 1285 กรัม/วัน ตามลำดับ พบว่าโปรตีนที่ได้รับจากจุลินทรีย์โปรตีนและความต้องการโปรตีนทั้งหมด ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ของทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง

การจำแนกพลังงานใช้ประโยชน์เพื่อกิจกรรมต่าง ๆ ของโคนมที่ได้รับอาหารที่ใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดทั้ง 3 ระดับ ตามสมการ NRC (2001) ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.16 พบว่าการกินได้ของพลังงานสุทธิ (NE_L intake) มีค่าเท่ากับ 22.02, 22.25 และ 21.92 Mcal/วัน ตามลำดับ ในส่วนของพลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (NE_{LM}) ของอาหารทั้ง 3 สูตร มีค่าเท่ากับ 7.36, 7.38 และ 7.20 Mcal/วัน ตามลำดับ พลังงานสุทธิเพื่อการผลิตน้ำนม (NE_{LL}) มีค่าเท่ากับ 10.96, 12.13 และ 11.51 Mcal/วัน ตามลำดับ พลังงานสุทธิเพื่อการเพิ่มน้ำหนักตัว (NE_{LG}) มีค่าเท่ากับ 0.99, 0.68 และ 1.43 Mcal/วัน ตามลำดับ พลังงานสุทธิสะสม (NE_{LR}) มีค่าเท่ากับ 19.30, 20.18 และ 20.13 Mcal/วัน ตามลำดับ และประสิทธิภาพ

ตารางที่ 4.14 การได้รับโปรตีนย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RDP) โปรตีนไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP)

	ระดับเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง			SEM	P value	Contrast ^a	
	0%	10%	20%			L	Q
	----- (กรัม/ตัว/วัน) -----						
โปรตีนย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RDP _{sup})	1325	1541	1410	36.47	0.9854	0.8432	0.7243
โปรตีนไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP _{sup})	828	829	823	13.44	0.9421	0.7806	0.8435

หมายเหตุ : ^d เปรียบเทียบความแตกต่างตามความสัมพันธ์แบบ Orthogonal contrast; L = linear; Q = quadratic

SEM = standard error of the mean

ตารางที่ 4.15 ปริมาณของโปรตีนที่ได้รับจากอาหารและโคนมต้องการ

	ระดับเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง			SEM	P value	Contrast ^d	
	0%	10%	20%			L	Q
	----- (กรัม/ตัว/วัน) -----						
ความต้องการ RDP _{reg}	1498	1500	1480	28.78	0.8768	0.6779	0.7706
RDP _{sup} จากอาหาร	1325	1541	1410	36.47	0.9854	0.8432	0.7243
ขาด/เกิน	-172	42	-70	35.46	0.6233	0.6254	0.5473
โปรตีนที่ได้รับจากจุลินทรีย์โปรตีน(MCP)	1273	1275	1258	24.46	0.8708	0.6699	0.7650
ความต้องการโปรตีนทั้งหมด (MP _R)	1287	1338	1285	50.39	0.7324	0.9843	0.4356
ความต้องการ RUP _{reg}	759	854	773	74.58	0.6652	0.9015	0.3767
RUP _{sup} จากอาหาร	828	829	823	13.44	0.9421	0.7806	0.8435
ขาด/เกิน	70	-25	50	68.85	0.6361	0.8516	0.3566

หมายเหตุ : ^d เปรียบเทียบความแตกต่างตามความสัมพันธ์แบบ Orthogonal contrast; L = linear; Q = quadratic

SEM = standard error of the mean

ตารางที่ 4.16 พลังงานที่โคนมต้องการเพื่อกิจกรรมต่างๆ และที่โคนมได้รับจากอาหาร

	ระดับเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง			SE M	P value	Contrast/ ^d	
	0%	10%	20%			L	Q
	-----(Mcal/วัน)-----						
การกินได้พลังงานสุทธิ (NE _L intake)	22.02	22.25	21.92	0.42	0.8539	0.8639	0.5970
พลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (NE _{LM})	7.36	7.38	7.20	0.24	0.8554	0.6497	0.7521
พลังงานสุทธิเพื่อการผลิตน้ำนม (NE _{LL})	10.96	12.13	11.51	0.33	0.4220	0.5362	0.2495
พลังงานสุทธิเพื่อการเพิ่มน้ำหนักตัว (NE _{LG})	-0.99	0.68	-1.43	0.57	0.2400	0.3371	0.1816
พลังงานสุทธิสะสม (NE _{LR})	19.30	20.18	20.13	0.80	0.6851	0.4701	0.6373
ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Efficiency)	0.82	0.86	0.88	0.04	0.5158	0.2660	0.8082

หมายเหตุ : ^dเปรียบเทียบความแตกต่างตามความสัมพันธ์แบบ Orthogonal contrast; L = linear; Q = quadratic

SEM = standard error of the mean

4.2.7 การย่อยสลายของวัตถุแห้ง

การศึกษาการย่อยสลายของวัตถุแห้ง และอัตราการย่อยสลายได้วัตถุแห้งของอาหารขึ้นทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง และอาหารหยาบ พบว่าเมื่อมีระยะเวลาอยู่ในกระเพาะหมักนานขึ้นอาหารขึ้นทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง และอาหารหยาบ มีอัตราการย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักเพิ่มขึ้นตามเวลา โดย $dgDM$ ของอาหารขึ้นทั้ง 3 กลุ่มมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 60.0, 61.6 และ 60.6% ตามลำดับ และอาหารหยาบ คือ ข้าวโพดหมัก และหญ้าหมัก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 38.4 และ 38.5% ตามลำดับ

เมื่อนำค่าวัตถุแห้งที่สลายตัวที่ชั่วโมงต่าง ๆ นี้ไปคำนวณโดยโปรแกรม NEWAY ตามสมการที่เสนอโดย Ørskov and McDonald (1979) พบว่าค่าพารามิเตอร์ที่แสดงในตารางที่ 4.17 ค่าการละลาย (A) ของวัตถุของสูตรอาหารทั้ง 3 สูตร มีค่าเท่ากับ 37.7, 34.8 และ 33.8 ตามลำดับ ส่วนที่ไม่สลายแต่สามารถเกิดกระบวนการหมักย่อยโดยจุลินทรีย์ (B) ของวัตถุแห้ง ของอาหารทั้ง 3 สูตร มีค่าเท่ากับ 44.4, 54.8 และ 51.7 ตามลำดับ ค่าศักยภาพในการสลายตัว (A+B) ของวัตถุแห้ง มีค่าเท่ากับ 82.1, 89.6 และ 85.5 ตามลำดับ และอัตราการสลายตัว (c) ของวัตถุแห้ง มีค่าเท่ากับ 0.031, 0.027 และ 0.033 ตามลำดับ

4.2.8 การสลายตัวของโปรตีนรวม

ปริมาณโปรตีนรวมที่สลายตัวไปของอาหารทดลองที่ผสมด้วยเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองทั้ง 3 ระดับ ณ ชั่วโมงต่าง ๆ เมื่อนำไปบ่มในกระเพาะหมักของโคทดลอง แสดงในตารางที่ 4.18 พบว่าอาหารทดลองทั้ง 3 สูตร มีอัตราการย่อยสลายได้โปรตีนรวม ($dgCP$) มีค่าเท่ากับ 65.3, 68.9 และ 67.2% ตามลำดับ

เมื่อนำค่าโปรตีนรวมที่สลายตัวที่ชั่วโมงต่าง ๆ นี้ไปคำนวณโดยโปรแกรม NEWAY ตามสมการที่เสนอโดย Ørskov and McDonald (1979) พบว่าค่าพารามิเตอร์ที่แสดงในตารางที่ 4.17 ค่าการละลาย (A) ของโปรตีนรวมของสูตรอาหารทั้ง 3 สูตร มีค่าเท่ากับ 36.2, 44.8 และ 50.0 ตามลำดับ ส่วนที่ไม่สลายแต่สามารถเกิดกระบวนการหมักย่อยโดยจุลินทรีย์ (B) ของโปรตีนรวมของอาหารทั้ง 3 สูตร มีค่าเท่ากับ 40.0, 34.0 และ 29.0 ตามลำดับ ค่าศักยภาพในการสลายตัว (A+B) ของโปรตีนรวม มีค่าเท่ากับ 76.2, 78.8 และ 79.2 ตามลำดับ และอัตราการสลายตัว (c) ของวัตถุแห้ง มีค่าเท่ากับ 0.060, 0.069 และ 0.057 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.17 การย่อยสลายได้วัตถุแห้งและอัตราการย่อยสลายได้วัตถุแห้งของอาหารหยาบและอาหารผสม 3 สูตร

วัตถุดิบ	วัตถุแห้ง									dg^6
	0	2	4	6	12	24	48	72	96	
	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	
Degradability of	------(%)-----									
DM										
ข้าวโพดหมัก	19.9	-	-	27.5	36.5	42.1	51.2	66.4	71.6	38.4
หญ้าหมัก	15.4	-	-	27.9	37.8	42.6	56.3	60.3	67.5	38.5
0 % SH	37.7	48.5	50.1	52.0	58.2	64.7	74.2	-	-	60.0
10 % SH	34.8	47.2	50.2	52.7	59.9	64.8	78.0	-	-	61.1
20 % SH	33.8	47.0	49.8	50.5	58.5	66.4	77.0	-	-	60.6

หมายเหตุ : ⁶ Effective degradability of DM

ตารางที่ 4.18 การย่อยสลายได้โปรตีนและอัตราการย่อยสลายได้โปรตีนของอาหารหยาบและอาหารผสม 3 สูตร

วัตถุดิบ	วัตถุแห้ง									dg ⁷
	0	2	4	6	12	24	48	72	96	
	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	ชั่วโมง	
Degradability of CP	-----(%)-----									
ข้าวโพดหมัก	35.2	-	-	44.5	49.9	57.4	62.8	73.5	74.3	52.2
หญ้าหมัก	26.0	-	-	48.9	49.2	51.9	56.3	60.5	62.9	51.1
0%SH	36.2	51.1	60.7	61.9	63.1	69.0	75.6	-	-	65.3
10%SH	44.8	54.8	62.9	66.4	68.5	70.8	79.6	-	-	68.9
20%SH	50.0	53.3	60.2	64.2	65.1	71.2	78.3	-	-	67.2

หมายเหตุ : ⁷ Effective degradability of CP

ตารางที่ 4.19 เปอร์เซ็นต์การย่อยสลายวัตถุแห้งและการย่อยสลายโปรตีนของอาหารหยาบและอาหารผสม 3 สูตร

Disappearance (%)	วัตถุดิบ				
	ข้าวโพดหมัก	หญ้าหมัก	0%SH	10%SH	20%SH
DM Disappearance (%)					
A	19.9	15.4	37.7	34.8	33.8
B	70.4	56.4	44.4	54.8	51.7
c	0.013	0.023	0.031	0.027	0.033
A + B	90.4	71.9	82.1	89.6	85.5
Effective Disappearance (%)*	38.4	38.5	60.0	61.0	60.6
CP Disappearance (%)					
A	35.2	26.0	36.2	44.8	50.0
B	45.6	56.2	40.0	34.0	29.2
c	0.020	0.006	0.060	0.069	0.057
A + B	80.8	82.3	76.2	78.8	79.2
Effective Disappearance (%)*	52.2	51.1	65.3	68.9	67.2

หมายเหตุ : * Outflow rate (fraction/h) = 0.05

4.3 การทดลองที่ 3 การศึกษาการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งวัตถุดิบพลังงานทดแทนข้าวโพดในอาหารชั้นต่อนิเวศวิทยาในกระเพาะหมัก

4.3.1 ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของของเหลวในกระเพาะหมัก

การใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดที่ระดับ 0, 10 และ 20% ในสูตรอาหารชั้น มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของของเหลวในกระเพาะหมัก ที่เวลาต่าง ๆ หลังให้อาหาร 0, 2, 4 และ 6 ชั่วโมง ในกลุ่มการทดลองที่ 1 มีค่าเท่ากับ 6.99, 6.92, 6.76 และ 6.71 ตามลำดับ กลุ่มการทดลองที่ 2 มีค่าเท่ากับ 7.01, 6.94, 6.82 และ 6.77 ตามลำดับ และในกลุ่มการทดลองที่ 3 มีค่าเท่ากับ 6.94, 6.99, 6.79 และ 6.77 ที่เวลา 0, 2, 4 และ 6 ชั่วโมงหลังให้อาหาร ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดทั้ง 3 ระดับ พบว่าการเปลี่ยนแปลงในระดับค่าเฉลี่ยของ pH ภายในกระเพาะหมักที่เวลา 0, 2, 4 และ 6 ชั่วโมงหลังให้อาหาร พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.20

4.3.2 ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) ของของเหลวในกระเพาะหมัก

จากการศึกษาทดลองการเปลี่ยนแปลงระดับแอมโมเนียไนโตรเจนภายในกระเพาะหมักในโคเจาะกระเพาะที่ได้รับอาหารสูตรทดลองโดยใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดที่ระดับ 0, 10 และ 20% ในสูตรอาหารชั้น เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง พบว่าปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนภายในกระเพาะหมักที่เวลา 0, 2 และ 6 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่พบว่าที่เวลา 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อระดับการทดแทนด้วยเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าความแตกต่างดังกล่าวมีความสัมพันธ์แบบเส้นโค้งกำลังสอง (Quadratic contrast) ดังแสดงในตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 ผลการทดแทนข้าวโพดด้วยเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองต่อการเปลี่ยนแปลงระดับความเป็นกรด-ด่าง (pH) และแอมโมเนียไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) ภายในกระเพาะหมักที่เวลาต่าง ๆ หลังการให้อาหาร

