การใช้กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานในอาหารข้นต่อการให้ผลผลิตของโคนมลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชียน

นางสาวปิตุนาถ หนูเสน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2547
ISBN 974-533-364-6

UTILIZATION OF CASSAVA ROOT MEAL AS ENERGY SOURCE OF CONCENTRATE FOR CROSSBRED HOLSTEIN FRIESIAN DAIRY COWS

Miss Pitunart Noosen

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 2004

ISBN 974-533-364-6

การใช้กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานในอาหารข้นต่อการให้ผลผลิตของโคนมลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชียน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(อ. ดร. สุรินทร บุญอนันธนสาร)
ประธานกรรมการ

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

(อ. ดร. ปราโมทย์ แพงคำ)
กรรมการ

(อ. น. สพ. ดร. ภคนิจ คุปพิทยานันท์)
กรรมการ

(รศ. น.ท. ดร. สรวุฒิ สุจิตจร)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(ผศ. ดร. สุเวทย์ นิงสานนท์)
คณบดีสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

ปิตุนาถ หนูเสน : การใช้กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานในอาหารข้นต่อการให้ผลผลิตของโคนมลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเซียน (UTILIZATION OF CASSAVA ROOT MEAL AS ENERGY SOURCE OF CONCENTRATE FOR CROSSBRED HOLSTEIN FRIESIAN DAIRY COWS) อาจารย์ที่ปรึกษา: รศ. ดร. วิศิษฐิพร สุขสมบัติ, 183 หน้า. ISBN: 974-533-364-6

วิทยานิพนธ์นี้ศึกษาถึงการใช้กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานในอาหารข้นต่อการให้ผลผลิตของโคนมลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเซียน การศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วย 1 การศึกษาเบื้องต้น และ 2 การทดลอง คือ การศึกษาเบื้องต้นถึงองค์ประกอบทางเคมี การประเมินคุณค่าทางพลังงาน และการศึกษาการย่อยสลายในกระเพาะหมักของกากมันสำปะหลัง พบว่าคุณค่าทางโภชนะของกากมันสำปะหลังมีองค์ประกอบทางเคมีเหมาะสมที่จะนำมาเป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานในสูตรอาหารได้ การทดลองที่ 1 ศึกษาระดับสูงสุดของการใช้กากมันสำปะหลังเป็นแหล่งพลังงานในอาหาร โดยจัดแผนการทดลองแบบ Simple comparison ซึ่งจัดเป็น 3 กลุ่มการทดลอง แบบ Stratified random balance group ตามปริมาณน้ำนม, ระยะการให้นม, อายุ และ น้ำหนักตัวก่อนการทดลอง โดยใช้โคนมจำนวน 24 ตัว กลุ่มละ 8 ตัว ทำการเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 30 วัน ซึ่งแบ่งออกเป็น 6 ช่วงการทดลอง ช่วงละ 5 วัน โดยมีการบันทึก ข้อมูลน้ำนม ปริมาณการกินได้ และ น้ำหนักตัว โดยที่กลุ่มการทดลองที่ 1 ได้รับอาหารข้นทดลอง 35% กากมันสำปะหลัง กลุ่มการทดลองที่ 2 ได้รับอาหารข้นทดลอง 40% กากมันสำปะหลังและ กลุ่มการทดลองที่ 3 ได้รับอาหารข้นทดลอง 45% กากมันสำปะหลังโดยที่ทั้ง 3 กลุ่มการทดลองได้รับหญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ พบว่าปริมาณน้ำนม, องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม, การกินได้ของโคนม และ น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลงของทั้ง 3 กลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) นอกจากนี้ในส่วนของโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{sup}) และ โปรตีนที่ไม่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RUP_{sup}) ของทั้ง 3 กลุ่มการทดลองให้ผลไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่พบว่าไม่เพียงพอต่อความต้องการของโคนมทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง นอกจากนี้ในส่วนของการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมักของโคนมโดยใช้โคเจาะกระเพาะจำนวน 6 ตัว จัดการทดลองแบบ 3x3 Latin square โดยให้โคเจาะกระเพาะในแต่ละตัวได้รับอาหารข้นตามกลุ่มการทดลอง พบว่าโคนมที่ได้รับอาหารข้นที่มีกากมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบไม่มีผลกระทบต่อระดับความเป็นกรด-ด่าง และ อัตราส่วน Acetate:Propionate ในกระเพาะหมักของโคนม

การทดลองที่ 2 ศึกษาระดับเชิงพานิชย์ของการใช้กากมันสำปะหลังเป็นแหล่งพลังงานในอาหารข้น โดยจัดแผนการทดลองและแบ่งกลุ่มเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 พบว่าการกินได้ของโคนมไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ปริมาณน้ำนม (กิโลกรัม/วัน)

เปอร์เซ็นต์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม ที่ศึกษาไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) และความต้องการโปรตีนย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{req}) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP_{req}) ไม่เพียงพอต่อความต้องการ และไม่มีผลกระทบต่อระดับความเป็นกรดด่าง และ อัตราส่วน Acetate:Propionate ในกระเพาะหมักของโคนม จากการทดลองทั้งหมดนี้สรุปได้ว่า การใช้กากมันสำปะหลังเป็นแหล่งพลังงานในอาหารข้นสำหรับเลี้ยงโคนมสามารถใช้ได้ในระดับสูงสุด คือ 45% การใช้กากมันสำปะหลังเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ช่วยในการลดต้นทุนค่าอาหารข้นสำหรับโคนม และสามารถใช้ทดแทนวัตถุดิบแหล่งพลังงานที่มีราคาสูง เช่น ข้าวโพด โดยไม่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตของโคนม แต่การใช้กากมันสำปะหลังซึ่งมีระดับโปรตีนค่อนข้างต่ำ ดังนั้นควรที่จะใช้ร่วมกับวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นแหล่งโปรตีนร่วมด้วย เช่น กากถั่วเหลือง

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ ลายมือชื่อนักศึกษา_____

ปีการศึกษา 2547 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม_____

PITUNART NOOSEN : UTILIZATION OF CASSAVA ROOT MEAL AS ENERGY SOURCE OF CONCENTRATE FOR CROSSBRED HOLSTEIN FRIESIAN DAIRY COWS. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. WISITIPORN SUKSOMBAT, Ph. D. 183 PP. ISBN. 974-533-364-6

DAIRY CATTLE/ENERGY AND PROTEIN REQUIREMENT/CASSAVA ROOT MEAL

The present thesis aimed to study the utilization of cassava root meal (CRM) as an energy source of 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 CRM, and digestibility of CRM in the rumen of fistulated cows. The latter section was designed to investigate in two experiments.

The first experiment was carried out to investigate the effect of different level of CRM in concentrates on milk production, milk composition and live weight change of lactating dairy cows. This experiment was designed in a simple comparison arrangement that was divided in to three stratified random balanced groups according to milk yield, days in milk, age and live weight before the start of the trial. Each group consisted of eight lactating dairy cows. The first group was fed 35%CRM concentrate, the second group was fed 40%CRM concentrate and the last group was fed 45%CRM concentrate. All cows were fed grass silage as roughage. The experiment lasted 40 days that the first 10 days were considered as adaptation period and measurements were made during the last 30 days in 6 period of 5-days. Daily milk yields were

recorded. Evening and morning samples of milk were collected on one day during the 5-days period. Live weights were recorded at the start and at the end of the experimental period. While the trial with lactating cows was carried on, six rumen fistulated dairy cows were assigned in to 3 x 3 Latin Square arrangement to determine the change in rumen pH. Cows were fed concentrate and grass silage as in the trial with lactating dairy cows. The results showed no significant differences in daily feed intake, milk yield, milk composition and live weight change. Rumen degradable protein (RDP) and rumen undegradable protein (RUP) supplies were also similar in all groups. This trial also showed that cassava root meal level in concentrates did not influence the rumen pH and acetate: propionate ratio in dairy cow's rumen fluid.

The second experiment was carried out to investigate the effect of different level of CRM in concentrates: at commercial practice. The experimental design was the same as the first experiment. The results also similar to the first experiment.

The present study clearly indicates that CRM could effectively replace high cost energy source such as corn. Nevertheless, the low protein of CRM should be collaborated by protein source supplement such as soybean meal. The highest level of inclusion in the concentrates was up to 45%CRM.

School of Animal Production Techology
Academic Year 2004

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

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จด้วยดี ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รศ. ดร.วิศิษฐิพร สุขสมบัติ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาและแนวคิดที่เป็นประโยชน์ทั้งในด้านวิชาการและด้านการดำเนินการวิจัย ตลอดจนคำแนะนำในการเขียน การตรวจแก้วิทยานิพนธ์และสนับสนุนค่าใช้จ่ายต่างๆในการวิจัยครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. ปราโมทย์ แพงคำ กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำและตรวจแก้วิทยานิพนธ์ รศ. ดร.กนก ผลารักษ์ อาจารย์สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือต่างๆ ในงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ให้ความอนุเคราะห์โคนม และสถานที่ในการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณบริษัท พูนอุดม จำกัด และ บริษัท พูนผล จำกัด อ. เมือง จ. นครราชสีมา ที่ให้ความอนุเคราะห์วัตถุดิบอาหารสัตว์ ในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณพี่ๆ บุคคลากรประจำอาคารเครื่องมือ 3 ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆในการทำวิจัยนี้

ขอขอบคุณนายพิพัฒน์ เหลืองลาวัณย์ นางสาวณัฏฐณิชา จันทร์แดง เพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในงานวิจัยครั้งนี้

ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การเลี้ยงดูอบรม ส่งเสริมการศึกษาเป็นอย่างดี และให้กำลังใจเป็นอย่างดีเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ปิตุนาถ หนูเสน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญรูปภาพ	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	2
1.3 สมมุติฐานของการวิจัย	2
1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย	2
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 กากมันสำปะหลัง	**4**
2.1.1คุณสมบัติโดยทั่วไป	6
2.1.2 การเกิดสารพิษไฮโดรไซยานิค	7
2.1.3 กลไกการออกฤทธิ์ของกรดไฮโดรไซยานิค	8
2.1.4 วิธีการลดปริมาณของกรดไฮโดรไซยานิค	9
2.1.5 ระดับของกรดไฮโดรไซยานิคในผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง	10
2.1.6 ผลกระทบต่อสุขภาพสัตว์	12
2.2 การย่อยและการดูดซึมอาหารพวกคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนในกระเพาะหมัก	**15**
2.2.1 การย่อยและการดูดซึมคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะหมัก	15
2.2.2 การย่อยและการดูดซึมอาหารโปรตีน	17
2.2.3 สัดส่วนอาหารโปรตีน (ไนโตรเจน) และพลังงาน	18

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกินได้ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง	**19**
2.3.1 Metabolic factor	19
2.3.2 Physical factor	20
2.4 ความต้องการพลังงานในโคนม	**22**
2.4.1 หน่วยของพลังงาน	23
2.4.2 การจำแนกประเภทของพลังงาน	23
2.4.3 การประเมินคุณค่าพลังงานตาม NRC (2001)	27
2.4.4 ความต้องการโปรตีนในโคนม	35
2.5 การให้น้ำนมของโค	**38**
2.5.1 การสังเคราะห์นม	38
2.5.2 ส่วนประกอบของน้ำนม	40
2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตและองค์ประกอบของน้ำนมดิบ	**41**
2.6.1 ปัจจัยทางสรีระวิทยา	42
2.6.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม	43
บทที่ 3 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี การประเมินคุณค่าพลังงาน และการศึกษาการย่อยสลายในกระเพาะหมักของกากมันสำปะหลัง	
3.1 อุปกรณ์และวิธีการ	**45**
3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล	**47**
3.3 สถานที่ทำการทดลอง	**47**
3.4 ระยะเวลาทำการทดลอง	**47**
3.5 ผลการทดลอง	**48**
3.5.1 องค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลังและวัตถุดิบอาหารสัตว์	48
3.5.2 การประเมินค่าพลังงานในกากมันสำปะหลังและวัตถุดิบอาหารสัตว์	49
3.5.3 การย่อยสลายของวัตถุแห้งของกากมันสำปะหลังและวัตถุดิบอาหารสัตว์	50
3.5.4 การย่อยสลายโปรตีนของวัตถุดิบอาหารสัตว์	50
3.6 วิจารณ์ผลการทดลอง	**53**