ที่เวลาหลังการให้	ระดับเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง				P value	Contrast ^{/d}	
อาหาร (ชั่วโมง)	0%	10%	20%	SEM		L	Q
pH							
Hour 0	6.99	7.01	6.94	0.07	0.7792	0.7600	0.6550
Hour 2	6.92	6.94	6.99	0.05	0.6724	0.4523	0.3970
Hour 4	6.76	6.82	6.79	0.15	0.9622	0.8818	0.8456
Hour 6	6.71	6.77	6.77	0.10	0.9278	0.8293	0.9005
NH ₃ N -----(mg/dl)-----							
Hour 0	7.98	8.14	10.16	0.58	0.8149	0.1178	0.3119
Hour 2	13.47	12.56	13.96	0.87	0.6016	0.7243	0.3941
Hour 4	11.82 ^a	9.13 ^b	12.71 ^a	0.43	0.0511	0.2675	0.0276
Hour 6	8.93	8.16	9.24	0.18	0.0970	0.2934	0.0552

หมายเหตุ : ^d เปรียบเทียบความแตกต่างตามความสัมพันธ์แบบ Orthogonal contrast; L = linear;

Q = quadratic

SEM = standard error of the mean

4.3.3 ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acid; VFA_s) ของของเหลวในกระเพาะหมัก

ระดับความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ของของเหลวในกระเพาะหมัก ซึ่งจะแสดงถึงปริมาณของกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดบิวทีริกและอัตราส่วนอะซิติกต่อโพรพิโอนิก ที่เวลาต่าง ๆ เมื่อใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดในระดับ 0, 10 และ 20% แสดงไว้ในตารางที่ 4.21 พบว่าระดับความเข้มข้นของกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดบิวทีริกและอัตราส่วนอะซิติกต่อโพรพิโอนิก ที่เวลา 0, 2, 4 และ 6 ชั่วโมง หลังการให้อาหาร ของทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

แต่ระดับความเข้มข้นของกรดโพรพิโอนิกและอัตราส่วนของกรดอะซิติกต่อโพรพิโอนิก ที่ชั่วโมงที่ 6 หลังการให้อาหาร มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ดังแสดงใน ตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 แสดงผลการทดแทนข้าวโพดด้วยเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองต่อความเข้มข้นของกรด ไขมันระเหยได้ (volatile fatty acid; VFA_s) ของของเหลวในกระเพาะหมักที่เวลาต่าง ๆ หลังการให้อาหาร

ที่เวลาหลังการให้	ระดับเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง			SEM	P value	Contrast ^d	
อาหาร (ชั่วโมง)	0%	10%	20%			L	Q
Acetate; C ₂	----- (mol/100mol) -----						
Hour 0	76.17	76.62	77.45	0.67	0.1331	0.3112	0.8420
Hour 2	75.19	74.87	76.40	0.56	0.2114	0.2635	0.4376
Hour 4	76.16	73.75	75.39	0.74	0.1935	0.5408	0.6008
Hour 6	77.23	75.55	76.07	0.48	0.1706	0.2258	0.3957
Propionate; C ₃	----- (mol/100mol) -----						
Hour 0	15.14	16.01	15.61	0.59	0.6086	0.6300	0.4720
Hour 2	16.77	16.59	16.98	0.12	0.0548	0.7073	0.5602
Hour 4	15.13	16.61	16.26	0.61	0.4589	0.3229	0.3433
Hour 6	13.76	15.30	15.09	0.19	0.0928	0.0377	0.0633
Butyrate; C ₄	----- (mol/100mol) -----						
Hour 0	8.94	8.51	7.36	0.61	0.1749	0.2104	0.0872
Hour 2	9.43	9.19	8.07	0.55	0.2420	0.2254	0.3882
Hour 4	9.17	9.52	8.55	0.12	0.6595	0.7313	0.6817
Hour 6	8.70	8.34	9.09	0.29	0.0507	0.4376	0.2568
C ₂ :C ₃							
Hour 0	5.04	4.99	5.27	0.39	0.7024	0.7063	0.5406
Hour 2	4.54	4.95	4.53	0.14	0.117	0.9863	0.6785
Hour 4	5.07	4.48	4.64	0.24	0.4908	0.3394	0.4042
Hour 6	5.63	5.00	5.04	0.06	0.0609	0.0222	0.0412

หมายเหตุ : ^d เปรียบเทียบความแตกต่างตามความสัมพันธ์แบบ Orthogonal contrast; L = linear;

Q = quadratic; SEM = standard error of the mean

^{ab} แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีการประเมินคุณค่าทางพลังงานและการศึกษาการย่อยสลายในกระเพาะหมักของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง

5.1.1 องค์ประกอบทางเคมีในเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองและวัตถุดิบอาหารสัตว์

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารสัตว์แต่ละชนิด พบว่าเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองมีองค์ประกอบทางเคมี คือ เปอร์เซ็นต์ไขมันต่ำกว่ารายงานของ DePeters et al. (1997); Arosemena et al. (1995); Zervas et al. (1998) และ DeFrain et al. (2002) (1.26, 3.79, 5.75, 3.90 และ 2.90% ตามลำดับ) เปอร์เซ็นต์โปรตีนมีค่าใกล้เคียงกับ DePeters et al. (1997) แต่ต่ำกว่าที่ Arosemena et al. (1995); Zervas et al. (1998) และ DeFrain et al. (2002) (10.25, 10.62, 14.60, 12.20 และ 13.50% ตามลำดับ) ในส่วนของเปอร์เซ็นต์เยื่อใยเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองมีส่วนของเยื่อใยต่ำกว่า NRC (1984) (34.14 และ 40.1% ตามลำดับ) และ NDF ที่วิเคราะห์ได้มีค่าใกล้เคียงกับ Zervas et al. (1998) (64.86 และ 66.10% ตามลำดับ) แต่สูงกว่า Arosemena et al. (1995) ส่วน ADF พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับที่รายงานโดย Arosemena et al. (1995); DePeters et al. (1997); Zervas et al. (1998) และ DeFrain et al. (2002) (46.41, 43.39, 49.11, 47.30 และ 43.30% ตามลำดับ) ทั้งนี้องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองที่วิเคราะห์ได้นั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น พันธุ์ อายุ และฤดูกาลในการเก็บเกี่ยว ฤดูกาลในการเพาะปลูกเพราะว่าเมื่อพืชอาหารสัตว์มีอายุมากขึ้นเท่าใด การสะสมของปริมาณเยื่อใยจะมากขึ้นนั้น ในขณะที่เดียวกันเปอร์เซ็นต์โปรตีน และการย่อยได้จะลดต่ำลงด้วย (เมธา, 2533)

ข้าวโพดคั่วมีโปรตีนใกล้เคียงกับรายงานของ Preston (2002) และ อุทัย (2537) (9.21, 9.00 และ 8.00% ตามลำดับ) ส่วนเปอร์เซ็นต์ไขมันพบว่าต่ำกว่าที่ Preston (2002) และ อุทัย (2537) รายงาน (2.65, 4.30 และ 4.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) เปอร์เซ็นต์เยื่อใยหยาบใกล้เคียงกับรายงานของ Preston (2002) และ อุทัย (2537) รายงาน (2.69, 2.00 และ 2.50% ตามลำดับ) ส่วนเปอร์เซ็นต์เถ้าพบว่าต่ำกว่า Preston (2002) (1.61 และ 2.00% ตามลำดับ) และเปอร์เซ็นต์ NDF สูงกว่าที่ Preston (2002) รายงานไว้ (11.48 และ 9.00%) และ ADF ใกล้เคียงกับ Preston (2002) รายงานไว้ (2.76 และ 3.00%) ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกากถั่วเหลือง พบว่ามีเปอร์เซ็นต์โปรตีนสูง (48.95 %) และมีค่าใกล้เคียงกับ NRC (1988) และ McDonald et al. (1995) พบว่ามีเปอร์เซ็นต์โปรตีน (49.9 และ 50.3%) ส่วนเปอร์เซ็นต์ไขมันสูงกว่า NRC (1988) และ McDonald et al. (1995) (2.03, 1.5 และ 1.7% ตามลำดับ) และเปอร์เซ็นต์เยื่อใยหยาบมีค่าใกล้เคียงกับ Preston (2002) รายงานไว้ (6.42 และ 6.00% ตามลำดับ) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการสกัดน้ำมันและพันธุ์ของถั่วเหลือง

มันสำปะหลังหรือมันเส้น มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนสูงกว่าที่รายงานโดย สุขสันต์ (2540) และ McDonald et al. (1995) (3.38, 2.52 และ 3.00% ตามลำดับ) แต่เปอร์เซ็นต์ไขมันใกล้เคียงกับรายงาน (0.46, 0.47 และ 0.90 % ตามลำดับ) ส่วนเปอร์เซ็นต์เถ้าในมันสำปะหลัง พบว่าใกล้เคียงกับ McDonald et al. (1995) (2.35 และ 3.00% ตามลำดับ) แต่ สุขสันต์ (2540) พบว่าเปอร์เซ็นต์เถ้าสูงถึง 5.03 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ปริมาณเถ้าจะขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการผลิตมันเส้น ซึ่งอาจมีการปลอมปนของดินที่ติดมากับหัวมันสำปะหลังสด ส่วนเปอร์เซ็นต์เยื่อใยหยาบใกล้เคียงกับ สุขสันต์ (2540) และ McDonald et al. (1995) (3.62, 3.50 และ 4.30% ตามลำดับ) และ NDF สูงกว่ารายงานของ McDonald et al. (1995) (20.86 และ 11.4% ตามลำดับ) เช่นเดียวกับ ADF ที่พบว่ามีค่าสูงกว่า (11.50 และ 6.3% ตามลำดับ) จากผลดังกล่าวจะเห็นได้ว่ามันสำปะหลังมีคุณค่าทางโภชนาการประเภทโปรตีนต่ำ มันสำปะหลังยังเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ง่ายสูง มีความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุแห้งสูง (77.50%) หรือพลังงาน 3.24 Mcal/kg (โอภาส และ คณะ, 2539)

กากมันสำปะหลังมีเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งเท่ากับ 89.40% มีค่าใกล้เคียงกับ Lim (1967) และ Khang et al. (2000) ได้รายงานไว้ที่ 88.8 และ 91.2% ตามลำดับ แต่เปอร์เซ็นต์ไขมันต่ำกว่าที่ Lim (1967) และ Khang et al. (2000) รายงาน (0.16, 0.55 และ 2.24% ตามลำดับ) เปอร์เซ็นต์โปรตีนพบว่าสูงกว่าที่ Preston (2002) และ Khang et al. (2000) รายงาน (4.25, 2.0 และ 1.08% ตามลำดับ) อย่างไรก็ตามเปอร์เซ็นต์ ไขมัน และ โปรตีน ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการสกัดแป้งของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังและอายุของมันสำปะหลัง ส่วนเปอร์เซ็นต์เยื่อใยพบว่าสูงกว่าที่ Preston (2002) รายงาน (13.32 และ 5.00% ตามลำดับ) NDF ที่วิเคราะห์ได้สูงกว่า Preston (2002) (37.31 และ 34.00% ตามลำดับ) ส่วนเปอร์เซ็นต์เถ้าสูงกว่าที่ Preston (2002) รายงาน (8.06 และ 3.0% ตามลำดับ) ซึ่งอาจมีการปนเปื้อนของดินในขณะตากกากมันสำปะหลัง ส่วน ADF พบว่าสูงกว่าที่ Preston (2002) และ Khang et al. (2000) (19.58, 8.0 และ 3.42% ตามลำดับ) ซึ่งจะเห็นว่ากากมันสำปะหลัง มีองค์ประกอบที่มีคุณค่าทางโภชนาการที่ค่อนข้างต่ำโดยเฉพาะโปรตีนซึ่งคุณค่าทางโภชนาการในกากมัน

สำปะหลังนั้นขึ้นอยู่กับอายุของมันสำปะหลังที่ส่งเข้าโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง พันธุ์มันสำปะหลัง การใส่ปุ๋ยทั้งปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยวิทยาศาสตร์ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน พื้นที่ในการเพาะองค์ประกอบทางโภชนาของกากมันสำปะหลังอีกด้วย (เจริญศักดิ์, 2519)

กากปาล์มเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันปาล์ม จากการศึกษาพบว่ากากปาล์ม มีเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งเท่ากับ 94.84% มีโปรตีน ไขมัน เยื่อใย NDF และ ADF เท่ากับ 14.71, 8.50, 23.40, 77.16 และ 34.64% ตามลำดับ ค่าโปรตีนที่วิเคราะห์ได้ต่ำกว่าและมีไขมันและเยื่อใยสูงกว่าที่ จินดา และคณะ (nd) รายงานว่ากากปาล์มมีโปรตีน ไขมัน เยื่อใย NDF และ ADF เท่ากับ 16.15, 0.72, 16.03, 75.84 และ 47% ตามลำดับ ซึ่งอาจเนื่องมาจากความแตกต่างกันในกรรมวิธีการผลิตและขบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม รวมทั้งฤดูกาลในการเก็บเกี่ยวผลผลิตปาล์ม

5.1.2 การประเมินค่าพลังงานในเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองและวัตถุดิบอาหารสัตว์

เมื่อนำผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีไปคำนวณหาพลังงานประเภทต่าง ๆ ตามสมการของ NRC (2001) พบว่าเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองมีพลังงานในรูปของโภชนาที่ย่อยได้ทั้งหมด (Total digestible nutrient, TDN_{ix}) เท่ากับ 62.33% ซึ่งต่ำกว่าที่ NRC (1984) รายงานไว้ที่ 77% ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอายุในการเก็บเกี่ยวและขึ้นอยู่กับพันธุ์ของเมล็ดถั่วเหลือง แต่จากการใช้ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีประเมินค่าพลังงานของวัตถุดิบอาหารสัตว์ประเภทต่าง ๆ พบว่าเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองมีโภชนาที่ย่อยได้ทั้งหมดต่ำกว่าข้าวโพด กากถั่วเหลือง และ มันสำปะหลัง แต่มีโภชนาที่ย่อยได้ใกล้เคียงกับกากมันสำปะหลังและ กากปาล์ม ทั้งนี้เนื่องจากเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองมีส่วนของคาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้าง (structure carbohydrate) อยู่สูง จึงทำให้มีค่าโภชนาที่ย่อยได้ต่ำกว่าข้าวโพดซึ่งมีส่วนของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้าง (non structure carbohydrate) อยู่สูง จึงทำให้มีค่าโภชนาที่ย่อยได้สูง

5.1.3 การย่อยสลายของวัตถุแห้งของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองและวัตถุดิบอาหารสัตว์วัตถุแห้ง

มันสำปะหลังมีค่า $dgDM$ สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มวัตถุดิบที่ศึกษาเพราะมันสำปะหลังมีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ง่ายสูง ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ดี แต่มีปริมาณโปรตีนต่ำ ในกรณีที่ใช้เลี้ยงสัตว์เดี่ยวเองสามารถแก้ปัญหาได้โดยการปรับปรุงใช้ร่วมกับสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (NPN) ในเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองมีค่า $dgDM$ ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับกากมันสำปะหลัง ข้าวโพด และกากถั่วเหลือง แต่มีค่าใกล้เคียงกับกากปาล์ม ทั้งนี้

เนื่องจากเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง และกากปาล์มประกอบด้วยเชื้อใยในปริมาณสูง ซึ่งเป็นผลให้การย่อยสลายวัตถุแห้งที่เวลาต่าง ๆ ต่ำกว่าวัตถุดิบอื่น ๆ ส่วนการย่อยสลายวัตถุแห้งของกากถั่วเหลืองเมื่อเปรียบเทียบกับ การทดลองของ ปีตุนาถ (2547) พบว่ามีค่า $dgDM$ สูงกว่า (68.10 และ 62.30% ตามลำดับ)

5.1.4 การย่อยสลายของโปรตีนของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองและวัตถุดิบอาหารสัตว์

จากการศึกษาการย่อยสลายของโปรตีนของวัตถุดิบอาหารสัตว์แต่ละชนิด พบว่ากากถั่วเหลือง มีค่า $dgCP$ สูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มวัตถุดิบที่ศึกษา แต่พบว่า $dgCP$ ปีตุนาถ (2547) รายงานไว้ (59.3 และ 64.0% ตามลำดับ) เช่นเดียวกับข้าวโพด พบว่ามีค่า $dgCP$ ต่ำกว่าที่ ปีตุนาถ (2547) รายงานไว้ (55.9 และ 60.0% ตามลำดับ) มันสำปะหลัง และกากมันสำปะหลังเนื่องจาก มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนค่อนข้างต่ำจึงไม่สามารถหาค่า $dgCP$ ในกระเพาะหมักได้

5.2 การทดลองที่ 2. การศึกษาการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งวัตถุดิบพลังงานทดแทนข้าวโพดในอาหารขึ้นต่อการให้ผลผลิตของน้ำนม และคุณภาพของน้ำนม

5.2.1 องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารและการประเมินพลังงานโดยการคำนวณจากสมการ NRC (2001) ที่โคนมได้รับจากสูตรอาหาร

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ผลการเพิ่มระดับการทดแทนข้าวโพดด้วยเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองจาก 0, 10 และ 20% ในสูตรอาหาร ไม่ทำให้ปริมาณของวัตถุแห้ง ไขมัน และเถ้า ของแต่ละกลุ่มการทดลองเปลี่ยนแปลง กล่าวคือ โปรตีนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 19.7, 22.38 และ 20.50% ตามลำดับ ไขมันมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.69, 2.67 และ 2.43% ตามลำดับ ต่ำกว่าระดับที่ NRC (2001) แนะนำเล็กน้อย คือแนะนำที่ระดับ 3 % แต่ไม่สูงเกิน 5 % ซึ่งเป็นระดับที่ไม่ส่งผลกระทบต่อ การย่อยเซลลูโลสในกระเพาะหมัก Church (1979) อ้างโดย เมธา (2533) แต่มีผลทำให้ NFC ลดลง และปริมาณเชื้อใยหยาบ NDF ADF และ ADL มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองที่ใช้ทดแทนข้าวโพดในสูตรอาหารทดลอง (ตารางที่ 4.6) สอดคล้องกับรายงานของ กับรายงานของ Mansfield and Stern (1994); Elliott et al. (1995) และ Ipharraguerre et al. (2002a) ทั้งนี้เนื่องจากเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองมีส่วนของเชื้อใยอยู่ในระดับที่สูงกว่าข้าวโพด

สำหรับอาหารหยาบคือข้าวโพดหมัก พบว่าวัตถุดิบนี้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.89% ใกล้เคียงกับรายงานของ ชิดชนก (2548) รายงานว่ามีเท่ากับ 29.89 เปอร์เซ็นต์ แต่ต่ำกว่า เพลิน (2545) ซึ่งรายงานวัตถุดิบของข้าวโพดหมักเท่ากับ 35.84% โปรตีนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.76% มีค่าต่ำกว่า ชิดชนก (2548) ซึ่งรายงานที่ระดับ 9.91 % แต่สูงกว่า ชูติมา (2544) และเพลิน (2545) ซึ่งรายงานที่ระดับ 6.97 และ 7.55% ตามลำดับ ไขมันเฉลี่ยเท่ากับ 1.30% อยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับ ชิดชนก (2548) ซึ่งรายงานที่ระดับ 1.39% แต่พบว่าต่ำกว่า ชูติมา (2544) ซึ่งรายงานที่ระดับ 3.42% เถ้ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14.12% พบว่าสูงกว่า ชิดชนก (2548) ซึ่งรายงานที่ระดับ 12.81% แต่พบว่าต่ำกว่ารายงานของชูติมา (2544) และเพลิน (2545) ซึ่งรายงานที่ระดับ 15.73 และ 15.14 % ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์เถ้าในข้าวโพดหมักมีค่าค่อนข้างสูง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมีการปนเปื้อนของเศษดินและทราย ในระหว่างการทำข้าวโพดหมัก เยื่อใยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 65.27% พบว่ามีค่าสูงกว่า ชิดชนก (2548) และเพลิน (2545) ที่รายงานที่ระดับ 24.51 และ 22.81% ตามลำดับ NFC มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.05 % พบว่ามีค่าต่ำกว่า ชิดชนก (2548) รายงานที่ระดับ 23.92% ซึ่ง NRC (2001) และ Mertens (1987) แนะนำที่ระดับ 36-44% และ 30% ทั้งนี้โคที่ได้รับ NFC ในระดับต่ำอาจส่งผลกระทบต่อพลังงานสำหรับจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักได้ NDF มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 66.09% พบว่ามีค่าสูงกว่า ชิดชนก (2548) และชูติมา (2544) รายงานที่ระดับ 51.97 และ 62.28% ตามลำดับ ADF มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 40.09% พบว่ามีค่าสูงกว่า ชิดชนก (2548) รายงานที่ระดับ 37.01% ADL ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.74% พบว่ามีค่าต่ำกว่า ชิดชนก (2548) และเพลิน (2545) ซึ่งรายงานที่ระดับ 4.59 และ 5.30% ตามลำดับ ทั้งนี้เปอร์เซ็นต์เยื่อใย และ NFC ในข้าวโพดหมักที่ได้มีค่าแตกต่างกันออกไปอาจเนื่องมาจากระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวข้าวโพด เพื่อนำมาทำข้าวโพดหมักอาจจะแตกต่างกันออกไป

หญ้าหมักพบว่าวัตถุดิบนี้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26.49% โปรตีนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.51% มีค่าสูงกว่า ปิณฑาถ (2547) ซึ่งรายงานที่ระดับ 6.40% ไขมันเฉลี่ยเท่ากับ 1.07% พบว่าต่ำกว่า ปิณฑาถ (2547) ซึ่งรายงานที่ระดับ 2.40% เถ้ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.57% พบว่าต่ำกว่า ปิณฑาถ (2547) ซึ่งรายงานที่ระดับ 11.50% เยื่อใยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 41.60% พบว่ามีค่าสูงกว่า ปิณฑาถ (2547) ที่รายงานที่ระดับ 39.90% NDF มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 73.37% พบว่ามีค่าสูงกว่า ปิณฑาถ (2547) รายงานที่ระดับ 55.40% ADF มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 43.59% พบว่ามีค่าสูงกว่า ปิณฑาถ (2547) ซึ่งรายงานที่ระดับ 35.0% ADL ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.17% พบว่ามีค่าต่ำกว่า ปิณฑาถ (2547) ซึ่งรายงานที่ระดับ 5.2% ตามลำดับ

การประเมินพลังงานโดยการคำนวณจากสมการจากสมการ NRC (2001) ที่โคนมได้รับจากอาหารชั้นสูตรทดลองที่ 1 อาหารชั้นสูตรทดลองที่ 2 อาหารชั้นสูตรทดลองที่ 3 และองค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารที่ใช้ในการเลี้ยงโคนมทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 4.7 และ 4.6 กล่าวคือพลังงาน TDN (%TDN) พลังงานย่อยได้ (DE_p) พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (ME_p) และพลังงานสุทธิ (NE_L) ที่ได้จากอาหารชั้นทดลองในแต่ละสูตรจะให้พลังงานแต่ละประเภทใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ในการคำนวณสูตรอาหารจะคำนึงถึงค่าของโภชนาโปรตีนและพลังงานเป็นหลัก

5.2.2 ปริมาณการกินได้ของโคนม

ปริมาณการกินได้ของโคนมเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการให้ผลผลิตของโคนมซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการได้รับโภชนาในอาหาร จากการทดลองวัดการกินได้ แสดงไว้ในตารางที่ 4.8 พบว่าปริมาณการกินได้วัดได้ ปริมาณการกินได้โปรตีน และปริมาณการกินได้พลังงานสุทธิ โดยเปรียบเทียบอาหารทดลองทั้ง 3 สูตร พบว่าปริมาณการกินได้วัดได้ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อระดับการทดแทนด้วยเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น แต่ทั้งนี้อาจเมื่อระดับของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองในสูตรอาหารเพิ่มขึ้น ทำให้มีส่วนของ NDF ในสูตรอาหารเพิ่มสูงขึ้นตาม วิโรจน์ (2546) กล่าวว่า NDF จะมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับอัตราการกินได้ของโค ถ้าค่า NDF สูงจะมีสัดส่วนกับคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้มากขึ้นและอาหารจะมีความฟามมากขึ้นหรืออาหารจะใช้พื้นที่ความจุในกระเพาะหมักมากและอาหารมีระยะเวลาหมักในกระเพาะนานขึ้นส่งผลทำให้การกินได้ลดลง ทั้งนี้ปริมาณการกินได้รวมจะส่งผลถึงการให้ผลผลิตน้ำนม และการดำรงชีพอื่น ๆ ดังนั้นปริมาณการกินได้จึงมีความสำคัญต่อการนำมาพิจารณาประกอบการให้ผลผลิต เพราะหากโคได้รับปริมาณโภชนาที่ไม่เพียงพอจะส่งผลทำให้โคนมไปสลายเอาไขมันมาใช้ประโยชน์เป็นพลังงานทำให้โคผอมลงได้ และจากการศึกษาปริมาณการกินได้โปรตีน พบว่าในกลุ่มการทดลองที่ 2 มีปริมาณการกินได้โปรตีนรวมสูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 1 และ 3 ทั้งนี้เนื่องจากสูตรอาหารทดลองที่ 2 มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนสูงกว่าในอาหารสูตรทดลองที่ 1 และ 3 ส่วนปริมาณการกินได้พลังงานสุทธิ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อพิจารณาในหน่วยกิโลกรัมต่อวัน และกรัมต่อกิโลกรัมเมธาบอลิก ทั้งนี้เนื่องมาจากโคนมทั้ง 3 กลุ่มได้รับอาหารชั้นในปริมาณเท่ากัน ซึ่งในอาหารชั้นมีพลังงาน TDN ใกล้เคียงกันทั้ง 3 สูตรและในอาหารชั้นมีพลังงาน TDN สูงกว่าอาหารหยาบมาก ดังนั้นปริมาณการกินได้ของอาหารหยาบ