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.6.1 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารสัตว์แต่ละชนิด	53
3.6.2 การประเมินคุณค่าพลังงานของกากมันสำปะหลังและวัตถุดิบอาหารสัตว์	54
3.6.3 การย่อยสลายวัตถุแห้งของวัตถุดิบอาหารสัตว์	54
3.6.4 การย่อยสลายโปรตีนของวัตถุดิบอาหารสัตว์	55
3.7 สรุปผลการทดลอง	**55**
บทที่ 4 การศึกษาระดับสูงสุดของการใช้กากมันสำปะหลังเป็นแหล่งวัตถุดิบพลังงานในอาหารข้นต่อการให้ผลผลิตของโคนม	
4.1 อุปกรณ์และวิธีการ	**56**
4.1.1 แผนการทดลองและการจัดการให้อาหาร	56
4.1.2 วิธีการทดลองและเก็บข้อมูล	58
4.2 การวิเคราะห์ข้อมูล	**58**
4.3 สถานที่ทำการทดลอง	**58**
4.4 ระยะเวลาทำการทดลอง	**58**
4.5 ผลการทดลอง	**59**
4.5.1 องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารและการประเมินพลังงาน	59
4.5.2 การกินได้ของโคนม	62
4.5.3 ปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม	64
4.5.4 เปอร์เซ็นต์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม	64
4.5.5 น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง	64
4.5.6 การประเมินค่าโปรตีนและโปรตีนที่โคนมได้รับจากสูตรอาหาร	68
4.6 วิจารณ์ผลการทดลอง	**72**
4.6.1 องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารและการประเมินพลังงาน	72
4.6.2 ปริมาณการกินได้ของโคนม	72
4.6.3 ปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม	73
4.6.4 การได้รับโปรตีนจากอาหาร โปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักและโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก	74
4.6.5 การจำแนกพลังงานเพื่อกิจกรรมต่างๆ	74

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.7 สรุปผลการทดลอง	**75**
4.8 การศึกษาการย่อยสลายในกระเพาะหมักของอาหารสูตรทดลอง และระดับ pH ในกระเพาะหมักของโคนม	**76**
4.8.1 อุปกรณ์และวิธีการ	76
4.8.2 วิธีการทดลองและเก็บข้อมูล	77
4.8.3 การวิเคราะห์ข้อมูล	78
4.8.4 สถานที่ทำการทดลอง	78
4.8.5 ระยะเวลาทำการทดลอง	78
4.8.6 ผลการทดลอง	79
4.8.7 วิจารณ์ผลการทดลอง	86
4.8.8 สรุปผลการทดลอง	87
บทที่ 5 การศึกษาระดับเชิงพาณิชย์ของการใช้กากมันสำปะหลังเป็นแหล่งวัตถุดิบพลังงานในอาหารข้นต่อการให้ผลผลิตของโคนม	
5.1 อุปกรณ์และวิธีการ	**88**
5.1.1 แผนการทดลองและการจัดการให้อาหาร	88
5.1.2 วิธีการทดลองและเก็บข้อมูล	90
5.2 การวิเคราะห์ข้อมูล	**90**
5.3 สถานที่ทำการทดลอง	**90**
5.4 ระยะเวลาทำการทดลอง	**90**
5.5 ผลการทดลอง	**91**
5.5.1 องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารและการประเมินพลังงาน	91
5.5.2 ปริมาณการกินได้ของโคนม	94
5.5.3 ปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม	96
5.5.4 เปอร์เซ็นต์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม	96
5.5.5 น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง	96
5.5.6 การประเมินค่าโปรตีนและโปรตีนที่โคนมได้รับจากสูตรอาหาร	100
5.6 วิจารณ์ผลการทดลอง	**105**

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.6.1 องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารและการประเมินพลังงาน	105
5.6.2 การกินได้ของโคนม	105
5.6.3 ปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม	106
5.6.4 น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง	106
5.6.5 การได้รับโปรตีนจากอาหาร	107
5.6.6 การจำแนกพลังงานเพื่อกิจกรรมต่างๆ	107
5.7 สรุปผลการทดลอง	**108**
5.8 การศึกษาการย่อยสลายในกระเพาะหมักของอาหารสูตรทดลองและระดับ pH ในกระเพาะหมักของโคนม	**109**
5.8.1 อุปกรณ์และวิธีการ	109
5.8.2 วิธีการทดลองและเก็บข้อมูล	110
5.8.3 การวิเคราะห์ข้อมูล	111
5.8.4 สถานที่ทำการทดลอง	111
5.8.5 ระยะเวลาทำการทดลอง	111
5.8.6 ผลการทดลอง	112
5.8.7 วิจารณ์ผลการทดลอง	119
5.8.8 สรุปผลการทดลอง	120
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง	121
รายการอ้างอิง	**124**
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	**133**
ภาคผนวก ข	**153**
ประวัติผู้เขียน	**183**

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	แสดงคุณค่าทางโภชนะของกากมันสำปะหลัง	6
ตารางที่ 2.2	แสดงปริมาณ HCN ในผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง	11
ตารางที่ 2.3	ระดับความเป็นพิษโดยทั่วๆไปของ HCN	11
ตารางที่ 2.4	แสดงถึงการแบ่งลักษณะอาการของโรค Rumen acidosis โดยใช้ระดับของค่า pH เป็นเกณฑ์	13
ตารางที่ 2.5	แสดงถึงอัตราการผลิต VFA_s เมื่อระดับของค่า pH ภายในกระเพาะ Rumen ลดต่ำกว่า 5.9	13
ตารางที่ 2.6	แสดงให้เห็นถึงการเกิดโรค Rumen acidosis ที่มีผลต่อส่วนประกอบในน้ำนมของโค	14
ตารางที่ 2.7	กระบวนการปรับปัจจัย (Processing adjustment factors ,PAF) สำหรับ NFC	28
ตารางที่ 2.8	ประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีนหยาบเพื่อใช้ในการประมาณค่า TDN_{1X}สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสัตว์	31
ตารางที่ 2.9	ประสิทธิภาพการย่อยได้เพื่อการดำรงชีพสำหรับอาหารสัตว์จำพวกไขมัน	31
ตารางที่ 3.1	แสดงองค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลังและวัตถุดิบอาหารสัตว์	48
ตารางที่ 3.2	แสดงค่าพลังงานของวัตถุดิบอาหารสัตว์	49
ตารางที่ 3.3	แสดงการย่อยสลายวัตถุแห้งของวัตถุดิบอาหารสัตว์ในกระเพาะหมัก	52
ตารางที่ 3.4	แสดงการย่อยสลายวัตถุแห้งของวัตถุดิบอาหารสัตว์ในกระเพาะหมัก	52
ตารางที่ 3.5	แสดงเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายวัตถุแห้งและการย่อยสลายโปรตีนของวัตถุดิบอาหารสัตว์	52
ตารางที่ 4.1	แสดงคุณสมบัติของกลุ่มโครีดนมระยะปลายของการให้นมที่ใช้ในการทดลอง	57
ตารางที่ 4.2	แสดงชนิดและปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองที่ 1	57
ตารางที่ 4.3	แสดงองค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารการทดลองที่ 2	60
ตารางที่ 4.4	แสดงการจำแนกประเภทของพลังงานโดยการคำนวณจากสมการของ NRC	61
ตารางที่ 4.5	แสดงปริมาณการกินได้ของโคนมที่ได้รับอาหารสูตรทดลองและหญ้าหมัก	63

สารบัญตาราง(ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 4.6	แสดงปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนม	65
ตารางที่ 4.7	แสดงผลองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม	66
ตารางที่ 4.8	แสดงน้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลงของโคนม	67
ตารางที่ 4.9	แสดงการได้รับโปรตีนย่อยสลายในกระเพาะหมักและโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก	69
ตารางที่ 4.10	แสดงปริมาณของโปรตีนที่ได้รับจากอาหารและโคนมต้องการ	70
ตารางที่ 4.11	แสดงพลังงานที่โคนมต้องการเพื่อกิจกรรมต่างๆและที่โคนมได้รับจากอาหาร	71
ตารางที่ 4.12	แสดงการย่อยสลายได้วัตถุแห้งและอัตราการย่อยสลายได้วัตถุแห้งของอาหารผสม 3 สูตร	80
ตารางที่ 4.13	แสดงการย่อยสลายโปรตีนและอัตราการย่อยสลายโปรตีนของอาหารผสม 3 สูตร	81
ตารางที่ 4.14	แสดงเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายวัตถุแห้งและการย่อยสลายโปรตีนของอาหารผสม 3 สูตร	82
ตารางที่ 4.15	แสดงระดับความเป็นกรด-ด่างภายในกระเพาะหมักตามระยะเวลาต่างๆ	84
ตารางที่ 4.16	แสดงปริมาณ VFAs ของ Rumen fluid ภายหลังจากการให้อาหาร	85
ตารางที่ 5.1	แสดงคุณสมบัติของกลุ่มโครีดนมระยะปลายของการให้นม	89
ตารางที่ 5.2	แสดงชนิดและปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองที่ 2	89
ตารางที่ 5.3	แสดงองค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารการทดลองที่ 2	92
ตารางที่ 5.4	แสดงการจำแนกประเภทของพลังงานโดยการคำนวณจากสมการของ NRC	93
ตารางที่ 5.5	แสดงปริมาณการกินได้ของโคนมที่ได้รับอาหารสูตรทดลองและหญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ	95
ตารางที่ 5.6	แสดงปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนม	97
ตารางที่ 5.7	แสดงผลองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม	98
ตารางที่ 5.8	แสดงน้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลงของโคนม	99
ตารางที่ 5.9	แสดงการได้รับโปรตีนย่อยสลายในกระเพาะหมักและโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก	102
ตารางที่ 5.10	แสดงปริมาณของโปรตีนที่ได้รับจากอาหารและโคนมต้องการ	103

สารบัญตาราง(ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 5.11	แสดงพลังงานที่โคนมต้องการเพื่อกิจกรรมต่างๆและที่โคนมได้รับจากอาหาร	104
ตารางที่ 5.12	แสดงการย่อยสลายได้วัตถุแห้งและอัตราการย่อยสลายได้วัตถุแห้งของอาหารผสม 3 สูตร	113
ตารางที่ 5.13	แสดงการย่อยสลายโปรตีนและอัตราการย่อยสลายโปรตีนของอาหารผสม 3 สูตร	114
ตารางที่ 5.14	แสดงเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายวัตถุแห้งและการย่อยสลายโปรตีนของอาหารผสม 3 สูตร	115
ตารางที่ 5.15	แสดงระดับความเป็นกรดด่างภายในกระเพาะหมักตามระยะเวลาต่างๆภายหลังจากการให้อาหาร	117
ตารางที่ 5.16	แสดงปริมาณ VFAs ของ Rumen fluid ภายหลังจากการให้อาหาร	118

สารบัญรูปภาพ

		หน้า
รูปที่ 2.1	แสดงขั้นตอนการคัดแยกกากมันสำปะหลัง	5
รูปที่ 2.2	แสดงผลการไฮโดรไลซีส ลินามาริน และ ไลโทสตาริน	8
รูปที่ 2.3	แสดงกระบวนการขวัดขวางการหายใจของเซลล์จากสารพิษไซยาไนด์	9