จึงเป็นตัวแปรที่จะทำให้ได้รับพลังงานต่างกันเนื่องจากการได้รับอาหารหยาบในการทดลองเป็นแบบ ad libitum

5.2.3 ปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม

จากการทดลองการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพด พบว่าเมื่อระดับการทดแทนเพิ่มจาก 0, 10 และ 20% มีผลทำให้ปริมาณน้ำนม ปริมาณน้ำนมปรับไขมัน 4% (4% FCM) ปริมาณไขมันในน้ำนม และปริมาณของแข็งรวมในน้ำนม พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) สอดคล้องกับรายงานของ Elliott et al. (1995); Pantoja et al. (1994); Mansfield and Stern (1994) และ Ipharraguerre et al. (2002a) ที่รายงานว่า การใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงาน ปริมาณน้ำนม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบโคที่ได้รับข้าวโพดเป็นแหล่งพลังงาน ทั้งนี้เป็นผลมาจากการกินได้ของวัตถุดิบ และการกินได้พลังงาน ไม่มีความแตกต่างกัน Gaynor et al. (1995) พบว่าโคที่ได้รับพลังงานสูง จะมีปริมาณผลผลิตน้ำนมเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากโคที่ได้รับอาหารที่มีพลังงานมากขึ้น จะเกิดการย่อยสลายพลังงานในกระเพาะหมักมากขึ้น ทำให้สามารถผลิตกรดไขมันได้มากขึ้น และส่งผลให้การผลิตน้ำนมได้เพิ่มขึ้น โดยทั่วไปแล้วการลดสัดส่วนของอาหารหยาบลงหรือการเพิ่มสัดส่วนของอาหารขึ้นชั้นโคจะให้ผลผลิตนม ไขมัน และโปรตีนเพิ่มขึ้น แต่เมื่ออาหารขึ้นเพิ่มเกินกว่า 60% การผลิตไขมันในน้ำนมจะลดลง (Aldrich et al., 1993; Grant, 2000; Kennelly, 2000) ทั้งนี้เนื่องมาจากสารอาหารหลักที่ใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ไขมันในน้ำนม คือ กรดอะซิติก (acetic acid, C_2) ซึ่งเป็นกรดไขมันระเหยง่าย (volatile fatty acid, VFAs) ที่ได้จากการหมักย่อยอาหารหยาบโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน NRC (1988) แนะนำว่า เพื่อไม่ให้มีผลกระทบต่อปริมาณไขมันในน้ำนม ควรมีอาหารหยาบอย่างน้อย 40% ในสูตรอาหารทั้งหมด หรือควรมีเยื่อใย หรือ ADF ไม่น้อยกว่า 17 และ 21% ตามลำดับ ทั้งนี้เพื่อให้ขบวนการหมักของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักดำเนินไปได้ตามปกติ และรักษาสภาพความเป็นกรดในกระเพาะรูเมนไม่ให้ดำเนินไป นอกจากนั้นเยื่อใยในอาหารควรมีคุณสมบัติที่มีความเหมาะสมต่อประสิทธิภาพในขบวนการหมักย่อย (effective fiber) ของจุลินทรีย์โดยควรมีลักษณะเป็นเส้นใยที่ยาว (long form fiber) ซึ่งจะช่วยขบวนการเคี้ยวเอื้อง และการหลั่งน้ำลายเพื่อปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะให้เหมาะสม (กังวาน, 2546)

5.2.4 องค์ประกอบของกรดไขมัน (Fatty acid) ในน้ำนม

ปริมาณขององค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำนม จากรายงานของ วิโรจน์ (2546) การสังเคราะห์ไขมันในสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้องจะผลิตกรดไขมัน โดยใช้กลูโคสเป็นสารตั้งต้นในกระบวนการไกลโคไลซิส (glycolysis) ได้เป็นสารตัวกลางอะซิติลโคเอ (acetyl CoA) และออกซิโลอาซิเตท (Oxaloacetate) แต่ในสัตว์เคี้ยวเอื้องจะไม่สามารถใช้อะซิติลโคเอ ที่มาจากกลูโคสในไมโทคอนเดรีย (mitochondria) ได้ ดังนั้นสารตั้งต้นจึงมาจาก 2 แหล่งคือ จากอาหารที่โคกินเข้าไป แล้วย่อยสลายสารอาหารดังกล่าวให้กลายเป็นกรดไขมันระเหยได้ ที่สำคัญสองตัว คือ อะซิเตท และเบต้า-ไฮดรอกซีบิวทีเรท โดยเบต้า-ไฮดรอกซีบิวทีเรทจะนำมาสังเคราะห์กรดไขมันสายสั้น ($C_4 - C_{14}$) แหล่งที่สองเป็นไขมันโดยตรงที่มาจากอาหารหรือมาจากจุลินทรีย์สร้างขึ้น ซึ่งจะได้รับการดูดซึมที่ลำไส้ในรูปไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride)

5.2.5 น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง

จากการทดลองการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพด พบว่าเมื่อระดับการทดแทนเพิ่มจาก 0, 10 และ 20% ในสูตรอาหารข้น มีผลทำให้น้ำหนักตัวไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) แต่จะเห็นได้ว่ากลุ่มการทดลองที่ 1 และ 3 มีการสูญเสียน้ำหนักตัว (-63 และ 156 กรัม/วัน) ซึ่งสาเหตุอาจจะเกิดจากโภชนาที่โคได้รับนั้นไม่เพียงพอแก่ความต้องการทำให้ตัวโคต้องใช้พลังงานจากการสลายไขมันที่สะสมในตัวออกมาใช้เป็นผลทำให้น้ำหนักโคลดลง ทั้งนี้ กังวาน (2546) กล่าวว่า โดยธรรมชาติแล้วโคจะสูญเสียน้ำหนักตัวมากในช่วงหลังคลอดใหม่ (0-3 เดือน) หรืออยู่ในช่วงแรกของการให้นม (early lactation) ทั้งนี้เนื่องจากเป็นระยะที่โคผลิตนมได้สูงสุด ประกอบกับการกินอาหารได้น้อยจึงมักจะขาดพลังงานหรือที่เรียกว่าสภาวะการขาดความสมดุลของพลังงาน (negative energy balance) ดังนั้นโคจะดึงพลังงานสำรองที่สะสมในร่างกาย (adipose tissue) มาใช้ส่งผลให้น้ำหนักตัวลดลง อย่างไรก็ตาม การวัดลักษณะการเจริญเติบโตในโครีดนมโดยการชั่งน้ำหนักโคที่ไม่ได้อัดอาหาร อาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้ง่าย เนื่องจากความผันแปรของน้ำหนักอาหารที่อยู่ในระบบทางเดินอาหารซึ่งมีสูงถึง 10-20% ของน้ำหนักตัว (กังวาน, 2546)

5.2.6 การได้รับโปรตีนจากอาหารโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{sup}) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP_{sup})

ผลของโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{sup}) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP_{sup}) ของโคนมที่ได้รับจากอาหารข้นสูตรทดลองทั้ง 3 สูตร พบว่า RDP_{sup} และ RUP_{sup} ที่ศึกษาไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง ทั้งนี้

ผลเนื่องมาจากการกินได้ของโคนมทั้ง 3 กลุ่มการทดลองไม่แตกต่างกัน จึงส่งผลให้ได้รับ RDP_{sup} และ RUP_{sup} ทั้ง 3 กลุ่มการทดลองไม่แตกต่างกัน

ความต้องการโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{reg}) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP_{reg}) ที่คำนวณตามสมการ NRC (2001) แสดงไว้ในตารางที่ 4.13 พบว่าโคนมกลุ่มการทดลองที่ 1 และ 3 ได้รับโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{sup}) ไม่เพียงพอต่อความต้องการ ซึ่งอาจแก้ไขปัญหาก็ได้โดยการเสริมแหล่งโปรตีนในอาหาร เช่น ยูเรีย เพื่อเป็นแหล่งของแอมโมเนียในโตรเจนสำหรับจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก เพราะทั้งนี้โปรตีนที่สามารถย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP) มีผลต่อปริมาณการกินได้ ซึ่งพบว่าโคที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนที่สามารถย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักสูงกว่าจะส่งผลให้ปริมาณการกินได้สูงกว่าโคที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนที่สามารถย่อยสลายได้น้อยในกระเพาะหมัก Claypool et al. (1980) พบว่าสาเหตุที่โปรตีนไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้เป็นเพราะว่าโคที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนสูงกว่าจะทำให้จุลินทรีย์ที่อยู่ในกระเพาะหมักได้รับไนโตรเจนเพียงพอต่อการเจริญเติบโต ซึ่งจะส่งผลให้การย่อยได้สูงขึ้น การไหลผ่านของอาหารจากกระเพาะหมักก็เพิ่มสูงขึ้นทำให้โคสามารถกินอาหารได้มากขึ้น แต่ทั้งนี้การใช้ยูเรียต้องใช้ในระดับที่พอเพียงสำหรับจุลินทรีย์เท่านั้น ไม่ควรใช้ในระดับที่เกินความต้องการของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก เนื่องจากโคจะได้รับอันตรายจากความเป็นพิษของแอมโมเนีย (วิโรจน์, 2546) และระดับที่ปลอดภัยคือควรใช้ยูเรียไม่เกิน 3% ของอาหารข้นหรือ 1% ของอาหารทั้งหมดในโครีดนม (ฉลอง, 2541) นอกจากนี้ยังพบว่าในกลุ่มการทดลองที่ 2 ได้รับโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก RUP_{sup} ไม่เพียงพอต่อความต้องการ ซึ่งอาจแก้ไขปัญหาก็ได้โดยการใช้ by pass protein เพื่อให้สัตว์ได้รับโปรตีนตามที่ต้องการ ทั้งนี้ส่วนของโปรตีนที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักจะมีผลต่อสมดุลกรดอะมิโนในสัตว์ ซึ่งมีผลต่อการควบคุมกลไกการควบคุมการกินได้ (Egan and Moir, 1965) ถ้ากรดอะมิโนไม่สมดุลจะไปมีผลต่อวิถีเมตาโบไลต์ในสัตว์ลดการใช้ประโยชน์ของสารตั้งต้น เนื่องจากการขาดกรดอะมิโนที่จำเป็นจะมีผลทำให้การทำงานของเอนไซม์ในวิถีเมตาโบไลต์ ซึ่งมีผลต่อการเคลื่อนย้ายสารอาหารในวัฏจักร ดังนั้นอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการกระตุ้นเคโมรีเซพเตอร์ไปมีผลต่อสมองที่ควบคุมการกินได้ของสัตว์ (Forbes, 1986)

5.3. การทดลองที่ 3. การศึกษาการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งวัตถุดิบพลังงานทดแทนข้าวโพดในอาหารข้นต่อระบบนิเวศวิทยาในกระเพาะหมัก

5.3.1 ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของของเหลวในกระเพาะหมัก

ปัจจัยหนึ่งที่สำคัญซึ่งมีผลต่อระบบนิเวศวิทยาในกระเพาะหมัก คือ ค่า pH (Power of H^+ gradient; pH) โดยค่า pH จะมีผลกระทบต่อทั้งสปีชีส์ และจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ เนื่องจากมีความสัมพันธ์ต่อการทำงานของเอนไซม์ภายในเซลล์ของแบคทีเรีย (Moat and Foster, 1995) และมีผลต่อการดูดซึมโภชนาต่าง ๆ ผ่านผนังกระเพาะหมักด้วย (Church, 1979) สภาพภายในกระเพาะหมักที่มีความเหมาะสมกับการเจริญเติบโตมากของจุลินทรีย์มาก คือ มี pH อยู่ระหว่าง 5.5–7.0 อุณหภูมิเฉลี่ย 39-40°C (ฉลอง, 2544) จากการทดลองใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพด ที่ระดับ 0, 10 และ 20% ในสูตรอาหารขึ้น พบว่าค่าเฉลี่ยของ pH ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับ Pantoja et al. (1994) ได้ศึกษาเปรียบเทียบการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพด พบว่าค่าเฉลี่ยของ pH มีค่าเท่ากับ 6.05 และ 5.96 ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) สอดคล้องกับ Mansfield and Stern (1994) และเช่นเดียวกับ Elliott et al. (1995) พบว่าการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพด มีค่า pH ไม่แตกต่างกัน และจากการทดลองเมื่อพิจารณาค่า pH ตามเวลาหลังการให้อาหารที่ 0, 2, 4 และ 6 ชั่วโมง พบว่าค่า pH มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากมีการผลิตกรดไขมันระเหยได้ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และเนื่องจากกรดไขมันระเหยได้เป็นกรดไขมันที่ละลายในน้ำได้ (lipid soluble compounds) มีคุณสมบัติในการจับปล่อยโปรตอน (H^+) ได้ (Forbes and France, 1993) ดังนั้นเมื่อกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมดมีค่าเพิ่มสูงขึ้นระดับ pH จึงค่อย ๆ ลดลงด้วย ซึ่ง Russell (1991) และ Russell and Dombrowski (1980) ได้สรุปว่า pH เป็นปัจจัยแรกในการเปลี่ยนแปลงสปีชีส์ และจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก กล่าวคือ ถ้า pH ต่ำจะทำให้มี amylolytic และ acid tolerant bacteria เพิ่มขึ้นแต่ถ้า pH สูงกว่า 6 จะทำให้จำนวน Cellulolytic bacteria เพิ่มขึ้น โดยให้เหตุผลว่า pH มีความสัมพันธ์กับ proton motive force ในปฏิกิริยา Uncoupler action ที่เซลล์เมมเบรนของแบคทีเรีย (Moat and Foster, 1995) ซึ่งมีผลต่อการแลกเปลี่ยนประจุ cation และ anion compounds ภายนอกและภายในเซลล์แบคทีเรีย ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของเอนไซม์และการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน แต่อย่างไรก็ตามจากการทดลองค่าเฉลี่ยของค่า pH ของของเหลวในกระเพาะหมักก็อยู่ในระดับที่ปกติและเหมาะสมต่อการทำกิจกรรมของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก

5.3.2 ความเข้มข้นของแอมโมเนียในโตรเจนของของเหลวในกระเพาะหมัก

ความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจน ที่สามารถวิเคราะห์ในกระเพาะหมักนั้นมีความผันแปรมาก ซึ่งอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เมธา (2533) รายงานความเข้มข้นไว้ดังนี้ กรดอะมิโนอิสระ 0.1 – 1.5 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ (mg%) แอมโมเนียไนโตรเจน อยู่ระหว่าง 0-13 mg% และมีโปรตีนไนโตรเจน (protein-N) อยู่ระหว่าง 100-400 mg% จากการทดลองใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพด ที่ระดับ 0, 10 และ 20% ในสูตรอาหารขึ้น พบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนของของเหลวในกระเพาะหมัก ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยสรุปแล้วมีความเข้มข้นสูงขึ้น ณ เวลา 2 ชั่วโมง หลังการให้อาหาร แล้วลดลง ณ เวลา 4 และ 6 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร ทั้งนี้เนื่องจากถูกใช้โดยจุลินทรีย์และยังถูกดูดซึมผ่านผนังรูเมน ซึ่งการดูดซึมแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะหมักนั้น อัตราการเกิดจะเกิดได้เร็วเมื่อระดับความเป็นกรด-ด่าง ในกระเพาะหมักมากกว่า 7.5 และเมื่อระดับความเป็นกรด-ด่าง อยู่ระหว่าง 6.5 – 7.5 นั้นอัตราการดูดซึมแอมโมเนียจะช้าลง และแอมโมเนียจะถูกนำไปใช้สังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนมากกว่าแอมโมเนียไนโตรเจนที่ถูกดูดซึมจากกระเพาะหมักเข้าสู่กระแสเลือด และผ่านเข้าสู่ตับสู่วัฏจักรยูเรีย

อย่างไรก็ตามระดับแอมโมเนียไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดย Satter and Slyter (1974) รายงานระดับที่เหมาะสมคือ 5-8 mg/dl ส่วน Windschitl (1991) รายงานระดับแอมโมเนียไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน คือ 11.8-18.3 mg/dl ขณะที่ Mehrez et al. (1977) รายงานระดับเหมาะสมอยู่ระหว่าง 15-20 mg/dl ซึ่งค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน จากการทดลองในครั้งนี้ก็อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตหรือการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน (7.98 – 13.96 mg/dl) แต่อย่างไรก็ตาม เมธา (2533) กล่าวว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนต่อการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร โดยเฉพาะแหล่งคาร์โบไฮเดรต ความสามารถในการละลายได้ของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต และสภาพนิเวศวิทยาในกระเพาะหมักที่เหมาะสม

5.3.3 ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ของของเหลวในกระเพาะหมัก

จากการทดลองพบว่าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหย คือ กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดบิวทิริก และอัตราส่วนกรดอะซิติกต่อโพรพิโอนิก เมื่อใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงาน ทดแทนข้าวโพด ที่ชั่วโมง 0, 2, 4 และ 6 หลังการให้อาหาร ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีรูปแบบที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น ณ เวลา 4 ชั่วโมง หลังการให้อาหาร

แล้วลดลง ณ เวลา 6 ชั่วโมง หลังการให้อาหาร ทั้งนี้เนื่องจากถูกดูดซึมผ่านผนังรูเมน Forbes and France (1993) รายงานว่าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ขึ้นอยู่กับปริมาณการกินได้ทั้งหมด นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับปริมาณจุลินทรีย์โปรตีนที่ผลิตได้ กล่าวคือถ้ามีการเจริญของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักสูงก็จะสามารถผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้ในสัดส่วนที่สูง (Preston and Lean, 1987) ทั้งนี้เนื่องจากมีกระบวนการหมักที่มีประสิทธิภาพ และความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้นั้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณการกินได้ของอาหารหยาบ ซึ่งสัดส่วนของกรดอะซิติกต่อกรดโพรพิโอนิกจะมีอิทธิพลมาจากอาหารที่สัตว์ได้รับ โดยสัตว์ที่กินอาหารหยาบได้มากก็จะผลิตกรดอะซิติกสูง และสัตว์ที่กินอาหารข้นที่มีแป้งเป็นส่วนประกอบสูงก็จะมีการผลิตกรดโพรพิโอนิกได้สูงเช่นกัน (Dado and Allen, 1995) อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ในกระเพาะหมักขึ้นอยู่กับอัตราในการผลิต และการดูดซึมผ่านผนังกระเพาะหมัก ซึ่งหากอัตราในการผลิตมีมากกว่าอัตราการดูดซึมก็จะมีการสะสมอยู่ในกระเพาะหมักมากขึ้น

โดยปกติแล้วกรดไขมันระเหยได้ถือเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยเฉพาะกรดโพรพิโอนิกจะมีผลต่อการให้ผลผลิต (Aiello et al., 1989) และสัดส่วนของกรดอะซิติกต่อกรดโพรพิโอนิกที่เพิ่มขึ้นจะมีผลกระทบต่อการให้ผลผลิตน้ำนมเป็นอย่างมาก ซึ่งสัดส่วนของกรดอะซิติกต่อกรดโพรพิโอนิกจะมีอิทธิพลจากอาหารที่สัตว์กิน โดยสัตว์ที่กินอาหารหยาบสูงจะผลิตกรดอะซิติกสูง ส่วนสัตว์ที่กินอาหารข้นที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบสูงก็จะมีการผลิตของกรดโพรพิโอนิกสูง (Dado and Allen, 1995) จึงมีความสัมพันธ์กับการให้ผลผลิตน้ำนม นอกจากนี้กรดไขมันระเหยได้ยังมีผลต่อองค์ประกอบในน้ำนมด้วย ซึ่งกรดอะซิติกและกรดบิวทีริก จะเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ไขมันในน้ำนม (Gransworthy, 1988) โดยไขมันในน้ำนมจะมีส่วนประกอบเป็นกรดไขมันสายยาว ซึ่งได้จากการสังเคราะห์ในเยื่อไขมันของต่อมน้ำนม และจากอาหาร โคความยาวของกรดไขมันสายยาวในน้ำนม ได้จากกรดไขมันระเหยได้ ที่เป็น primer ได้แก่ เบต้าไฮดรอกซีบิวทีเรท และอะซิเตท โดยกรดบิวทีริก จะเพิ่มความยาวโดยการเพิ่มคาร์บอนทีละสองตัว (elongation) ทำให้ได้กรดไขมันสายยาวในน้ำนม (ฉลอง, 2541)

บทที่ 6

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดบดในอาหารชั้นต่อการให้ผลผลิตของโคนมลูกผสมพันธุ์ไฮลัสไดน์ฟรีเซียนโดยทำการศึกษองค์ประกอบทางเคมี การประเมินคุณค่าทางพลังงานและการศึกษาการย่อยสลายในกระเพาะหมักของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง การศึกษาการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งวัตถุดิบพลังงานในอาหารชั้นต่อการให้ผลผลิตของโคนม รวมถึงการเปลี่ยนแปลงระบบนิเวศวิทยาในกระเพาะหมักของโคนม

1. การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี การประเมินคุณค่าทางพลังงานและการศึกษาการย่อยสลายในกระเพาะหมักของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพด พบว่าส่วนใหญ่เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองจะประกอบด้วยส่วนของ structure carbohydrate และส่วนข้าวโพดก็จะประกอบด้วยส่วนของ non fiber carbohydrate จากการใช้ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีประเมินค่าพลังงาน พบว่าเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองมีโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมดและการย่อยสลายของวัตถุแห้งต่ำกว่าข้าวโพด ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองส่วนใหญ่เป็นส่วนของเยื่อใย แต่ในข้าวโพดจะเป็นส่วนของแป้ง

2. การศึกษาระดับของการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งวัตถุดิบพลังงานในอาหารชั้นต่อการให้ผลผลิตของโคนม การกินได้ น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง ปริมาณน้ำนม และองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมจากการทดลองพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่พบว่าเมื่อระดับการทดแทนด้วยเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร มีแนวโน้มทำให้เปอร์เซ็นต์ไขมันและเปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระดับของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นในสูตรอาหารและจากการการประมาณค่าโปรตีนและพลังงานของโคนมที่ได้รับอาหารชั้นสูตรทดลองทั้ง 3 สูตร ผลของโปรตีนย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{sup}) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RUP_{sup}) ของโคนมที่ได้รับจากอาหารชั้นสูตรทดลองทั้ง 3 สูตรจากการทดลองพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่กลุ่มการทดลองที่ 1 และกลุ่มการทดลองที่ 2 ได้รับ RDP_{sup} ไม่เพียงพอต่อความต้องการ ซึ่งอาจแก้ไขปัญหานี้ได้โดยการเสริมแหล่งโปรตีนในอาหาร เช่น ยูเรีย เพื่อเป็นแหล่งของแอมโมเนียในโตรเจนสำหรับ

จุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก ในส่วนของความต้องการโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RUP_{req}) พบว่าโคนมในกลุ่มการทดลองที่ 2 ได้รับโปรตีนที่ไม่ย่อยสลาย ในกระเพาะหมัก RUP_{sup} ไม่เพียงพอต่อความต้องการ ซึ่งอาจแก้ไขปัญหานี้ได้โดยการ ใช้ by pass protein เพื่อให้สัตว์ได้รับโปรตีนตามที่ต้องการ หรือใช้วัตถุดิบประเภทโปรตีนที่มีค่าการย่อยสลาย (degradability) ต่ำ เช่น กากเมล็ดฝ้าย การถั่วเขียว หรือเมล็ดถั่วเหลืองที่ผ่านความร้อน (heat treated soybean) เป็นต้น

3. การศึกษาการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งวัตถุดิบพลังงานทดแทนข้าวโพดในอาหารชั้นต่อการเปลี่ยนแปลงของนิเวศวิทยาในกระเพาะหมักพบว่าความเป็นกรด-ด่าง แอมโมเนีย ในโตรเจน อะซิเตท โพรพionate บิวทีเรท และอัตราส่วนระหว่างอะซิเตทต่อโพรพionate ในกระเพาะหมักไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และอยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมัก ดังนั้นการใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานในอาหารชั้นสำหรับโคนม จึงไม่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยาในกระเพาะหมักของโคนม

ดังนั้นจากการทดลองในครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่าสามารถใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดในสูตรอาหารโคนมสูงสุดที่ระดับ 20% ในสูตรอาหารชั้น โดยไม่มีผลกระทบต่อปริมาณการกินได้ สมรรถนะภาพการผลิตน้ำนมในโคนม และกระบวนการหมักในกระเพาะหมัก แต่การใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นองค์ประกอบในสูตรอาหารนั้นพบว่าเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองมีโภชนะที่น้อยกว่าข้าวโพด มันสำปะหลัง เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ประเภทพลังงานเช่นเดียวกัน ดังนั้นในสูตรอาหารจึงควรใช้ข้าวโพด หรือ มันสำปะหลัง เป็นแหล่งของพลังงานในสูตรอาหารร่วมด้วยซึ่งน่าจะมีส่วนช่วยให้โคนมได้รับพลังงานที่น้อยได้ทั้งหมดสูงกว่าจะใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองเพียงอย่างเดียวในสูตรอาหาร โดยเฉพาะโคนมที่อยู่ในช่วงต้นของการให้ผลผลิตและโคนมที่ให้ผลผลิตสูง เนื่องจากโคนมกลุ่มดังกล่าวต้องการพลังงานสูงเพื่อใช้ในการสร้างน้ำนม ถ้าโคนมได้รับพลังงานไม่เพียงพอต่อความต้องการ อาจส่งผลกระทบต่อผลผลิตและองค์ประกอบของน้ำนมได้

รายการอ้างอิง

- กั้ววาน ธรรมแสง. (2546). การประเมินคุณค่าทางอาหารของหญ้าอาหารสัตว์เขตร้อนบางชนิด เพื่อทำนายผลผลิตของโคนม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรดุษฎีบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- จินดา สนิทวงศ์ ณ อยุธยา, เฉลิมพล บุญเจือ และ อุดมศรี อินทรโชติ. (ม.ป.ป.). การใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มเป็นอาหารเสริมสำหรับโครีดนม. (ออนไลน์). ได้จาก:
http://www.dld.go.th/nutrition/exhibision/RESEARCH/research_full/2543/R4311.doc
- เจริญศักดิ์ โรจนฤทธิพิเชษฐ์. (2519). มันสำปะหลัง. ภาควิชาพืชไร่. คณะเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- ฉลอง วิจิราภากร. 2541. โภชนศาสตร์และการให้อาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องเบื้องต้น. ภาควิชาสัตวศาสตร์. คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ชวนิศนดากร วรวรรณ, ม.ร.ว. (2534). การเลี้ยงโคนม. จำนวน 3000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช: กรุงเทพฯ.
- จิตชนก นวลนิมพลี. (2548). ผลการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารต่ออัตราการเจริญเติบโต อัตราการผสมติด ของโคนมระยะ โคสาว และการให้ผลผลิตน้ำนม ในโคนมระยะกลางกรให้น้ำนม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต. สาขาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ชุติมา อัมสันเทียะ. (2544). ผลการเสริมสารโมเนนซินต่อผลผลิตน้ำนมของโคนมในช่วงต้นระยะการให้นม เมื่อเลี้ยงด้วยต้นข้าวโพดหมัก 56 วันแรก และเลี้ยงด้วยฟางข้าวในช่วง 56 วันหลัง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต. สาขาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. (2541). โภชนศาสตร์สัตว์. พิมพ์ครั้งที่ 6. เชียงใหม่: ธนบรรณการพิมพ์.
- เมธา วรณณพัฒน์. (2533). โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. ภาควิชาสัตวศาสตร์. คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัดฟีนีฟับบลิชซิง.