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การเลี้ยงโคนมเป็นอาชีพหนึ่งที่มีศักยภาพสูง เนื่องจากผลผลิตน้ำนมดิบมีตลาดรองรับแน่นอนและไม่ต้องประสบกับปัญหาด้านราคาจำหน่ายเหมือนกับผลผลิตทางการเกษตรอย่างอื่น ทำให้มีรายได้ที่แน่นอนประกอบกับได้รับการส่งเสริมจากหน่วยงานของรัฐบาลอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้เกษตรกรมีความต้องการเลี้ยงโคนมกันมากขึ้นและรัฐบาลมีนโยบายที่จะเพิ่มจำนวนโคนมขึ้นอีกระหว่างแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 9 (2545-2549) โดยได้วางเป้าหมายอัตราการเพิ่มจำนวนแม่โคนมที่ร้อยละ 7.24 ต่อปี เพื่อปริมาณผลผลิตน้ำนมดิบภายในประเทศที่ ร้อยละ 9.12 ต่อปี และเพื่อทดแทนการนำเข้านมจากต่างประเทศเป็นมูลค่าหลายพันล้านบาทต่อปี รายงานของ กรมปศุสัตว์ (2546) ระบุว่า ปี 2545 ปริมาณน้ำนมดิบที่ผลิตได้ภายในประเทศ 660,297 ตัน/ปี คิดเป็นร้อยละ 40.90 ของความต้องการรวมภายในประเทศ จำนวนประชากรโคนมมีทั้งหมดประมาณ 374,648 ตัว เป็นแม่โครีดนมประมาณ 189,946 ตัว (คิดเป็นร้อยละ 50.7 ของจำนวนโคนมทั้งหมด) ผลิตน้ำนมดิบได้ประมาณ 1,956 ตัน/วัน อัตราการบริโภคน้ำนม 9.67 กิโลกรัม/คน/ปี ซึ่งอัตราการบริโภคของนมและผลิตภัณฑ์นมของประเทศเพิ่มขึ้นร้อยละ 19-21 ต่อปี ซึ่งต้นทุนการผลิตน้ำนมดิบกว่าร้อยละ 60 จะเป็นต้นทุนทางด้านอาหาร โดยเฉพาะอาหารข้น (Concentrate) ซึ่งในปัจจุบันมีราคาสูงมาก จึงได้มีการนำวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดต่างๆที่มีราคาถูกมาเป็นแหล่งอาหารสัตว์ อย่างไรก็ตามในบางช่วงมักเกิดปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบอาหารสัตว์ ทำให้วัตถุดิบอาหารสัตว์มีราคาแพง ปัจจุบันได้มีการนำเอาผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมเกษตร (Agro industrial by – products) เข้ามาใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบอาหารสัตว์ เช่น กากมันสำปะหลัง กากเมล็ดทานตะวัน เป็นต้น กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบชนิดหนึ่งซึ่งพบว่าเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพเพียงพอที่จะนำมาเป็นแหล่งพลังงานในอาหารโคนม เนื่องจากมีกากมันสำปะหลังจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังเป็นปริมาณถึง 2.9 ล้านตัน/ปี (บุญญฤทธิ์, 2544) ซึ่งถือว่ามีปริมาณมากพอจะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารโคนมได้ นอกจากนี้กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่มีราคาถูกกว่าวัตถุดิบอาหารประเภทใกล้เคียงกัน เช่น รำข้าว ข้าวโพด เป็นต้น กากมันสำปะหลังเมื่อผ่านกระบวนการสกัดแป้งออกยังคงมีแป้งเหลืออยู่ประมาณ 64.6 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง และ สัตว์สามารถย่อยและใช้ประโยชน์ได้ถึง 74 เปอร์เซ็นต์ (สมเจต, 2530) นอกจากนี้รายงานของ ชวนิศนดากร(2500)

รายงานว่ากากมันสำปะหลังมีส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรต 81 เปอร์เซ็นต์ สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ได้สูงถึง 20 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารสุกรมีผลทำให้สุกรมีอัตราการเจริญเติบโตที่ดี แต่ถ้าใช้ในปริมาณสูงกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้อัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักตัวลดลง อย่างไรก็ตามปริมาณแป้งที่เหลืออยู่สูงนั้น อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของโคนม ซึ่งการที่โคนมได้รับอาหารประเภทแป้งและน้ำตาลในปริมาณที่มากเกินความต้องการจะส่งผลให้เกิดโรค Rumen acidosis (Hutjens, 1996) แต่ในปัจจุบันการศึกษาเกี่ยวกับการใช้กากมันสำปะหลังเป็นอาหารโคนมยังมีน้อยมาก ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงเป็นไปเพื่อแสดงให้เห็นถึง การใช้ประโยชน์จากกากมันสำปะหลัง เพื่อนำมาใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบอาหารข้น และ ต้นทุนในการผลิตอาหารโคนม ร่วมกับการศึกษาถึงผลกระทบต่อสุขภาพของโคนมที่ได้รับกากมันสำปะหลังเป็นแหล่งอาหารข้น (Concentrate) สำหรับเลี้ยงโคนมในระยะกลาง (Mid Lactating) ของการให้นม

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาถึงองค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลัง
2. เพื่อศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในแต่ละระดับของสูตรอาหารข้นต่อ การให้ผลผลิตน้ำนม และ คุณภาพของน้ำนมของโคนม
3. เพื่อศึกษาการย่อยได้ในกระเพาะหมักของกากมันสำปะหลัง
4. เพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงระดับของ pH ในกระเพาะหมักของโคนมที่ได้รับอาหารข้นที่มีกากมันสำปะหลังเป็นองค์ประกอบ

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1. การใช้กากมันสำปะหลังมีคุณค่าทางโภชนะเหมาะสมนำมาเป็นแหล่งพลังงานในอาหารข้นสำหรับเลี้ยงโคนม
2. การใช้กากมันสำปะหลังในแต่ละระดับของสูตรอาหารสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานในอาหารข้นโคนมโดยไม่ส่งผลกระทบต่อผลผลิต และ องค์ประกอบของน้ำนม
3. การใช้กากมันสำปะหลังในแต่ละระดับของสูตรอาหารเป็นแหล่งพลังงานในอาหารข้นสำหรับโคนมไม่ส่งผลให้โคนมเกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับ pH ในกระเพาะหมัก

1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

Dairy cattle, Energy and protein requirement, Cassava root meal, Rumen acidosis

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาถึงผลการใช้กากมันสำปะหลัง 3 ระดับ ได้แก่ 35 % 40% และ 45% ของสูตรอาหารเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานในอาหารข้นสำหรับเลี้ยงโคนมลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชียนซึ่งมีระดับเลือดสูงกว่า 87.5% และ อยู่ในช่วง กลางของการให้นม

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงองค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลัง
2. สามารถนำกากมันสำปะหลังมาใช้เป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานในอาหารข้นโคนม
3. ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงระดับ pH ในกระเพาะหมัก เมื่อได้รับอาหารข้นที่มีกากมันสำปะหลังเป็นองค์ประกอบ

บทที่ 2
วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สัตว์เคี้ยวเอื้องมีความต้องการอาหารเพื่อใช้เป็นแหล่งโภชนะซึ่งอาหารของสัตว์อาจได้จากวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดต่างๆ พืชอาหารสัตว์ รวมทั้งผลพลอยได้ทางการเกษตรและผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการเกษตร อย่างไรก็ตามอาหารสัตว์เหล่านี้มีคุณสมบัติด้านองค์ประกอบทางโภชนะค่อนข้างแตกต่างกัน จึงมีการจำแนกอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้องออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ อาหารข้น (Concentrate) และอาหารหยาบ (Roughages)

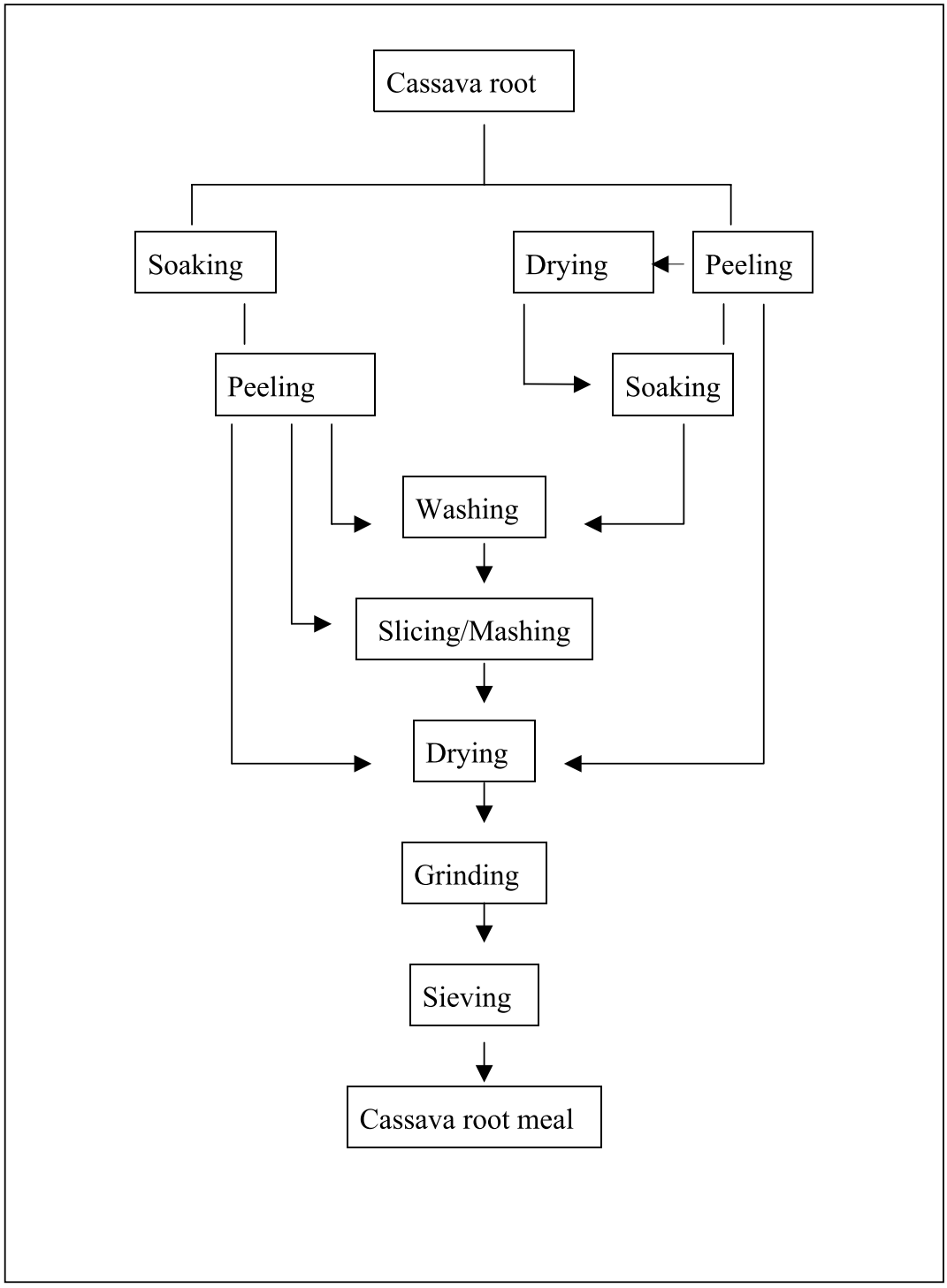
อาหารข้น หมายถึง อาหารที่มีคุณค่าทางอาหารสูง คือ มีจำนวนโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (Total digestible nutrient; TDN) สูง และ มีเยื่อใยต่ำ (ต่ำกว่าร้อยละ 18 ของน้ำหนักแห้ง) ได้แก่ อาหารจำพวกเมล็ดพืช หรือผลพลอยได้จากพืชและอาหารที่มาจากสัตว์ เช่น รำ ข้าวโพด ข้าวฟ่าง กากเมล็ดถั่วต่างๆ กากมะพร้าว เป็นต้น นอกจากนี้ยังรวมถึงอาหารจำพวกแร่ธาตุและไวตามินต่างๆ ด้วย (วิศิษฐิพร, 2542)

อาหารหยาบ หมายถึง อาหารที่มีเยื่อใยเป็นส่วนประกอบอยู่เกินกว่าร้อยละ 18 ของน้ำหนักแห้ง อาหารหยาบจัดเป็นอาหารหลักสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง เนื่องจากนี้ยังรวมถึงผลพลอยได้ทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ยอดอ้อย ชานอ้อย กากสับปะรด กากมะเขือเทศ เปลือกและต้นข้าวโพดฝักอ่อน ต้นข้าวโพดหวานและอื่นๆ (วิศิษฐิพร, 2542)

2.1 กากมันสำปะหลัง (Cassava root meal)

กากมันสำปะหลังเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการเกษตร (Agro industrial by – products) ที่ได้จากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งมีกระบวนการผลิตเริ่มตั้งแต่การนำหัวมันสำปะหลังสดซึ่งมีความชื้นประมาณ 63.8 เปอร์เซ็นต์ มีแป้งประมาณ 27.7 เปอร์เซ็นต์ มาแยกเอาดินออกและนำเข้าเครื่องทำการล้างทำความสะอาด จากนั้นส่งผ่านไปยังเครื่องสับ (Root cutter) เพื่อสับหัวมันสำปะหลังเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วจะทำการขูดหัวมันสำปะหลังด้วยเครื่องขูด (Rasper) จากนั้นทำการแยกส่วนที่เป็นกากออกครั้งแรก ในส่วนที่เป็นแป้งนั้นจะแช่อยู่ในบ่อน้ำแป้ง ซึ่งจะนำไปทำการฟอกสีด้วยไอกำมะถันและจะนำแป้งนี้มาแยกกากออกเป็นครั้งที่ 2 ด้วยตะแกรงโยกอีก 2 – 3 ครั้ง น้ำแป้งที่ได้นี้จะนำไปทำให้ข้นด้วยวิธีการปั่นเหวี่ยง และ เข้าเครื่องอบแห้งซึ่งจะได้แป้งมันสำปะหลังเพื่อนำไปคัดแยกโดยใช้ตะแกรงโยกต่อไป ส่วนที่เป็นกากที่ได้จากการคัดแยกทั้งสองครั้ง เป็นส่วนที่เรียกว่า กากมันสำปะหลัง (Cassava root meal) (สุรพงษ์, 2525)

รูปที่ 2.1 แสดงขั้นตอนการคัดแยกกากมันสำปะหลัง



ที่มา : Martin et al., (1993)

2.1.1 คุณสมบัติโดยทั่วไป

กากมันสำปะหลังเป็นผลพลอยได้จากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งจากรายงานการทดลองของเยาวมาลย์ และ สาโรช (2543) รายงานว่าในการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ถ้าใช้หัวมันสำปะหลัง 100 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ได้กากมันสำปะหลัง 11.1 เปอร์เซ็นต์ และ จากรายงานของสถิติการเกษตรปี 2544 ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร พบว่ามีปริมาณผลผลิตของหัวมันสำปะหลังสดในปี 2545 – 2546 มีปริมาณ 18.4 ล้านตัน/ปี ดังนั้นจะมีกากมันสำปะหลังจากกระบวนการผลิตปริมาณ 2.03 ล้านตัน/ปี (บุญญฤทธิ์, 2544) ซึ่งถือว่ามีปริมาณมากพอที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารโคนมได้ โดยที่กากมันสำปะหลังมีคุณค่าทางโภชนะดังนี้

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณค่าทางโภชนะของกากมันสำปะหลัง (Preston, 2002)

Composition	Cassava root meal	Corn
CP (%)	2.0	9.0
CF (%)	5.0	2.0
NDF (%)	34.0	9.0
ADF (%)	8.0	3.0
Ether Extract (%)	0.8	4.3
TDN (%)	83.0	88.0

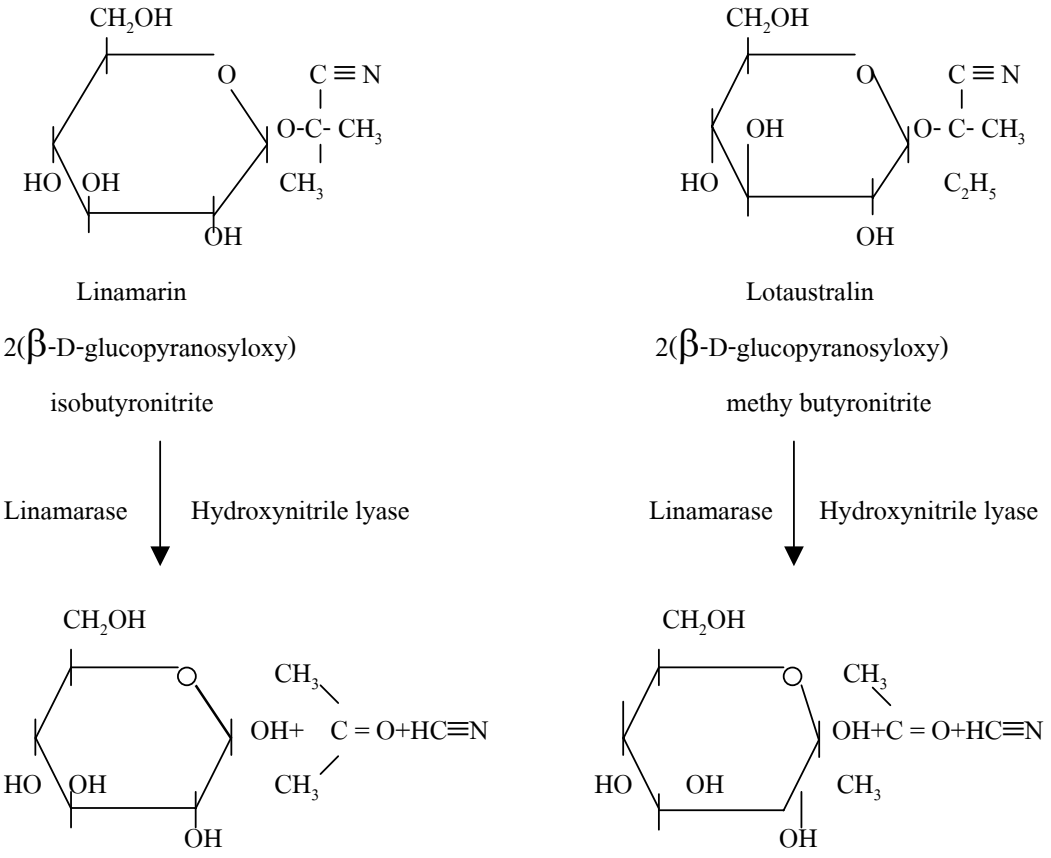
แป้งในมันสำปะหลังมีลักษณะเป็นแป้งอ่อนและมีอะไมโลเพคติน (Amylopectin) เป็นองค์ประกอบมากกว่า 80% คุณสมบัติของแป้งอ่อนจะดูดซับน้ำไว้ในโมเลกุลอย่างรวดเร็วด้วย (Reas ,1996) มีผนังเซลล์ต่ำไม่มีปัญหาเรื่องเยื่อใย หากใช้ในอาหารโคสามารถลดความเครียดเนื่องจากความร้อนได้ เนื่องจากกากมันสำปะหลังมีผนังเซลล์ที่ต่ำ ดังนั้นความร้อนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมักโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักจะมีค่าต่ำไปด้วย (อุทัย และคณะ, 2545) กากมันสำปะหลังจัดว่าเป็นวัตถุดิบประเภทพลังงานเช่นเดียวกับข้าวโพด เพียงแต่กากมันสำปะหลังมีโปรตีนและไขมันอยู่ในระดับต่ำ (Khajarern et al., 1979) ซึ่งจากรายงานของชวนิศนดากร (2500) รายงานว่ากากมันสำปะหลังมีส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรต 81 เปอร์เซ็นต์ สามารถนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ได้สูงถึง 20 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารสุกร พบว่ามีอัตราการเจริญเติบโตที่ดี แต่ถ้าใช้ในสูตรอาหารสูงกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้อัตราการเพิ่มน้ำหนักตัวลดลง ซึ่งสาเหตุอาจเกิดจาก กากมันสำปะหลังนั้นมีลักษณะฟ่าม เมื่อผสมในสูตรอาหารเพิ่มขึ้นอาจทำให้สัตว์กินได้น้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ บรรพต (2504) พบว่าการเสริมกากมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ที่ระดับ 5

เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้น แต่เมื่อเสริมกากมันสำปะหลังที่ระดับ 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตลดลง และจากรายงานของ Losada and Alderete (1977) การใช้กากมันสำปะหลังร่วมกับการใช้ยูเรีย และกากน้ำตาลในอาหารโคเพศผู้ตอน พบว่าปริมาณกากมันสำปะหลัง และ ระดับของยูเรียในอาหารโคไม่มีความสัมพันธ์ต่อกันในส่วนของอัตราการเจริญเติบโตของโคเพศผู้ตอน นอกจากนี้ระดับของกากมันสำปะหลังไม่มีผลต่ออัตรา การกินได้เมื่อมีกากน้ำตาลร่วมด้วย จากรายงานของ Wanapat (2000) พบว่ามันสำปะหลังเป็นแหล่งของพลังงานที่สำคัญสำหรับจุลินทรีย์ที่จะนำไปใช้เป็นแหล่งของพลังงานซึ่งมีคุณสมบัติที่สามารถถูกย่อยสลายได้เร็วในกระเพาะหมักและสามารถใช้ประโยชน์ได้สูงสุดเมื่อใช้ร่วมกับแหล่งโปรตีนที่ถูกย่อยสลายได้เร็วส่งผลให้จุลินทรีย์ได้รับพลังงานและไนโตรเจนเพียงพอที่จะนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์เซลล์ของจุลินทรีย์ต่อไป นอกจากนี้จากการศึกษาของ Matin et al., (1999) พบว่า การเสริมสารอินทรีย์มาเลทร่วมในสูตรอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้างเป็น องค์ประกอบในระดับสูงนั้นสามารถป้องกันความเป็นกรด-ด่าง ภายในกระเพาะหมักไม่ให้ต่ำเกินไปและยังช่วยทำให้กลุ่มจุลินทรีย์สามารถดำรงชีพและสังเคราะห์กรดไขมันระเหยได้เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรดโพรพิออนิค (Propionic) ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อร่างกายสัตว์เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการสร้างผลผลิต

2.1.2 การเกิดสารพิษไฮโดรไซยานิค

มันสำปะหลัง มีสารพิษลักษณะเป็นของเหลวสีขาวคล้ายนมในส่วนต่าง ๆ เช่นในกะเปาะใต้ผิวหรือใต้เปลือก สารพิษพวกนี้เป็นสารพิษจำพวกไซยาโนจินิค กลูโคไซด์ ซึ่งพบอยู่ 2 ชนิด คือ ลินามาริน (Linamarin) หรือ (2β-D-glucopyranosyloxy) Isobutyronitrite และลอโทสตาลิน (Lotaustralin) หรือ Methyl linamarin โดยมีอัตราส่วนของสารพิษทั้งสองนี้เป็นส่วนใหญ่ ลินามารินประมาณ 93 % และลอโทสตาลินประมาณ 7% สารลินามารินจะสังเคราะห์มาจากกรดอะมิโนวาลีน (Valine) และสารลอโทสตาลิน สังเคราะห์มาจากกรดอะมิโนไอโซลูซีน (Isoleucine) ภายในพืช สารพิษนี้จะไม่เป็นอันตรายต่อพืช เพราะจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นในการเจริญเติบโต คือ กรดแอสปาราจีน (Asparagine) กรดแอสปาติค (Aspartic acid) กรดกลูตามิค (Glutamic acid) และกลูตามีน (Glutamine) แต่เมื่อเซลล์ถูกทำลายหรือบดขยี้ สารพิษดังกล่าวจะถูกไฮโดรไลซ์ โดยเอนไซม์ลินามาเรส (Liminarase) หรือ β-glucosidase จะได้สารประกอบดังรูปที่ 2.2

รูปที่ 2.2 ผลการไฮโดรไลซีส ลินามารินและ ลอโทสตาลินได้กรดไฮโดรไซยานิค

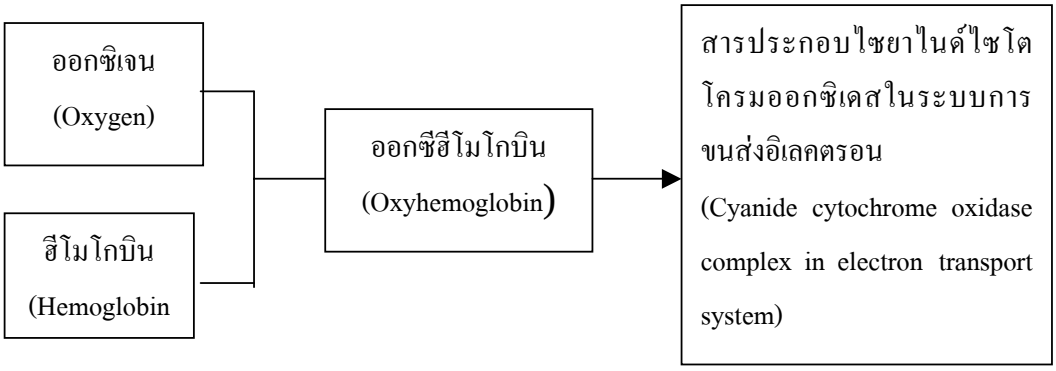


2.1.3 กลไกการออกฤทธิ์ของกรดไฮโดรไซยานิค

เกิดจากน้ำตาลกลูโคไซด์ ลินามาริน ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ลินามาเรส ความเป็นพิษของกรดไฮโดรไซยานิคคือการเพิ่มอัตราการหายใจ การกระตุ้นการเต้นของชีพจร ตอบสนองต่อการกระตุ้นน้อย มีการกระตุกของกล้ามเนื้อ การเกิดการกระตุ้นของกรดไฮโดรไซยานิค โดยสารโลหะ เช่น ทองแดง เหล็ก ตัวไซยาไนด์ (Cyanide) รวมตัวกับฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) เกิดเป็นสารประกอบไซยาโนฮีโมโกบิน (Cyanohemoglobin) ทำให้การขนส่งออกซิเจนต่ำลงในทางกลับกัน กรดไซยาไนด์ (Cyanide) จับกับทองแดง ของไซโตรโครมออกซิเดส (Cytochromoxidase) ทำให้เกิดการยับยั้งของน้ำย่อยที่เกี่ยวข้องกับการออกซิเดชั่น (Oxidation) การขนส่งอิเลคตรอน (Electron transport) ซึ่งเป็นสาเหตุของการชักกระตุกของกล้ามเนื้อ การเกิดความผิดปกติทางเคมีที่เกิดขึ้นจะกดประสาทที่ Medullar center ทำให้ระบบการหายใจบกพร่อง และทำให้ตายได้ ซึ่งทำให้