ปีตุนาถ หนูเสน. (2547). การใช้กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานในอาหารชั้นต่อการให้ผลผลิตของโคนมลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเชียน. **วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. สาขาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.**

เพลิน เมินกระโทก. (2545). การนำใช้ประโยชน์ดินอ้อยเป็นอาหารสำหรับโคนม. **วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. สาขาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.**

เมธี สุกฤษณกร, สมิต ยัมมงคล, สมเกียรติ ประสานพานิช และ เลอชาติ บุญเอก. (2550). การใช้ฟิวส์เกลือเพื่อทดแทนมันเส้นในอาหารสำหรับโคนม. **การประชุมวิชาการสัตวศาสตร์ภาควิชาสัตวศาสตร์. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.**

สุกัญญา เกินกลาง. (2546). การใช้เปลือกถั่วเหลืองเป็นอาหารโคนม. **วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. สาขาวิชาสัตวศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.**

วรพงษ์ สุริยจันทร์ทอง. (2535). **เยื่อใยในอาหารสัตว์. ภาควิชาสัตวศาสตร์. คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.**

วิโรจน์ ภัทรจินดา. (2546). **โคนม. ภาควิชาสัตวศาสตร์. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.**

วิศิษฐ์พร สุขสมบัติ. (2538). **โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชาการผลิตโคนม. สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์. สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.**

สุขสันต์ สุทธิผลไพบูลย์. (2540). การใช้มันเส้นเลี้ยงสัตว์. **วารสารเกษตรก้าวหน้า. 12: 53-64.**

อุทัย คันโท. (2537). การใช้มันสำปะหลังเปรียบเทียบกับข้าวโพดเอ็กทราในสูตรหลังหย่านม. **ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเลี้ยงสุกรแห่งชาติ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. นครปฐม.**

โอภาส พิมพา, กฤตพล สมมาตรย์ และ เมธา วรรณพัฒน์. (2542). การนำใช้ประโยชน์กากมันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง. **รายงานวิชาการ. ภาควิชาสัตวศาสตร์. คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.**

Aiello, R. J., Armentano, L. E., Bertics, S. J., and Hurphy, A. I. (1989). Volatile fatty acids uptake and propionate metabolism in ruminant hepatocytes. **J. Dairy Sci. 72:942.**

Aldrich, J. M., Muller, L. D., Varga, G., and Griel, L. C. (1993). Nonstructural carbohydrate and protein effects on rumen fermentation, nutrient flow, and performance of dairy cows. **J. Dairy Sci. 76:1091-1102.**

- Allen, M. S. (2000). Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. **J. Dairy Sci.** 83:1958-1624.
- Andrews, S.M., Tyrrell, H.F., Reynolds, C.K., and Erdman, M.D. (1991). Net energy for lactation of calcium soaps of long-chain fatty acids for cows fed silage-based diets. **J. Dairy Sci.** 74: 2588.
- Arosemena, A., DePeters, E.J., and Fadel, J.G. (1995). Extent of variability in nutrient composition within selected byproduct feedstuffs. **Anim. Feed Sci. Technol.** 54:103–120.
- Association of American Feed Control Officials. (1996). Official Publication. Atlanta, GA.
- Association of Official Analytical Chemists. (1990). **Official Method of Analysis**. Washington D. C. p. 1298.
- Canale, A., Valente, M.E., and Ciotti, A. (1984). Determination of volatile carboxylic acid (C1-C5i) and lactic acid extracts of silage by high performance liquid chromatography. **J. Sci Food and Agri.** 35 : 1178-1182.
- Crampton, E.W., Lloy, L.E., and Mackay, V.G. (1957). The calorie value of TDN. **J. Anim. Sci.** 16: 541 - 552.
- Chen, X.B. (1996). An Excel Application Programme for Processing Feed Digestibility Data. User Manual, Rowett Research Institute, Bucksburn, Aberdeen, UK.
- Church, D.C. (1979). **Digestive physiology and nutriron of ruminants**. V. II. O & B Book, Inc., Corvalis Oregon. U.S.A.
- Conrad, H.R., Weiss, W. P., Odwongo, W.O., and Shockey, W.L. (1984). Estimating net energy lactation from components of cell solubles and cell walls. **J. Dairy Sci.** 67: 427 - 437.
- Claypool, D. W., Pangbornand, M. C., and Adams, H. P. (1980). Effect of dietary protein on high producing dairy cows in early lactation. **J. Dairy Sci.** 63: 833.
- Dado R.C. and Allen, M.S., (1995). Intake limitations, feeding behavior and rumen function of cows challenged with runmen fill from dietary fiber or inert bulk. **J. Dairy Sci.** 78:118.

- Dale, A.B., Evan, C.T, Jim, D., Steve, I.P., and Michael, J.B.(2000). **Soybean Hulls, Composition and Feeding Value for Beef and Dairy Cattle**. Kansas State University.
- DeFrain, JM., Shirley, J.E., Titgemeyer, E.C., Park, A.F., and Ethington, R.T. (2002). A pelleted combination of row soyhulls and condensed corn steep liquor for lactating dairy cow. **J. Dairy Sci.** 58: 3403 – 3410
- DePeters, E. J., Fadel, J. G., and Arosemena, A. (1997). Digestion kinetics of neutral detergent fiber and chemical composition within some selected byproducts feedstuffs. **Anim. Feed Sci. Technol.** 67:127 – 140.
- Dhiman, T. R., Klirinmans, J.N., Tessmann, J.H., Radloff, D., and Satter, L.D. (1995). Digestion and energy balance in lactating dairy cows fed varying ratios of alfalfa silage and grain. **J. Dairy Sci.** 78: 330.
- Egan, A. R. and Moir, R. J. (1965). Nutritional status and intake regulation in sheep. I. Effects of duodenally infused single dose of casein, urea and propionate upon voluntary intake of low protein roughage by sheep. **Aust. J. Agr. Res.** 16: 437 - 449.
- Elliott, J. P., Drackley, J. K., Fahey, Jr., G. C. and Shanks, R. D. (1995). Utilization of supplemental fat by dairy cows fed diets varying in content of nonstructural carbohydrates. **J. Dairy Sci.** 78:1512–1525.
- Forbes, J. M. (1986). **The voluntary food intake of farm animal**. Butterworths. London.
- Forbes, J. M. and J. France.1993. **Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism**. Cambridge:The University Press. UK.
- Folch, J., Lees, M., and Sloane-stanley, G.H. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipids form animal tissues. **J. biol. chem.** 226 : 495-509
- Fonnesbeck, P.V., M. F. Wardeh and L. E. Harris. 1984. **Mathematical models for estimating energy and protein utilization of feedstuffs**. Utah Agricultural Eperimental Station Bulletin. No. 508.
- 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>.)

- Gaynor, P. J., Waldo, D. R., Capuca, A. V., Erdman, R. A. and Douglass, L. W. (1995). Effects of prepubertal growth rate and diet on lipid metabolism in lactating hostein cows. **J. Dairy Sci.** 78: 1534-1543.
- Garrett, W.N. (1980). Energy utilization by growing cattle as determined by 72 comparative slaughter experiments. **Energy Metabolism. Proc. Symp.** 26:3-7.
- Garnsworthy, P.C. 1988. **Nutrition and lactation in the dairy cow.** Anchor-Brender Butterworths Press. Nottingham. England.
- Goering, H. K. and Van Soest, P. J. (1970). **Forage Fiber Analysis.** A RS./USDA Agric. Handbook, Washington.
- Göhl, B.O., (1981). **Tropical feeds information summaries and nutritive values.** FAO animal production and health series. pp. 366- 368
- Hall, M.B. (1998). Making nutritional sense of nonstructural carbohydrates. (pp. 108-121). **9th Annual Florida Nutrition Symposium.**
- Holmes, C. W., and Wilson, G. F. (1984). **Milk Production from Pasture.** Butterworths, Wellington, New Zealand. 319p.
- Ipharraguerre, I. R., Ipharraguerre, R. R., and Clark, J. H. (2002a). Performance of lactating dairy cows fed varying amounts of soyhulls as a replacement for corn grain. **J. Dairy Sci.** 85: 2905–2912.
- Ipharraguerre, I. R., Shabi, Z. Clark, J. H., and Freeman, D.E. (2002b). Ruminant fermentation and nutrient digestion by dairy cows fed varying amounts of soyhulls as a replacement for corn grain. **J. Dairy Sci.** 85:2890–2904.
- Kelly, M.L., Kolver, E.S., Bauman, D.E., Van Amburgh, M.E., and Muller, L.D. (1998). Effect of intake of pasture on concentration of conjugated linoleic acid in milk of lactating cows. **J. Dairy Sci.** 81 :1630 – 1636
- Kennelly, J.J. (2000). Feeding and management systems to optimized milk production. (Online available, <http://www.afns.ualberta.ca/drct/dp472-50.htm>.)

- Khang, Z., Chon, K.C., and Nah, K.C. (2000). **Cassava, a total substitute for cereals in livestock and poultry ratios**. Ruminant Nutrition : selected articles from World Animal Review, FAO. 155-160 p.
- Lim, L.A. (1967). Ruminant and post-ruminant utilization of nitrogen and starch from sorghum, corn and barley based diets by beef steers. **J. Dairy Sci.** 62: 521-530.
- McDonald, P., Edwards, R.A., Greenhalgh, J.F.D., and Morgan, C.A. (1995). **Animal nutrition**. Singapore: Longman Scientific & Technical.
- Mansfield, H.R., and Stern, M.D. (1994). Effects of soybean hulls and lignosulfonate-treated soybean meal on ruminal fermentation in lactating dairy cows. **J. Dairy Sci.** 77:1070–1083.
- Manlyard, L.A., Loosli, J.K., Hintz, H.F., and Warner, R.G. (1979). **Animal nutrition**. 7th. McGraw-Hill, Inc., New York, NY.
- Mehrez, A.Z., Ørskov, E.R., and McDonald, I. (1977). Rate of rumen fermentation in relation to ammonia concentration. **Br. J. Nutr.** 38: 437.
- Mertens. (1987). Predicting intake and digestibility using mathematical model of ruminal function. **J. Anim. Sci.** 64: 1548.
- Metcalfe, L.D., Schmitz, A.A., and Pelka, J.R. (1996). Rapid preparation of fatty acid esters from lipids for gas chromatographic analysis. **Anal. Chem.** 38 : 514 – 515
- Moat, A.G., and Foster, J.W. (1995). **Microbial physiology**. Wiley-Liss Publisher. New York. USA. 580 p.
- Moe, P.W., Tyrrell, H.F., and Flatt, W.P. (1971). Energetic of body tissue metabolizable. **J. Dairy Sci.** 54 :548 – 559
- Moe, P.W., and Tyrrell, H.F. (1974). **Observation on the efficiency of utilization on metabolizable energy for meat and milk production**. P.27 Proc. Univ. of Nottingham

- National Research Council. (2001). **Nutrients Requirements of Dairy Cattle**. 7th Ed. National academy press. Washington D.C. 340 p.
- National Research Council. (1996). **Nutrients Requirements of Dairy Cattle**. 6Ed. National academy press. Washington D.C.
- National Research Council. (1988). **Nutrient Requirements of Dairy Cattle**. 4thEd. National Academic Press. Washington D. C. 157 p.
- National Research Council. (1984). **Nutrients Requirements of Dairy Cattle**. 3th Ed. National academy press. Washington D.C. 340 p.
- Ørskov, E.R. and McDonald, I. (1979). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. **J. Agri Sci.** 92: 499-503.
- Ørskov, E.R., Deb Hovell, F.N., and Mould, F. (1980). The use nylon bag technique for the evaluation of feedstuffs. **Tropical Animal Production**. 5: 195-213.
- Ostrowska, E., F.R. Dunshea, M. Muralitharan and R.F. Cross. 2000. Comparison of Silver-ion high performance liquid chromatographic quantification of free and methylated conjugated linoleic acid. **Lipids**. 35: 1147 – 1153
- Palmquist, D.L., and Maltos, W. (1978). Turnover of lippoproteins are transfer of milk fat of dietary (Øcarbon-Ø4) linoleic in lactating cows. **J. Dairy Sci**. 60: 560 - 565.
- Palmquist, D.L., (1991). Influence of source and amount of dietary fat on digestibility in lactating cows. **J. Dairy Sci**. 74: 1354 - 1360.
- Pantoja, J., Firkins, J. L., Eastridge, M. L., and Hull, B. L. 1994. Effects of fat saturation and source of fiber on site of nutrient digestion and milk production by lactating dairy cows. **J. Dairy Sci**. 77: 2341 – 2356.
- Preston, R.L., (2002). Typical composition of commonly used feeds for sheep and cattle. (**Online available**, <http://www.vcn.vnn>.)