ขบวนการการหายใจของเซลล์ที่ถูกขัดขวางทำให้เกิดภาวะขาดออกซิเจนและปรากฏการณ์นี้ เรียกว่า เซลลูลาร์ไฮพ็อกเซีย (Cellular hypoxia) หรือ ไซโตทอกซิคแอน็อกเซีย (Cytotoxic anoxia) ซึ่งไม่สามารถส่งออกซิเจนให้กับขบวนการขนส่งอิเลคตรอน เป็นผลเนื่องจากการเกิดของสารประกอบไซยาไนด์ไซโตรออกซิเดส ดังรูปที่ 2.3

รูปที่ 2.3 แสดงขบวนการขัดขวางการหายใจของเซลล์จากสารพิษไซยาไนด์



2.1.4 วิธีการลดปริมาณของกรดไฮโดรไซยานิค

การแปรรูปมันสำปะหลังโดยการฝานหัวมันให้เป็นชิ้นเล็กๆ แล้วผึ่งแดด อบ คั่ว ต้ม แช่น้ำ หรือหมัก สามารถลดปริมาณของ HCN ลงได้ ในจำนวนวิธีการแปรรูปเหล่านี้การฝานมันให้เป็นแผ่นแล้วผึ่งแดดให้แห้ง เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพที่สุด เพราะอุณหภูมิของแสงแดด (ต่ำกว่า 70 ºC) จะไม่ทำลายเอ็นไซม์เหมือนกับการอบ หรือ ต้มที่อุณหภูมิสูงเอ็นไซม์จึงสามารถทำปฏิกิริยากับไกลโคไซด์ได้นานกว่า และปลดปล่อย HCN ออกมาได้มากกว่าการอบหรือต้ม การตากมันสำปะหลังฝานบนลานตากให้ค่อยๆ แห้งอย่างช้าๆ จะช่วยปลดปล่อย HCN ออกไปได้มากกว่าทำให้มี HCN ในมันสำปะหลังแห้งต่ำกว่าการตากให้แห้งเร็ว (สาโรช, 2542) อย่างไรก็ตามมันสำปะหลังที่แห้งช้าจะมีสีดำคล้ำของสารประกอบ phenols ที่เกิดจากการสลายตัวของแทนนิน ทำให้มันเส้นมีรสชาติไม่ชวนกิน และอาจลดอัตราการย่อยโภชนะในมันสำปะหลังลง นอกจากนั้นการอัดเม็ดมันสำปะหลังหรือการเก็บมันสำปะหลังไว้ในโกดังหลังจากแห้งแล้วเป็นเวลา 3-4 สัปดาห์ จะช่วยลดปริมาณ HCN ลงได้อีกกว่าเท่าตัว ระดับ HCN (Bound) ในมันสำปะหลังไทยเฉลี่ย 30 มก./กก.มันเส้น และ 14 มก./กก.ในมันเม็ด ขณะที่ขีดสูงสุดของ HCN ในมันสำปะหลังที่จะนำเข้ากลุ่มประเทศยุโรป ได้อยู่ที่ 100 มก./กก. HCN ในมันสำปะหลังนอกจากจะถูกลดโดยการแปรรูปแล้ว ร่างกายสัตว์ยังสามารถขจัดพิษได้โดยที่เอ็นไซม์โรนาเดส (Rhodanese) ในเนื้อเยื่อต่างๆ โดยเฉพาะในตับ ซึ่งจะเข้าทำปฏิกิริยาเคลื่อนย้ายกำมะถันจากไธโอซัลเฟต ($S_2O_3^{=}$) ไปให้ HCN

ภายใต้สภาพ Aerobic condition เปลี่ยน HCN เป็นไธโอไซยาเนท (Thiocyanate) แล้วจึงขับออกจากร่างกายทางปัสสาวะ ดังปฏิกิริยา

$$HCN + Na_2S_2O_3 \xrightarrow{\text{Rhodanese}} HSCN + Na_2SO_3$$

(คือ Sulfurtransferase)

กรดอะมิโนเมทไธโอนีน (Methionine) ในอาหารช่วยส่งเสริมปฏิกิริยาการขจัดพิษนี้ โดยทำหน้าที่เป็นแหล่ง SH ที่ส่งให้ $S_2O_3^{=}$ อย่างต่อเนื่อง นอกจากนั้นไวตามินบี 12 (Hydroxocobalamin) ก็สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับ CN^- เปลี่ยนไปเป็น Cyanocobalanin ซึ่งเป็นอีก รูปหนึ่งของไวตามินบี 12 ที่ใช้งาน จึงเป็นการช่วยขจัดพิษของ HCN อีกทางหนึ่ง ดังนั้นอาหารสูตรมันสำปะหลังจึงควรต้องเสริมเมทไธโอนีนและ B_{12} เพิ่มเติม เพื่อช่วยให้สัตว์ขจัดพิษ HCN ได้ดีขึ้น

2.1.5 ระดับของกรดไฮโดรไซยานิคในผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง

มันสำปะหลังที่ผ่านกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง จะผ่านกรรมวิธีการต้มให้เดือดที่อุณหภูมิสูงสามารถทำให้ลดปริมาณของกรดไฮโดรไซยานิคที่อยู่ในมันสำปะหลังได้ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ (Cooke and Maduagwu, 1978) นอกจากนี้การทำให้แห้งในกระบวนการขจัดน้ำออก (Dehydration) โดยใช้แสงแดด (Sola radiation) พบว่าสามารถลดปริมาณของกรดไฮโดรไซยานิคในมันสำปะหลังได้ถึง 86 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้พันธะของ Cyanide ซึ่งผลิตกรดไฮโดรไซยานิคนั้นสามารถระเหยออกไปเมื่อได้รับความร้อนที่ 28 ^{O}C (Gomaz et al., 1984) และจากการศึกษาของ Chinh et al., (1992) พบว่าไม่สามารถตรวจพบปริมาณของกรดไฮโดรไซยานิคในกากมันสำปะหลัง

ตารางที่ 2.2 แสดงปริมาณ HCN ในผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง (Tewe and Lyayi, 1989)

Cassava/Product	Hydrocyanic acid content (ppm)
Fresh whole root	88.3-416.3
Fresh pulp	34.3-301.3
Fresh peel	364.2-814.7
Sundried whole root	23.1-41.3
Sundried pulp	17.3-26.7
Sundried peel	264.3-321.5
Oven-dried whole root	51.7-63.7
Oven-dried pulp	23.7-31.3
Oven-dried peel	666.8-1250.0
Dried cassava root meal*	-
Leaf silage*	14.6
Leaf meal*	18.7

หมายเหตุ : * Nhi et al., (2001)

ตารางที่2.3 ระดับความเป็นพิษโดยทั่วๆ ไปของ HCN (Sandage and Davis, 1964)

ppm HCN (dry matter basis)	Interpretation
0-250	ความเป็นพิษอยู่ในระดับต่ำมาก
250-500	ความเป็นพิษอยู่ในระดับต่ำ
500-750	ความเป็นพิษอยู่ในระดับกลาง การแสดงอาการของสัตว์ยังไม่เป็นที่แน่ชัด
750-1000	ระดับความเป็นพิษสูง เป็นอันตรายต่อตัวสัตว์
>1000	ระดับความเป็นพิษสูงมาก เป็นอันตรายอย่างมากต่อตัวสัตว์

จากตารางที่ 2.2 และ 2.3 พบว่าปริมาณของกรดไฮโดรไซยานิคที่มีอยู่ในมันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์จะลดลงเมื่อผ่านกระบวนการที่ได้รับความร้อน นอกจากนี้จากการศึกษาของปริมาณของ Nhi et al., (2001) ไม่พบปริมาณของกรดไฮโดรไซยานิคที่มีอยู่ในกากมันสำปะหลัง

2.1.6 ผลกระทบต่อสุขภาพสัตว์

แป้งในมันสำปะหลังมีคุณสมบัติเป็นแป้งที่สามารถย่อยได้เร็วในกระเพาะหมัก (Rumen) (Ravelo et al., 1978) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Silvestre et al., (1997) พบว่าเมื่อทำการเสริมกากมันสำปะหลังในอาหารโคปริมาณ 1 กิโลกรัม/วัน ร่วมกับกากน้ำตาลจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการเจริญเติบโตลดลง ซึ่งสาเหตุอาจเกิดจากปริมาณแป้งในกากมันสำปะหลังมีคุณสมบัติย่อยสลายได้เร็วทำให้ส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของสัตว์

กากมันสำปะหลังยังคงมีปริมาณแป้งอยู่สูงประมาณ 64.6 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง (สมเจต, 2530) ซึ่งพบว่าการที่โคนมได้รับอาหารประเภทแป้ง และ น้ำตาลในปริมาณที่มากเกินความต้องการ จะส่งผลต่อสุขภาพของโคนม ส่งผลให้โคนมเกิดโรค Rumen acidosis (Hutjens, 1996)

โรค Rumen acidosis จะแสดงลักษณะอาการของโรค แบ่งเป็น 2 ลักษณะด้วยกัน คือ Acute acidosis และ Subacute acidosis หรือ Chronic acidosis โดย Acute acidosis จะมีการแสดงอาการอย่างรุนแรงและเฉียบพลัน ซึ่งจะส่งผลทำให้อัตราการเต้นของหัวใจต่ำ เกิดอาการท้องร่วงอย่างรุนแรง และอาจจะทำให้โคนมตายได้ในทันที ในส่วนของ Subacute rumen acidosis นั้นจะแสดงอาการแบบค่อยเป็นค่อยไป (Hutjens, 1996) นอกจากนั้นยังส่งผลทำให้เกิดโรคอื่น ๆ ตามมาอีกด้วย เช่น โรคท้องอืด (Bloat) และโรคกีบเน่า (Laminitis) (Twehues and Amaral, 2000) การแบ่งลักษณะอาการของโรค Rumen acidosis สามารถแบ่งโดยใช้ระดับของค่า pH ภายในกระเพาะหมักเป็นเกณฑ์ ซึ่งจะแสดงให้เห็นดังตารางที่ 2.4

จากตารางที่ 2.4 จะเห็นได้ การแบ่งลักษณะอาการของโรค Rumen acidosis สามารถแบ่งได้ตามระดับของค่า pH ที่วัดภายในกระเพาะหมัก จากแหล่งข้อมูลจะเห็นได้ว่า ระดับของค่า pH ที่ต่ำกว่า 5.0 นั้นจะแสดงอาการ Acute acidosis และระดับของค่า pH ที่อยู่ระหว่าง 5.0 – 5.8 นั้นจะแสดงอาการ Subacute acidosis เมื่อระดับของค่า pH ภายในกระเพาะหมักลดลงก็จะส่งผลต่ออัตราการผลิต Volatile Fatty Acid (VFA_S) ซึ่ง VFA_S เป็นผลผลิตจากการย่อยของจุลินทรีย์ภายในกระเพาะหมัก (Rumen) เพื่อที่จะนำไปใช้เป็นแหล่งของพลังงานสำหรับโคนม เพื่อใช้ในการดำรงชีวิต (Maintenance) และการให้ผลผลิตน้ำนม (Milk Production) (Hutjens,1996) โดยที่ VFA_S จะประกอบไปด้วย Acetate, Propionate และ Butyrate ซึ่งจะเป็นผลผลิตที่จะนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานของร่างกาย เมื่อระดับของค่า pH ลดลง ก็จะส่งผลต่อปริมาณของ Acetate และ Propionate ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.4 แสดงถึงการแบ่งลักษณะอาการของโรค Rumen acidosis โดยใช้ระดับของค่า pH เป็นเกณฑ์

แหล่งข้อมูล	**ลักษณะอาการของโรค Rumen acidosis**	**ระดับค่า pH ของกระเพาะหมัก**
Hibbard et al., (1995)	Acute	< 5.0
	Subacute	5.0 – 5.5
Nocek (1997)	Acute	<5.0
	Subacute	5.0 – 5.5
Beauchemin (2000)	Acute	<5.0
	Subacute	5.0 – 5.8
Stone (2000)	Acute	<5.0
	Subacute	5.0 – 5.8

ตารางที่ 2.5 แสดงถึงอัตราการผลิต VFA_s เมื่อระดับของค่า pH ภายในกระเพาะหมัก ลดต่ำกว่า 5.9

แหล่งข้อมูล	**ระดับของค่า pH ใน rumen**	**VFA_s**		**Acetate/Propionate**
		Acetate	Propionate	
Seal and Parker (1994)	5.9-6.2	68.9 ± 0.54^a	25 ± 0.85^b	2.76
	<5.9	43.5 ± 0.24^a	53.6 ± 0.47^a	0.81
Hurley (1998)	5.9-6.2	69^a	21^b	3.28
	<5.9	45^a	46^a	0.97
Garrett et al., (1999)	5.9-6.2	89.9 ± 0.36^a	38.1 ± 0.24^b	2.36
	<5.9	54.6 ± 0.35^a	62.8 ± 0.39^a	0.87
The Pennsylvania State	5.9-6.2	59.8^a	25.9^b	2.31
University (2001)	<5.9	53.6^a	30.6^b	1.75

^{a,b} แตกต่างทางสถิติในระดับ $P<0.05$

จากตารางที่ 2.5 จะเห็นได้ว่า เมื่อระดับของค่า pH ภายในกระเพาะหมักลดลง หรือ โคนมเกิดโรค Rumen acidosis จะส่งผลทำให้ปริมาณการผลิตของ Acetate และ Propionate แตกต่างออกไปจากระดับของค่า pH ภายในกระเพาะหมักที่ปกติ ผลผลิตของ Acetate และ Propionate

ในการทำงานโดยปกติจะต้องมีอัตราส่วนระหว่าง Acetate : Propionate ในอัตราส่วนที่จะมากกว่า 2.2 : 1 (Hutjens,1996) จะเห็นได้ว่าในกลุ่มของโคที่มีระดับของ pH ภายในกระเพาะหมักต่ำกว่า 5.9 จะมีอัตราส่วนระหว่าง Acetate : Propionate ในอัตราส่วนที่ต่ำกว่า 2.2 : 1 ซึ่งหากปริมาณของ Acetate มาก ก็จะแสดงว่า โคนมได้รับอาหารประเภทเยื่อใยในปริมาณมาก จะไม่แสดงอาการของโรค Rumen acidosis แต่ถ้าหากปริมาณของ Propionate มาก แสดงว่า โคนมได้รับอาหารประเภทแป้งและน้ำตาลในปริมาณมาก ดังนั้นกลุ่มของโคที่มีระดับของ pH ภายในกระเพาะหมักต่ำกว่า 5.9 แสดงให้เห็นว่าโคนมได้รับอาหารประเภทแป้งและน้ำตาลในปริมาณที่มากเกินความต้องการ จึงแสดงอาการของโรค Rumen acidosis

โรค Rumen acidosis จะส่งผลต่อคุณภาพผลผลิตน้ำนมของโค เมื่อโคนมเกิดโรค จะส่งผลต่อคุณภาพผลผลิตของน้ำนมประมาณ 40 – 150 วันหรือนานกว่านั้น (Hutjens, 1996) โดยจะส่งผลต่อปริมาณไขมันในน้ำนม และปริมาณโปรตีนในน้ำนม ซึ่งจะแสดงให้เห็นดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 แสดงให้เห็นถึงการเกิดโรค Rumen acidosis ที่มีผลต่อส่วนประกอบในน้ำนมของโค

แหล่งข้อมูล	**Rumen acidosis**	**ส่วนประกอบในน้ำนม (%)**	
		ไขมัน	โปรตีน
Hutjens (1996)	ปกติ	3.6 ± 0.24^{a}	3.2 ± 0.69^{a}
	เกิดโรค	2.6 ± 0.35^{b}	2.7 ± 0.75^{b}
Nocek (1997)	ปกติ	3.5^{a}	3.28^{a}
	เกิดโรค	2.6^{b}	2.90^{b}
Stone (2000)	ปกติ	3.7 ± 0.26^{a}	3.15 ± 0.19^{a}
	เกิดโรค	2.7 ± 0.85^{b}	2.9 ± 0.27^{b}

^{a,b} แตกต่างทางสถิติในระดับ $P<0.05$

จากตารางจะเห็นได้ว่า เมื่อเกิดโรค Rumen acidosis นั้นจะส่งผลต่อคุณภาพของน้ำนม โดยจะมีผลทำให้ปริมาณไขมันและโปรตีนในน้ำนมเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากการผลิต Acetate ลดลง ซึ่ง Acetate เป็นส่วนสำคัญในการผลิตไขมันในการสร้างไขมันในน้ำนม และการเกิด Rumen acidosis นั้นมีผลทำให้ pH ในกระเพาะหมักลดลงมีผลทำให้ Microorganism ลดลง ซึ่ง Microorganism เหล่านี้เป็นแหล่งของโปรตีนหลักสำหรับสัตว์ ซึ่งในสัตว์จำพวก Ruminant จะอาศัย Microbial protein เหล่านี้เป็นแล่งของโปรตีนที่สำคัญในร่างกาย จากข้อมูลจะเห็นได้ว่า ในกลุ่มของโคปกติและโคที่เป็นโรค Rumen acidosis จะมีส่วนประกอบของน้ำนมทั้งปริมาณของโปรตีนและไขมันในน้ำนม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งพบว่าเมื่อโคนมเกิดโรค Rumen acidosis จะทำให้

ปริมาณของโปรตีนและไขมันในน้ำนมลดต่ำลงมาก ซึ่งจะทำให้ผลตอบแทนที่ได้จากการขายน้ำนมลดลง เนื่องจากราคาน้ำนมจะถูกกำหนดโดยปริมาณไขมันในน้ำนม

2.2 การย่อยและการดูดซึมอาหารพวกคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนในกระเพาะหมัก

ในการเลี้ยงโคนมเพื่อให้ผลผลิตน้ำนมนั้น โคนมต้องได้รับโภชนะครบตามความต้องการ ซึ่งการให้อาหารโคนมนั้นผู้เลี้ยงหรือผู้เกี่ยวข้องควรเข้าใจว่าเป็นการให้อาหารทั้งแก่ตัวโคเอง และจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักเพื่อทำการหมักอาหารเพื่อให้ได้ผลผลิตสุดท้ายที่เป็นประโยชน์ในกระบวนการผลิตน้ำนมทั้งปริมาณและคุณภาพต่อไป

ระบบการย่อยอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง มีความแตกต่างกันกับสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้องโดยเฉพาะในส่วนความสามารถในการย่อยได้ของอาหารเยื่อใยที่สัตว์ไม่สามารถย่อยได้โดยอาศัยเอนไซม์ในตัวสัตว์เอง ดังนั้น การย่อยอาหารเยื่อใยจึงมีความจำเป็นต้องอาศัยเอนไซม์จากจุลินทรีย์ ที่อาศัยอยู่ในกระเพาะหมักนั่นเอง ได้แก่ แบคทีเรีย โปรโตซัว และ เชื้อรา

ขบวนการย่อยอาหารของโคนมเริ่มขึ้นตั้งแต่อาหารสู่ปาก ซึ่งเป็นการย่อยด้านกายภาพโดยการบดเคี้ยว ทำให้อาหารมีขนาดเล็กลง อาหารมักจะถูกกินเข้าไปอย่างรวดเร็ว และปราศจากการเคี้ยวอย่างละเอียดจะถูกผสมคลุกเคล้าเข้ากันกับน้ำลายในปาก เพื่อให้ลื่นพร้อมที่จะกลืนเข้าสู่กระเพาะหมักและเรติคิวลั่มในรูปของก้อนอาหาร (Bolus) (ในน้ำลายของโคมี pH 8.1-8.3 ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นด่าง และมีส่วนสำคัญในการทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก นอกจากนั้นประกอบไปด้วย อนินทรีย์สารและยูเรีย ที่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของยูเรียในเลือด) และกระบวนการย่อยอาหารที่เกิดขึ้นในส่วนนี้เรียกว่า กระบวนการหมัก โดยกระเพาะหมักเป็นส่วนที่ใหญ่ที่สุดทำหน้าที่เหมือนถังหมัก ภายในบรรจุอาหารที่คลุกเคล้ากับน้ำลายและมีขบวนการหมัก (Fermentation) โดยจุลินทรีย์ ทั้งนี้เนื่องจากกระเพาะหมักไม่สามารถผลิตน้ำย่อยได้เอง ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของอาหารหรือการย่อยอาหารเกิดขึ้นโดยเอนไซม์ที่ผลิตโดยจุลินทรีย์

2.2.1 การย่อยและการดูดซึมคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะหมัก

พลังงาน 50-60% ของพลังงานทั้งหมดที่โคใช้ประโยชน์มาจากอาหารพวกคาร์โบไฮเดรต เช่น หญ้า และ ถั่ว จะมีคาร์โบไฮเดรตอยู่ในรูปของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และ ฟรุคโตเซน ในเมล็ดธัญพืชจะอยู่ในรูปแป้ง พืชหัวอยู่ในรูปซูโครส ซึ่งคาร์โบไฮเดรต (CHO) เป็นแหล่งพลังงานเบื้องต้นของจุลินทรีย์ (Microorganism) ในสัตว์เคี้ยวเอื้องที่เป็น Host พลังงานจากคาร์โบไฮเดรตถูกสัตว์นำมาใช้โดยอาศัยกระบวนการหมักย่อยโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะกรดไขมันระเหยง่ายและจัดเป็น Metabolic substance ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานเบื้องต้นด้วยเนื่องจากคาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่จะถูกหมักที่กระเพาะหมัก ส่วนที่จะหลุดรอดไปได้จะเป็นพวกน้ำตาล (วิศิษฐิพร, 2542)

กระบวนการย่อยคาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่เกิดที่ Fore stomach และเกิดต่อเนื่องกันตลอดกระบวนการหมัก ทำให้ไม่มีการย่อยคาร์โบไฮเดรตหลงเหลือไปสู่ลำไส้เล็ก เป็นผลให้ได้รับกลูโคสไม่เพียงพอต่อความต้องการจากกระบวนการย่อยคาร์โบไฮเดรตจึงทำให้สัตว์เคี้ยวเอื้องได้รับน้ำตาลกลูโคสจากกระบวนการ Gluconeogenesis ซึ่งมีสารตั้งต้นที่สำคัญคือ Propionate โดย Propionate จะถูกสังเคราะห์เป็น Succinate แล้วเข้าสู่ Krebs cycle ได้เป็น Oxaloacetate ซึ่งจะสังเคราะห์เป็นกลูโคส สำหรับ VFAs ตัวอื่นๆ เช่น Acetate และ Butyrate สามารถเข้าสู่ Krebs cycle แต่เป็น Long chain fatty acid คือ จะเข้าสู่ Cycle ในรูปของ Acetyl CoA ไม่สามารถเปลี่ยนเป็น Oxaloacetate หรือกลูโคสได้ นอกจาก Propionate แล้วก็มีกรดอะมิโน ซึ่งได้จากการดูดซึมที่ลำไส้ที่เป็น Substrate ของการสร้างกลูโคสด้วยกระบวนการ Gluconeogenesis ซึ่ง Propionate เกือบทั้งหมดถูกนำไปสร้างเป็นกลูโคสที่ตับ ส่วนการสร้าง Fatty acid ของสัตว์เคี้ยวเอื้องจะเกิดที่ Adipose tissue เท่านั้น และจะใช้ Acetate (ไม่ใช้กลูโคส) ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่มีมากที่สุดในสัตว์เคี้ยวเอื้องมาเป็น Substrate กลูโคสจะถูกนำมาใช้เพียงกรณีเดียว คือ สร้างกลีเซอรอลเพื่อใช้ในการสร้างไตรกลีเซอไรด์ ในสัตว์ที่กำลังให้นม Fatty acid ที่จะเป็น Fat ในน้ำนมจะถูกสร้างมาจาก Acetate หรือ Ketone bodies โดยไม่ใช้กลูโคส (ประภาพร, 2538)

อาหารคาร์โบไฮเดรตเมื่อเข้าสู่กระเพาะหมัก (Rumen) จะถูกย่อยโดย Hydrolytic enzyme ของจุลินทรีย์ ผลที่ได้คือ กลูโคสโมโนแซคคาไรด์ต่างๆ ตลอดจน Short chain polysaccharide ซึ่งจะถูกปล่อยออกมาสู่ของเหลวรอบๆเซลล์ของแบคทีเรีย ผลผลิตที่เกิดขึ้นนี้จะถูกเมตาบอลิซึมต่อไปโดยจุลินทรีย์โดยสัตว์ที่เป็น Host ไม่สามารถนำไปใช้กลูโคสและน้ำตาลต่างๆ จะถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์จุลินทรีย์แล้วเข้าสู่ Glycolytic pathway (Embden Meyerhof pathway) โดยกลูโคสจะเป็น Key product ของกระบวนการเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตเป็น VFAs โมเลกุลของกลูโคส จะถูกเปลี่ยนเป็น 2 โมเลกุลของ pyruvic acid (3 คาร์บอน) โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักและจาก Pyruvic acid จะสามารถเปลี่ยนปึน VFAs คือ Acetic acid , Propionic acid และ Butyric acid เป็นผลผลิตสุดท้ายของกระบวนการย่อยคาร์โบไฮเดรตโดย Fermentative digestion โดยปกติ Acetic acid นอกจากเป็นผลผลิตหลักของ CHO fermentation จึงมีความสำคัญมากใน Ruminant nutrition เพราะเป็น Major energy source โดยเฉพาะในสัตว์ที่ให้นม Acetate เป็นสาร สำคัญในการสร้างไขมันน้ำนม หากมีการรบกวนกระบวนการสร้าง Acetate จะมีผลในการสร้างไขมันในน้ำนมลดต่ำลง อย่างไรก็ตามทั้ง CO_2 และ Methane (CH_4) ที่ได้จากกระบวนการสร้าง Acetic acid และ Butyric acid นั้นจะเป็นการสูญเสียพลังงาน เพราะไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ในขณะที่การสร้าง Propionic acid โดยไม่มีการสูญเสียพลังงาน ดังนั้นกระบวนการสร้าง Propionic acid จึงเป็นกระบวนการสร้างพลังงานที่มีประสิทธิภาพมากกว่ากระบวนการสร้าง Acetic หรือ Butyric acid การสร้าง VFAs