- Preston, R.R., and Lean, R.A. (1987). **Matching ruminant production system with available resources in the tropic and sub-tropic**. Armidale: Penambul Books. Australia.
- 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.
- Romo, G.A., Casper, D.P., Erdman, R.A., and Teter, B.B. (1996). Abomasal infusion of cis or trans fatty acid isomers and energy metabolism of lactating dairy cows. **J. Dairy Sci.** 79: 2005 -2015.
- Russell, J.B., (1991). Resistance of *Streptococcus bovis* to acetic acid at low pH : relationship between intracellular pH and anion accumulation. **J. App. Microbiol.** 57: 255.
- Russell, J.B., and Dombrowski, D.E. (1980). Effect of pH on the efficiency of growth of rumen bacteria in pure culture. . **J. App. Microbiol.** 39: 604.
- Satter, L.D., and Slyter, L.L. (1974). Effect of ammonia concentration on rumen microbial production *in vitro*. **Br. J. Nutr.** 32: 199.
- Smith, G. H., and Dodd, F.H. (1966). Effect of milking throughout pregnancy on milk yield in the succeeding lactation. **J. Dairy Sci.** 46: 204.
- Statistical Analysis System. (1988). **SAS User' Guide: Statistics**. NC: SAS Institute.
- Stone, W.C. (1996). Applied topics in dairy cattle nutrition. 1. Soyhulls as either forage or concentrate replacement. **Ph.D. Thesis. Cornell Univ., Ithaca, NY.**
- Swift, B.W. (1957). The caloric value of TDN. **J. Dairy Sci.** 16:1055-1059.
- Tyrrell, H.F., and Reid, J.T. (1965). Prediction of the energy value of cow's milk. **J. Dairy Sci.** 48: 1215 - 1223.
- Tyrrell, J.F., and Moe, P.W. (1975). Effect of intake on digestive efficiency. **J. Dairy Sci.** 58: 1151-1163.
- Wagner, D.C., and Loosli, J.K. (1967). **Studies on the energy requirements of high-producing cows**. Memoir 400, Cornell Uni. Agr. Exp. Sta.

- Weiss, W.P., Conrad, H.R., and Pierre, N.R.S. (1992). A theoretically-based model for predicting total digestive nutrient value of forages and concentrates **Anim. Feed Sci. Technol.** 39: 95 - 110.
- Windschitl, M.D. (1991). Lactational performance of high production dairy cow feed diets containing salmal meal and urea. **J. Dairy Sci.** 74: 3475.
- 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.). **Forage evaluation in ruminant nutrition**. Wallingford, Oxon, UK: CABI International.pp. 1- 4
- Zervas G., Fegeros, K., Koytsotolis, K., Goulas, C., and Mantzios, A. (1998). Soy hulls as a replacement for maize in lactating dairy ewe diets with or without dietary fat supplements. **Anim. Feed Sci. Technol.** 76: 65 – 75

ภาคผนวก ก

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

1. พลังงานของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง

พลังงานจาก NFC

$$\begin{aligned}\text{Truly digestible NFC (tdNFC)} &= 0.98(100 - [\text{NDF}_N + \text{CP} + \text{EE} + \text{Ash}]) \times \text{PAF} \\ &= 0.98(100 - [61.07 + 10.25 + 1.29 + 4.64]) \times 1 \\ &= 22.30 \%\end{aligned}$$

หมายเหตุ ค่า PAF มีค่าเท่ากับ 1

พลังงานจากโปรตีน

$$\begin{aligned}\text{True digestible CP for Concentrate (tdCPc)} &= [1 - (0.4 \times (\text{ADICP}/\text{CP}))] \times \text{CP} \\ &= [1 - (0.4 \times (0.99/10.25))] \times 10.25 \\ &= 9.85 \%\end{aligned}$$

พลังงานจากไขมัน

$$\begin{aligned}\text{True digestible FA (tdFA)} &= \text{EE} - 1.0 \\ &= 1.29 - 1.0 \\ &= 0.29 \%\end{aligned}$$

พลังงานจาก NDF

$$\begin{aligned}\text{True digestible NDF (tdNDF)} &= 0.75 \times (\text{NDF}_N - \text{Lignin}) [1 - (\text{Lignin}/\text{NDF}_N)^{0.667}] \\ \text{True digestible NDF (tdNDF)} &= 0.75 \times (61.07/3.63) [1 - (3.63/(61.07)^{0.667})] \\ &= 36.53 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{TDN}_{1X}(\%) &= \text{tdNFC} + \text{tdCP} + (\text{tdFA} \times 2.25) + \text{tdNDF} - 7 \\ &= 22.30 + 9.85 + (0.29 \times 2.25) + 36.53 - 7 \\ &= 62.75 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{DE}_{1X} (\text{Mcal/kg}) &= [(\text{tdNFC}/100) \times 4.2] + [(\text{tdNDF}/100) \times 4.2] \\ &\quad + [(\text{tdCP}/100) \times 5.6] + [(\text{FA}/100) \times 9.4] - 0.3 \\ &= [(22.30/100) \times 4.2] + [(36.53/100) \times 4.2] + [(9.85/100) \times 5.6] + [(1.29/100) \times 9.4] - 0.3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \times 5.6] + [(0.29/100) \times 9.4] - 0.3 \\
 = & \quad 2.75 \text{ Mcal/kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Discount} &= \frac{[(\text{TDN}_{\text{IX}} - [(0.18 \times \text{TDN}_{\text{IX}}) - 10.3]) \times \text{Intake}]}{\text{TDN}_{\text{IX}}} \\
&= \frac{[(62.75 - [(0.18 \times 62.75) - 10.3]) \times 2]}{62.75} \\
&= 0.97 \\
\text{DE}_p \text{ (Mcal/kg)} &= \text{DE}_{\text{IX}} \times \text{Discount} \\
&= 2.75 \times 0.97 \\
&= 2.67 \text{ Mcal/kg} \\
\text{ME}_p \text{ (Mcal/kg)} &= 1.01 \times \text{DE (Mcal/kg)} - 0.45 \\
&= (1.01 \times 2.67) - 0.45 \\
&= 2.25 \text{ Mcal/kg} \\
\text{NE}_{\text{LP}} \text{ (Mcal/kg)} &= [0.703 \times \text{ME}_p \text{ (Mcal/kg)}] - 0.19 \\
&= (0.703 \times 2.25) - 0.19 \\
&= 1.39 \text{ Mcal/kg}
\end{aligned}$$

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

โครีดนมได้รับน้ำนมหลักเป็นแหล่งของอาหารหยাবร่วมกับอาหารข้น (ตัวอย่าง)

โครีดนมมีน้ำหนักเฉลี่ย 415.69 kgLW ให้นมเฉลี่ยวันละ 14.77 kg นำนมนี้น้ำมัน 3.41% และโปรตีน 3.22% โครีดนมมีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นวันละ 0.06 กิโลกรัม มีค่าBCS 3.5

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

$$NE_{LM} \text{ (Mcal/kg)} = 0.08 \times (\text{Live Weight})^{0.75}$$
$$= 0.08 \times (415.69)^{0.75}$$

$$= 7.36 \text{ Mcal/day}$$

$$NE_{L\text{Gain}} \text{ (Mcal/kg)} = \text{Reserve Energy} \times (0.64/0.75) \times [\text{Loss or Gain (kg/d)}]$$

$$NE_{L\text{Loss}} \text{ (Mcal/kg)} = \text{Reserve Energy} \times 0.82 \times [\text{Loss or Gain (kg/d)}]$$

$$\text{Reserve Energy} = (\text{Proportion of empty body fat} \times 9.4) + (\text{Proportion of empty Body protein} \times 5.5)$$

$$\text{Proportion of empty body fat} = 0.037683 \times \text{BCS}(9)$$

$$\text{Proportion of empty body protein} = 0.20086 - [0.0066762 \times \text{BCS}(9)]$$

$$\text{BCS}(9) = ((\text{Dairy BCS} - 1) \times 2) + 1$$

$$= ((3.5 - 1) \times 2) + 1$$

$$= 6$$

$$\text{Proportion of empty body fat} = 0.037683 \times 6$$

$$= 0.23$$

$$\text{Proportion of empty body protein} = 0.20086 - (0.0066762 \times 6)$$

$$= 0.16$$

$$\text{Reserve Energy} = (0.23 \times 9.4) + (0.16 \times 5.5)$$

$$= 3.04$$

$$NE_{LG} \text{ (Mcal/kg)} = 3.04 \times (0.64 / 0.75) \text{ Mcal/day}$$

$$= 2.58 \times 0.06$$

$$= 0.15$$

$$NE_{LL} \text{ (Mcal/kg)} = (0.0929 \times \text{Fat}\%) + (0.0547 \times \text{Crude Protein}\%)$$
$$0.192) \times \text{kg of milk}$$

$$= [(0.0929 \times 3.41) + (0.0547 \times 3.22) + 0.192]$$

$$\times 14.77(\text{kgmilk/d})$$

$$\begin{aligned}
 \text{NE}_{\text{LR}} &= 10.12 \text{ Mcal/day} \\
 &= 7.36 + 0.15 + 10.12 \\
 &= 17.63 \text{ Mcal/day}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น โครีคนมซึ่งได้รับหญ้าหมักร่วมกับอาหารข้นจะมีความต้องการพลังงานในรูปของNE ทั้งหมดเท่ากับ 17.63 Mcal/day

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

โครีดนมมน้ำหนักเฉลี่ย 415.69 kgLW ให้นมเฉลี่ยวันละ 14.77 kg น้ำนมมีไขมัน 3.41% และโปรตีน 3.22 % โครีดนมมน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นวันละ 0.06 กิโลกรัม มีค่า BCS 3.5

$$MP_R = MP_M + MP_G + MP_L$$

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

$$MP_u = UPN/0.67$$

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

$$MP_u = [2.75 \times (415.69^{0.5})]/0.67$$

$$= 83.55$$

$$MP_{sh} = SPN/0.67$$

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

$$MP_{sh} = [0.2 \times (415.69^{0.6})]/0.67$$

$$= 11.12$$

$$MP_{MFP} = MFP - (\text{bacteria} + \text{bacterial debris in Cecum, large intestine keratinized Cell} + \text{others})$$

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

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

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

$$= 0.4 \times 1.9 \times 15.10 \times 6.25$$

$$= 71.73$$

$$\text{Bact MP (g/d)} = 0.64 \text{ MCP}$$

$$\text{MCP} = 0.85 \text{ gRDP}_{\text{req}}$$

$$\text{RDP}_{\text{req}} \text{ (อาหารหยาบ)} = 0.15294 \times \text{TDN}_{\text{Actual}}$$

$$\text{TDN}_{\text{Act Total}} \text{ (อาหารหยาบ)} = DMI \text{ (kg)} \times \% \text{TDN} \times 1000$$

$$\text{RDP}_{\text{req}} \text{ (อาหารหยาบ)} = 0.15294 \times (7.31 \text{ kg} \times 0.5297 \times 1000)$$

$$= 592.2 \text{ g/d}$$

$$\text{RDP}_{\text{req}} \text{ (อาหารข้น)} = 0.15294 \times \text{TDN}_{\text{Act Total}}$$

$$\text{TDN}_{\text{Act Total}} \text{ (อาหารข้น)} = DMI \text{ (kg)} \times \% \text{TDN} \times 1000$$

$$\text{RDP}_{\text{req}} \text{ (อาหารข้น)} = 0.15294 \times (8.23 \text{ kg} \times 0.7472 \times 1000)$$