เหล่านี้ใน Ruminal fluid โดยปกติจะเป็น Acetic:Propionic:Butyric = 70:20:10 เมื่อให้ High starch diet จะมีค่าปริมาณ Acetic acid สูงกว่า (แม้มีสัดส่วนของ Acetic acid ต่ำกว่า) VFAs จะถูกดูดซึมเข้าสู่ Portal blood โดยผ่านผนังกระเพาะหมัก (ประมาณร้อยละ 76) บางส่วนดูดซึมที่ Abomasum และ Omasum (ร้อยละ 76) และมีจำนวนน้อยผ่านไปสู่ลำไส้เล็ก (ร้อยละ 5) (ประภาพร, 2538) กระบวนการย่อยและเมตาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตพอสรุปได้ดังนี้

$$\text{Hexose} \longrightarrow 2\ \text{Pyruvate} + 4[H] + 2ATP$$

$$2\ \text{Pyruvate} + 2H_2O \longrightarrow 2\ \text{Acetate} + 2CO_2 + 2H_2 + 2ATP$$

$$2\ \text{Pyruvate} + 8[H] \longrightarrow 2\ \text{Propionate} + 2H_2O + 2ATP$$

$$2\ \text{Pyruvate} + 4[H] \longrightarrow \text{Butyrate} + 2CO_2 + 2H_2 + 2ATP$$

$$CO_2 + 4H_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O + ATP$$

การดูดซึมกรดไขมันระเหยได้ (VFAs) ส่วนใหญ่จะถูกดูดซึมที่ Rumen โดย Rumen epithelial จะ Form papillae เพื่อเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวเพื่อการดูดซึม ในกลไกการดูดซึม VFAs นี้ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) จะมีอิทธิพลสำคัญต่อกระบวนการดูดซึมเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของ pH จะมีผลให้ VFAs เปลี่ยน Form ไปมาระหว่าง Ionic form กับ Free-acid form เมื่อมี Na-H exchange ของ Epithelium cell มีผลลด pH ที่บริเวณ Absorptive surface หรือมี CO_2 ซึ่งเกิดจากกระบวนการหมัก จะมีผลให้ VFAs free-acid form จึงทำให้ VFAs ถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์โดยอาศัย Concentration gradient ระหว่าง Lumen กับเซลล์ โดย VFAs พวก Acetate จะถูก Oxidized ภายในเซลล์และส่วนที่เหลือจะถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดในรูป Acetate ส่วนพวก Propionate ส่วนมากจะถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด มีส่วนน้อยจะถูกเปลี่ยนเป็น Lactate ภายในเซลล์ และพวก Butyrate จะถูกเปลี่ยนเป็น Beta-hydroxybutyrate และถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด (ประภาพร, 2538)

2.2.2 การย่อยและการดูดซึมอาหารโปรตีน

จุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก โดยเฉพาะแบคทีเรียจะทำหน้าที่ผลิตเอนไซม์เข้าย่อยสลายโปรตีน กิจกรรมของจุลินทรีย์นั้นจะแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและลักษณะของอาหาร ระดับความเป็นกรดด่าง (pH) ภายในกระเพาะหมัก ระดับของแอมโมเนียในกระเพาะหมัก ถ้าต่ำจะทำให้การย่อยสลายของโปรตีนสูงขึ้น ส่วน pH ที่เหมาะสมต่อการเข้าย่อยสายโปรตีนจะอยู่ระหว่าง 6-7 แต่ pH ไม่มีผลทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ในการย่อยโปรตีนต่างกัน (Ørskov, 1980) โปรตีนจะถูกไฮโดรไลซ์ได้เปปไทด์ และกรดอะมิโน ต่อจากนั้นจะมีการผลิตแอมโมเนีย และกรดอินทรีย์โดยกระบวนการ Deamination จุลินทรีย์จะจับแอมโมเนีย เปปไทด์ (Peptide) สายสั้นๆ และกรดอะมิโนอิสระไปสร้างเป็นโปรตีนของตัวมันเอง (Microbial protein) ประมาณร้อยละ 80 ของโปรตีนของจุลินทรีย์ถูกสังเคราะห์โดยแอมโมเนียอีกร้อยละ 20 ใช้กรดอะมิโนโดยตรง

ประมาณร้อยละ 60-65 ของไนโตรเจนในอาหารจะถูกย่อยในกระเพาะหมัก ปริมาณของไนโตรเจนที่ถูกย่อยร้อยละ 29 จะถูกใช้ประโยชน์ในรูปของกรดอะมิโน และร้อยละ 71 จะถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะธรรมชาติของชนิดโปรตีนแต่ละชนิดการย่อยสลายโปรตีนในกระเพาะหมักจะเพิ่มการผลิตกรดไขมัน และการย่อยสลายกรดอะมิโนพวก Aspartic, Glutamic, Serine, Arginine, Cysteine และ Cystine จะทำให้ได้ผลผลิต คือ CO_2, NH_4 และ VFAs ซึ่ง VFAs เหล่านี้อาจถูกดูดซึมผ่านผนังของกระเพาะหมัก หรือ ถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์กรดอะมิโนในรูปของ Carbon skeletons ระดับของโปรตีนในอาหารและความสามารถในการละลายได้จะมีอิทธิพลต่อการผลิตแอมโมเนียมาก แอมโมเนียที่ไม่ถูกนำไปสังเคราะห์เป็นโปรตีนของจุลินทรีย์จะถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะหมักหรือผ่านผนังของระบบทางเดินอาหารส่วนล่าง โดยการขนถ่ายผ่านเส้นเลือด Portal vein ไปยังตับ ส่วนกรดอะมิโนนั้นจะถูกดูดซึมในกระเพาะหมักน้อยมาก โปรตีนที่ผ่านมายังกระเพาะจริงและลำไส้เล็ก จะมาจาก 3 แหล่ง คือ โปรตีนในอาหารที่ผ่านออกจากกระเพาะหมัก (By-pass protein) โปรตีนของจุลินทรีย์และโปรตีนที่ได้จากระบบภายในของสัตว์ (เนื้อเยื่อที่หมดอายุหรือน้ำย่อยต่างๆ) โปรตีนเหล่านี้จะถูกย่อยโดยน้ำย่อยจากกระเพาะจริง ตับอ่อน และลำไส้เล็กให้มีอนุภาคเล็กลงเป็นพวกกรดอะมิโนแล้วร่างกายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

2.2.3 สัดส่วนอาหารโปรตีน (ไนโตรเจน) และพลังงาน

การใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนที่ย่อยได้จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณของพลังงาน ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตและการแบ่งตัวเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ โดยจะต้องให้สัดส่วนของไนโตรเจนต่อพลังงานพอเหมาะ (8.38 gRDP/MJME; ARC 1980; 1984) จะทำให้จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักมีประสิทธิภาพการทำงานสูงสุด เซลล์ของจุลินทรีย์จะได้รับพลังงานจาก VFAs โดยการหมักกลูโคสและได้รับไนโตรเจนจากแอมโมเนีย สำหรับการสร้างโปรตีน การแบ่งตัวและการเจริญเติบโตของเซลล์ ถ้าสัตว์ได้รับพลังงานและโปรตีนในระดับต่ำจะทำให้ผลผลิตน้ำนมลดลง และถ้าให้โคได้รับอาหารที่มีพลังงานในระดับสูงแต่มีโปรตีนในระดับต่ำก็จะทำให้การย่อยได้ของไนโตรเจนลดลงหรือถ้าได้รับโปรตีนมากกว่าพลังงานก็จะทำให้อัตราการสร้างโปรตีน การแบ่งตัว และ การเจริญเติบโตของเซลล์ลดลงเหมือนกันในอาหารที่มีระดับพลังงานคงที่ โปรตีนระดับต่างๆ ปริมาณไนโตรเจนที่กินได้จะมี ผลกระทบต่อเมตาบอลิซึมของพลังงาน เมื่อปริมาณไนโตรเจนในอาหารต่ำ ปริมาณอาหารที่กินได้จะถูกจำกัด เพราะกิจกรรมของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักลดลง มีผลทำให้อัตราความเร็วในการ ย่อยสลายของอาหารในกระเพาะหมักลดลง และถ้าสัตว์ได้รับปริมาณโปรตีนเกินกว่าระดับที่เหมาะสมแล้ว มีผลทำให้ความสมดุลของพลังงานลดลง ซึ่งประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์สุทธิของพลังงานจะลดลง การลดลงของโปรตีนย่อยสลายได้ง่ายในอาหารจะมีผลทำให้การย่อยสลายของวัตถุแห้ง เฮมิเซลลูโลส และแป้งในกระเพาะหมักลดลง

2.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกินได้ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง

(Factors affecting the intake of ruminants)

ในการประกอบสูตรอาหาร ถึงแม้ว่าจะมีองค์ประกอบทางเคมีดีเท่าใดก็ตาม ถ้าสัตว์ไม่ชอบหรือไม่กินอาหาร อาหารชนิดนั้นก็ไม่มีประโยชน์ ดังนั้นการกินได้ของสัตว์จึงมีความสำคัญอย่างมาก การกินอาหารได้อย่างอิสระ (Voluntary food intake: VFI) ของสัตว์เคี้ยวเอื้องสำหรับการเลี้ยงดูภายในคอกกัก (Indoor feeding) จะถูกควบคุมโดยปัจจัยหลักๆ 2 ประการดังนี้

2.3.1 Metabolic factor

เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความต้องการโภชนะของสัตว์ และความสามารถของสัตว์ที่จะดูดซึมและนำไปในการประโยชน์จากโภชนะ สัตว์จะพยายามที่จะปรับให้ความสมดุลของพลังงานภายในร่างกายมีความสอดคล้องกับสภาพแวดล้อม สัตว์พยายามที่จะรักษาความสมดุลของพลังงานภายในร่างกายโดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณการกินอาหารในรูปพลังงาน ซึ่งเป็นสัดส่วนกับความต้องการพลังงานของสัตว์เอง รวมถึงสัตว์จะพยายามปรับปริมาณการกินอาหารให้เข้ากับสภาพทางสรีรวิทยาของสัตว์ในระยะนั้นๆ เช่น อายุ ขนาด น้ำหนัก การตั้งท้อง การให้ผลผลิตของสัตว์ และพยายามปรับให้เข้ากับสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิของอากาศ

2.3.1. 1. ปัจจัยทางเคมี (Chemostatic factor)

1. กรดไขมันที่ระเหยได้

Volatile fatty acid (VFAs) โดยที่ VFA บางตัวจะมีผลควบคุมการกินอาหาร โดยทั่วไปเมื่อสัตว์กินอาหารเข้าไปแล้ว ความเข้มข้นของ VFA จะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารสัตว์ที่กิน ส่วนใหญ่ End product ในการย่อยพลังงานของสัตว์เคี้ยวเอื้องคือ VFAs และ VFAs ตัวที่มีบทบาทสำคัญได้แก่ Propionate และ Acetate ถ้าอาหารที่กินถูกย่อยได้ VFAs ทั้ง 2 ตัวนี้มาก จะทำให้สัตว์หยุดกินอาหาร

2. สภาพความเป็นกรดเป็นด่างในกระเพาะ Reticulo-rumen

มีส่วนในการส่งสัญญาณ การควบคุมการกินอาหารเช่นเดียวกับ VFAs ถ้า pH ภายใน Reticulo-rumen ลดลงมีส่วนทำให้สัตว์หยุดกินอาหาร แต่ระดับ pH ในกระเพาะจะเป็นตัวกำหนดการกินอาหารเฉพาะในระยะสั้นๆ เท่านั้น เพราะ ระดับ pH มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

2.3.1. 2. ปัจจัยทางอุณหภูมิ (Thermostatic factor)