$$\begin{aligned}
&= 940.50 \text{ g/d} \\
\text{RDP}_{\text{req}} &= \text{RDP}_{\text{req}}(\text{อาหารหยาบ}) + \text{RDP}_{\text{req}}(\text{อาหารข้น}) \\
&= 592.20 + 940.50 \\
&= 1532.70 \text{ g/d} \\
\text{MCP} &= 0.85 \times 1532.70 \\
&= 1302.80 \\
\text{MP}_{\text{Bact}} \text{ (g/d)} &= 1302.80 \times 0.64 \\
&= 833.79 \\
\text{MP}_{\text{End}} \text{ (g/d)} &= 0.4 \times (1.9 \times 15.10 \times 6.25) \\
&= 71.73 \\
\text{P}_{\text{MFP}} \text{ (g/d)} &= [(\text{DMI}(\text{kg}) \times 30) - 0.50((\text{Bact MP}/0.8) - \text{Bact MP})] \\
&\quad + \text{Endo MP}/0.67 \\
&= [(15.10 \times 30) - 0.50((833.79/0.8) - 833.79)] + 71.73/0.67 \\
&= 455.84 \\
\text{MP}_\text{M} \text{ (g/d)} &= \text{MP}_\text{u} + \text{MP}_\text{sh} + \text{MP}_{\text{MFP}} \\
&= 83.55 + 11.12 + 455.84 \\
&= 550.51 \text{ g/d} \\
\text{P}_\text{G} \text{ (g/d)} &= \text{NPg}/\text{EffMP_NPg} \\
\text{P}_\text{g} \text{ (g/d)} &= \text{SWG} \times (268 - (29.4 \times (\text{RE}/\text{SWG}))) \\
\text{โดย RE (Mcal)} &= 0.0635 \times \text{EQEBW}^{0.75} \times \text{EQEBG}^{1.097} \\
\text{EQEBW} &= 0.891 \times \text{EQSBW} \\
\text{EQSBW} &= \text{SBW} \times (478/\text{MSBW}) \\
\text{SBW} &= \text{Shrunk body weight} \\
&= 0.96 \times \text{BW} \\
&= 0.96 \times 415.69 \text{ kgLW} \\
&= 383.10 \text{ kgLW} \\
\text{MSBW} &= \text{Mature shrunk body weight} \\
&= 500 \text{ kgLW (โคนมลูกผสม Holstein friesian ในประเทศไทย)} \\
\text{EQSBW} &= 383.10 \times (478/500) \\
&= 366.24 \text{ kgLW} \\
\text{EQEBW} &= 0.891 \times 366.24
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 326.32 \text{ kgLW} \\
\text{EQEBG} &= 0.956 \times \text{SWG} \\
&= 0.956 \times 0.06 \\
&= 0.057 \text{ kgLW} \\
\text{RE (Mcal/d)} &= 0.0635 \times 326.32^{0.75} \times 0.057^{1.097} \\
&= 0.21 \text{ Mcal/d} \\
\text{NPg} &= 0.27 \times (268 - (29.4 \times (0.21/0.06))) \\
&= 44.58 \text{ g/d} \\
\text{EffMP_NPg} &= (83.4 - (0.114 \times \text{EQSBW}))/100 \\
&= (83.4 - (0.114 \times 366.24))/100 \\
&= 0.79 \\
\text{MP}_G(\text{g/d}) &= 44.58/0.79 \\
&= 56.43 \text{ g/d} \\
\text{MP}_L(\text{g/d}) &= (\text{Yprotn}/0.67) \times 1000 \\
\text{Yprotn (kg/d)} &= \text{Milk production (kg/d)} \times (\text{Milk true protein}/100) \\
&= 14.77 \text{ (kg/d)} \times (3.22/100) \\
&= 0.48 \text{ kg/d} \\
\text{MP}_L(\text{g/d}) &= (0.48/0.67) \times 1000 \\
&= 720 \text{ g/d} \\
\text{MP}_R(\text{g/d}) &= 550.51 + 56.43 + 720 \\
&= 1326.94 \text{ g/d} \\
\text{MP}_{\text{req}} &= \text{MP}_{\text{Bact}} + \text{MP}_{\text{RUP}} + \text{MP}_{\text{Endo}} \\
\text{MP}_{\text{RUP}} &= \text{MP}_{\text{req}} - (\text{MP}_{\text{Bact}} + \text{MP}_{\text{Endo}}) \\
&= 1326.94 - (833.79 + 71.73) \\
&= 421.42 \text{ g/d} \\
0.8\text{RUP}_{\text{req}} &= \text{total digest RUP} \\
0.66 \times \text{total digest RUP} &= \text{MP}_{\text{RUP}} \\
\text{total digest RUP} &= 421.42/0.66 \\
&= 638.52 \\
\text{total digest RUP} &= 0.8\text{RUP}_{\text{req}} \\
\text{RUP}_{\text{req}} &= 638.52/0.8
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 798.15 \\
\text{CP}_{\text{req}} &= \text{RDP}_{\text{req}} + \text{RUP}_{\text{req}} \\
&= 1449.10 + 881.68 \\
&= 2331.08 \text{ g} \\
\text{ซึ่งในอาหาร RDP}_{\text{sup}} (\text{อาหารหยาบ}) &= \text{Total DMFed} \times 1000 \times \text{Diet CP} \times \text{CP_RDP} \\
&= 8.23 \times 1000 \times 0.0775 \times 0.51 \\
&= 328.29 \text{ g/d} \\
\text{RDP}_{\text{sup}} (\text{อาหารข้น}) &= \text{Total DMFed} \times 1000 \times \text{Diet CP} \times \text{CP_RDP} \\
&= 6.87 \times 1000 \times 0.197 \times 0.65 \text{ g/d} \\
&= 879.70 \\
\text{RDP}_{\text{sup}} &= \text{RDP}_{\text{sup}} (\text{อาหารหยาบ}) + \text{RDP}_{\text{sup}} (\text{อาหารข้น}) \\
&= 328.29 + 879.70 \\
&= 1207.99 \text{ g/d} \\
\text{CP}_{\text{Total}} (\text{อาหารหยาบ}) &= \text{Total DMFed} \times 1000 \times \text{Diet CP} \\
&= 8.23 \times 1000 \times 0.0775 \\
&= 637.83 \text{ g/d} \\
\text{CP}_{\text{Total}} (\text{อาหารข้น}) &= \text{Total DMFed} \times 1000 \times \text{Diet CP} \\
&= 6.87 \times 100 \times 0.197 \\
&= 1353.39 \text{ g/d} \\
\text{CPT}_{\text{Total}} &= \text{CP}_{\text{Total}} (\text{อาหารหยาบ}) + \text{CP}_{\text{Total}} (\text{อาหารข้น}) \\
&= 637.83 + 1353.39 \\
&= 1991.22 \text{ g/d} \\
\text{RUP}_{\text{sup}} &= \text{CP}_{\text{Total}} - \text{RDP}_{\text{sup}} \\
&= 1991.22 - 1207.99 \\
&= 783.23 \text{ g/d}
\end{aligned}$$

ภาคผนวก ข

ตารางที่ 1 แสดงการวิเคราะห์ค่าเรียนซ้ำของการกินได้ของโคนมที่ได้รับอาหารชั้นสูตรทดลอง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
การกินได้วัตุแห่งอาหารหยาบ(กก./ตัว/วัน)					
Treatments	2	0.1398	0.0699	0.07	0.9360
Error	21	22.1204	1.0533		
Total	23	22.2602			
		$R^2 = 0.05062$	C.V. = 14.96 %		
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
การกินได้วัตุแห่งรวม (กก./ตัว/วัน)					
Treatments	2	0.1526	0.07631	0.07	0.9304
Error	21	22.14250	1.0544		
Total	23	22.2951			
		$R^2 = 0.0068$	C.V. = 6.80%		
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
การกินได้วัตุแห่งรวม (g/kg W^{0.75})					
Treatments	2	312.7500	156.3750	0.87	0.4344
Error	21	3783.7500	180.1785		
Total	23	4096.5000			
		$R^2 = 0.0763$	C.V.= 8.05%		
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
การกินได้โปรตีนอาหารหยาบ(กก./ตัว/วัน)					
Treatments	2	2478.5833	1239.2917	0.21	0.8156
Error	21	126443.3750	6021.1131		
Total	23	128921.9583			
		$R^2 = 0.0192$	C.V. = 15.11%		

ตารางที่ 1(ต่อ) แสดงการวิเคราะห์หว่าเรียนซ์ของการกินได้ของโคนมที่ไดรบอาหารชั้นสูตรทดลอง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
การกินได้โปรตีนรวม(กก./ตัว/วัน)					
Treatments	2	14167.1801	7083.5901	2.67	0.0924
Error	21	55637.5027	2649.4049		
Total	23	69804.6828			
		$R^2 = 0.2029$	C.V. = 2.41%		
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
การกินได้โปรตีนรวม (g/kg W^{0.75})					
Treatments	2	20.6593	0.3296	2.81	0.0831
Error	21	77.2707	3.6795		
Total	23	97.9300			
		$R^2 = 0.2110$	C.V. = 7.77%		
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
การกินได้พลังงานอาหารหยาบ (กก./ตัว/วัน)					
Treatments	2	0.1911	0.0956	0.07	0.9371
Error	21	30.7914	1.4662		
Total	23	30.9825			
		$R^2 = 0.0061$	C.V.= 14.96%		
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
การกินได้พลังงานรวม (กก./ตัว/วัน)					
Treatments	2	0.4660	0.2330	0.16	0.8539
Error	21	30.7408	1.4638		
Total	23	31.2067			
		$R^2 = 0.0149$	C.V.= 5.48%		

ตารางที่ 1(ต่อ) แสดงการวิเคราะห์ห้วเรียนซ์ของการกินได้ของโคนมที่ไครบอาหารชั้นสูตรทดลอง

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
การกินได้พลังงานรวม (g/kg W^{0.75})					
Treatments	2	0.0004	0.0002	0.58	0.5679
Error	21	0.0073	0.0003		
Total	23	0.0077			
		R ² = 0.0524	C.V.= 6.76%		

ตารางที่ 2 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนม

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
ปริมาณน้ำนม					
Treatments	22	5.9852	2.9926	0.37	0.6965
Error	21	170.7707	8.1319		
Total	23	176.7559			
		$R^2 = 0.0339$	C.V. = 19.23%		
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
4.0 % FCM					
Treatments	2	10.9594	5.4797	0.98	0.3919
Error	21	117.44696250	5.5927		
Total	23	128.40639			
		$R^2 = 0.0853$	C.V. = 15.14%		
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
ปริมาณไขมัน (กรัม/วัน)					
Treatments	2	37694.9468	18847.4734	2.30	0.1252
Error	21	172232.8786	8201.5656		
Total	23	209927.8255			
		$R^2 = 0.1795$	C.V. = 13.95%		
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
ปริมาณโปรตีน (กรัม/วัน)					
Treatments	2	8121.3384	4060.6692	0.59	0.5652
Error	21	145441.7021	6925.7953		
Total	23	153563.0405			
		$R^2 = 0.0528$	C.V. = 17.09%		

ตารางที่ 2 (ต่อ) แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนม

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
ปริมาณแลคโตส (กรัม/วัน)					
Treatments	2	25140.2494	12570.1247	0.48	0.6239
Error	21	547070.5395	26050.9780		
Total	23	572210.7889			
		$R^2 = 0.0439$	$C.V. = 22.51\%$		
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
ปริมาณของแข็งพร้อมไขมัน (กรัม/วัน)					
Treatments	2	70107.4759	35053.7379	0.51	0.6103
Error	21	1455788.1093	69323.2433		
Total	23	1525895.5852			
		$R^2 = 0.0459$	$C.V. = 20.14\%$		
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
ปริมาณของไขมันรวม (กรัม/วัน)					
Treatments	2	182750.3330	91375.1665	0.80	0.4637
Error	21	2406273.8380	114584.4684		
Total	23	2589024.1710			
		$R^2 = 0.0735$	$C.V. = 17.33\%$		
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
เปอร์เซ็นต์ไขมัน					
Treatments	2	2.8050	1.4025	3.21	0.0608
Error	21	9.1755	0.4369		
Total	23	11.9805			
		$R^2 = 0.2341$	$C.V. = 14.78\%$		

ตารางที่ 2 (ต่อ) แสดงการวิเคราะห์หว่าเรียนซ์ขององค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันของโคนม

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
เปอร์เซ็นต์โปรตีน					
Treatment	2	0.1268	0.0634	2.61	0.0972
Error	21	0.5101	0.0242		
Total	23	0.6369			
		$R^2 = 0.1990$	$C.V. = 4.70\%$		
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
เปอร์เซ็นต์แลคโตส					
Treatments	2	0.1389	0.0694	0.91	0.4166
Error	21	1.5972	0.0760		
Total	23	1.7361			
		$R^2 = 0.0800$	$C.V. = 5.73\%$		
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
เปอร์เซ็นต์ของแข็งพร้อมไขมัน					
Treatments	2	0.4203	0.2101	2.53	0.1040
Error	21	1.7468	0.0831		
Total	23	2.1671			
		$R^2 = 0.1939$	$C.V. = 3.27\%$		
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
เปอร์เซ็นต์ของแข็งรวม					
Treatments	2	5.9106	2.9553	6.11	0.0081
Error	21	10.1508	0.4833		
Total	23	16.0615			
		$R^2 = 0.3680$	$C.V. = 5.24\%$		

ประวัติผู้เขียน

นางสาวณัฐนิช ป่วนปาน เกิดเมื่อวันที่ 10 พฤษภาคม พ.ศ. 2525 ที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน เป็นบุตรของนายสมบัติ และ นางสาวัญญ ป่วนปาน เริ่มศึกษาชั้นประถมที่โรงเรียนบ้านจอมแจ้งมิตรภาพที่ 193 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1-6 ที่โรงเรียนแม่สะเรียง “บริพัตร” ศึกษา จังหวัดแม่ฮ่องสอนและสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปี พ.ศ.2546 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2547