สัตว์สามารถปรับลักษณะการกินอาหารได้ตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิต่ำหรืออากาศเย็นสัตว์จะกินอาหารได้มากขึ้น และในทางกลับกันถ้าอุณหภูมิสูงสัตว์จะกินอาหารได้น้อยลง กลไกการควบคุมในปัจจุบันยังไม่ทราบแน่ชัด แต่เข้าใจว่าสัตว์จะพยายามปรับอุณหภูมิภายในร่างกายให้คงที่โดยจะลดหรือเพิ่มปริมาณการกินอาหาร

2.3.1. 3. ปัจจัยควบคุมการกินอาหารในระยะยาว

ปัจจัยควบคุมปริมาณไขมัน (Lipostatic factor) ในโคที่โตเต็มวัย โคที่ผอมจะกินอาหารหยาบ และอาหารข้นได้มากกว่าโคที่อ้วน ซึ่งอาจจะมีเหตุผลเนื่องมาจาก

- ในโคที่อ้วนมีปริมาณไขมันสะสมในช่องท้องมากกว่า อาจทำให้ Metabolites ในเลือดสูง ซึ่งอาจไปมีผลในการควบคุมการกิน

- ปริมาณไขมันสะสมของโคผอมอาจจะมีผลตอบสนองได้เร็วกว่า จึงสามารถลดปัจจัยที่มีผลต่อต้านการกินอาหาร ออกจากกระแสเลือดได้เร็ว

2.3.1. 4. Metabolites ในกระแสเลือด

Metabolites ต่างๆ ในกระแสเลือดอาจจะมีผลต่อการควบคุมการกินระยะยาว เช่น Lipoprotein free fatty acid และ hormone ชนิดต่างๆ โดยเฉพาะพวกที่มีสูตรโครงสร้างเป็น steroid ได้แก่

1. *Diethyl stilbestrol (DES)* สามารถทำให้สัตว์กินอาหารเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะผลจากการเก็บกักไนโตรเจน (nitrogen retention) และกระบวนการสร้าง anabolic activity ภายในร่างกายสัตว์เพิ่มขึ้น

2 *Progesterone hormone* มีความเข้มข้นสูงมาก ในช่วงที่สัตว์กำลังตั้งท้องพบว่าอาจมีผลต่อการเพิ่มการกินอาหารของสัตว์ เพราะสัตว์ที่ตั้งท้องมีแนวโน้มในการสะสมไขมัน

3 *Estrogen hormone* ทำให้การสะสมไขมันลดลงสัตว์ อาจเป็นผลเนื่องจากสัตว์มีกิจกรรมเพิ่มขึ้นและผลจากความเครียด (Stress) ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเกิด Estrus

นอกจากนั้น พบว่า Insulin hormone, Growth hormone และ Glucocorticoids สามารถมีผลทำให้สัตว์กินอาหารเพิ่มขึ้น ส่วน Prostaglandins ทำให้สัตว์กินอาหารได้น้อยลง

2.3.2 Physical factor

เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความสามารถของสัตว์ที่จะกินอาหาร ความจุกระเพาะอาหาร และความสามารถในการย่อยอาหาร ในสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ได้รับอาหารหยาบ Voluntary food intake จะถูกกำจัดการกินโดยความจุของกระเพาะ (Rumen cavity) จะเกี่ยวข้องกับ ความสามารถในการขยายตัว (Distention) ของ Reticulo-rumen และการไหลผ่านของ Digesta ออกจาก Reticulo-rumen

2.3.2.1 การขยายตัวของ Reticlo-rumen (Distention of the reticulo-rumen)

สัตว์เคี้ยวเอื้องที่ได้รับอาหารหยาบ (Roughage) เป็นอาหารหลัก จะกินอาหารได้ตามความจุของกระเพาะ หลังจากนั้นสัตว์จะหยุดกินอาหาร ซึ่งการขยายตัวของกระเพาะจะถูกกำหนดโดยความจุของช่องท้อง (Abdominal cavity) อีกที่หนึ่ง นอกจากนี้ถ้าแม่โคกำลังตั้งท้อง การเจริญเติบโตของตัวอ่อนจะทำให้เนื้อที่ภายในช่องท้องลดลง เป็นเหตุทำให้เกิดการจำกัดการกินของสัตว์

การควบคุมให้สัตว์หยุดกินอาหารเมื่อกระเพาะขยายเต็มที่ เกิดจากการที่ผนังกระเพาะมีประสาทรับความรู้สึกถึงการขยายตัวของกระเพาะหมัก ทำให้ไปกระตุ้นให้เกิดการควบคุมให้สัตว์หยุดกินอาหาร

2.3.2.2 อัตราการไหลผ่านของ Digesta จาก Reticulo-rumen (Rate of passage)

อัตราการไหลผ่านของ Digesta จาก Reticulo-rumen ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ส่วนประกอบทางเคมีของอาหาร อัตราการย่อยสลายทางกายภาพ (การเคี้ยวและการเคี้ยวเอื้อง) อัตราการย่อยสลายทางเคมี ความสามารถในการบีบรัดของกล้ามเนื้อกระเพาะอาหาร และ ขนาดของ Reticlo-omasal orifice

ถ้าส่วนประกอบทางเคมีของอาหารที่สัตว์กินเข้าไปย่อยได้ง่าย เช่น Soluble carbohydrate ในปริมาณมาก Digesta จะไหลผ่านได้เร็ว เพราะขนาดของอาหารมีขนาดลดลงเร็วขึ้นทำให้มีความสามารถในการไหลผ่านจาก Reticulo-rumen ได้เร็วขึ้น ซึ่งในทางกลับกันถ้าอาหารประกอบไปด้วย structural carbohydrate อาหารจะถูกย่อยได้ช้า Digesta ก็จะไหลผ่าน Reticulo-rumen ได้ช้า

การที่อาหารถูกเก็บใน Reticulo-rumen เรียกว่า retention time ทำให้เกิดการหมักย่อยของจุลินทรีย์ได้ดียิ่งขึ้น โดยปกติ Retention time จะขึ้นอยู่กับ ปริมาณอาหารที่กิน ลักษณะทางกายภาพของอาหารหยาบ สัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้น

ปัจจัยที่มีผลต่อการไหลของอนุภาคของอาหาร (Feed particle) จาก Reticulo-rumen ประกอบด้วย ขนาด และความหนาแน่นของ Feed particle อัตราการลดขนาดของ Feed particle ส่วนประกอบของ Cells wall ในอาหาร Hydration time, pH และความถี่ของการบีบตัวของ Rumen และ Abomasum

2.3.2.3 ปัจจัยทางพฤติกรรมการกินอาหารของ Grazing Cattle

Grazing animal มีความยากที่จะอธิบายถึงการควบคุมการกินอาหารมากกว่าสัตว์ที่เลี้ยงดูอยู่ในคอก เพราะต้องเดินหากิน (Searching) ต้องจับดึงอาหารเข้าปาก (Prehending) และต้องเก็บเกี่ยวอาหาร (Harvesting) ดังนั้นความแตกต่าง Grazing ruminants และ Indoors feeding ruminants คือจะมีการเข้าถึงอาหาร (Accessibility) ความสามารถในการกินอาหารคำใหญ่ๆ เพื่อที่จะกินอาหารให้เพียงพอกับความต้องการในเวลาที่จำกัด

ถ้าปริมาณหญ้ามีให้โคกินมากมาย คุณค่าทางอาหารของหญ้าจะเป็นตัวกำหนดการกินได้ โดยมีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการแทะเล็ม สัตว์จะเลือกกินหญ้าที่มีคุณค่าทางอาหารสูง แต่ถ้าคุณค่าทางอาหารของหญ้าต่ำการกินได้จะถูกควบคุมโดย Distention mechanism ถ้ามีหญ้าน้อยคุณค่าทางอาหารของหญ้าแทบจะไม่มีผลต่อการกินได้ แต่จะถูกควบคุมโดยพฤติกรรมการกิน

2.3.2.4 Animal factors

1. *ขนาด น้ำหนักตัว อายุ และพันธุ์กรรมของสัตว์*

ขนาดของตัวสัตว์เป็นตัวกำหนดปริมาณของช่องท้อง (Abdominal cavity) จะมีส่วนสัมพันธ์กับความจุของกระเพาะ (Rumen capacity) สัตว์ที่มีขนาดตัวใหญ่จะสามารถกินอาหารได้มากกว่าสัตว์ที่มีขนาดเล็กกว่า นอกจากนี้อายุของสัตว์ก็มีส่วนเกี่ยวข้องในการกิน คือการกินได้ของสัตว์จะมากขึ้นเมื่อสัตว์มีการเจริญเติบโตจากอายุน้อยไปอายุมากขึ้น พันธุกรรมของสัตว์ก็มีความเกี่ยวข้องกับการกิน โดยจะขึ้นอยู่กับขนาดของสัตว์แต่ละพันธุ์ เช่นในพันธุ์สัตว์ที่มีขนาดเล็กจะกินอาหารได้น้อยกว่าสัตว์พันธุ์ที่มีขนาดใหญ่

2. *การตั้งท้อง (Pregnancy)*

ในช่วงต้น และช่วงกลางของการตั้งท้อง สัตว์จะกินอาหารเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีอัตราการเกิด Metabolism เพิ่มขึ้น และเพื่อการเจริญเติบโตของตัวอ่อน และ อาจเกิดจาก Progesterone hormone เพิ่มขึ้น ทำให้เหนี่ยวนำการกินอาหารเพิ่มขึ้น โดยเฉลี่ยแล้วสัตว์จะกินอาหารลดลงในช่วงระยะเวลา 6 สัปดาห์ก่อนคลอด เพราะการเจริญเติบโตของตัวอ่อน และการสะสมไขมันกินพื้นที่ในช่องท้อง และอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของ Hormone ในร่างกาย

3. *การให้นมในโคนม*

ในโคนมที่กำลังรีดนมจะกินอาหารมากกว่าโคที่ไม่ได้รีดนม ซึ่งโดยทั่วไป โคที่รีดนมจะกินอาหารมากกว่าโคที่ไม่รีดนมคิดเป็นร้อยละ 42 เนื่องจากโคต้องการพลังงานและสารอาหารไปใช้ในการผลิตน้ำนมมากขึ้น

2.4 ความต้องการพลังงานในโคนม

พลังงานเป็นเรื่องสำคัญมากในทางอาหารสัตว์ ร่างกายของสัตว์จะมีความต้องการพลังงานเป็นปริมาณมาก เพื่อใช้ในกิจกรรมต่างๆ ทั้งเพื่อการดำรงชีพ และ การให้ผลผลิต ดังนั้นในการประกอบสูตรอาหารสัตว์จึงมีความจำเป็นต้องคำนึงถึงพลังงานเป็นอันดับแรกเพราะความเข้มข้นของโภชนะต่างๆ ที่จำเป็นต้องมีในสูตรอาหารเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของร่างกายสัตว์ ซึ่งร่างกายของสัตว์มักผันแปรตามระดับพลังงานในสูตรอาหารนั้น สัตว์มีความต้องการพลังงานเป็นปริมาณมาก และมักจะขาดแคลน ในทางผลิตสัตว์พลังงานเป็นต้นทุนส่วนใหญ่ในอาหาร ซึ่งโภชนะที่ให้พลังงานได้คือพวกที่มีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบ ได้แก่ ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และโปรตีน ซึ่งกระบวนการต่างๆที่เกิดขึ้นในร่างกาย เช่น การกินอาหาร การดูดซึมสารอาหาร และการเมตาบอลิซึมของร่างกายต่างต้องเกี่ยวข้องกับพลังงานทั้งสิ้น

2.4.1 หน่วยของพลังงาน

ระบบประเมินคุณค่าทางพลังงานของอาหารและระบบประเมินความต้องการอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีอยู่ด้วยกันหลายระบบ อาทิ 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) หมายถึง ผลรวมของ Digestible Protein, Fibre, Nitrogen-free-extract และ 2.25(Fat)

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

2.4.1.2 Calorie System เป็นระบบที่ใช้วัดค่าพลังงานในอาหาร โดยที่ 1 cal หมายถึงปริมาณพลังงานความร้อนที่ต้องการทำให้น้ำ 1 กรัม มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส (โดยปกติเพิ่มจาก 14.5 องศาเซลเซียส เป็น 15.5 องศาเซลเซียส) การวัดพลังงานความร้อนนี้กระทำได้โดยการเครื่องมือที่เรียกว่า Bomb calorimeter เพื่อเผาผลาญอาหารที่ต้องการวัดค่าพลังงานในสภาพที่มี Oxygen

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

การเทียบค่าพลังงานระหว่างระบบทั้งสองกระทำได้โดยประมาณดังนี้

1 cal = 4.184 joules

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

2.4.2 การจำแนกประเภทของพลังงาน (Partition of energy)

2.4.2.1 พลังงานรวม หรือ Gross energy (GE) เป็นความเข้มข้นของพลังงานทั้งหมดในอาหาร หรือในเนื้อเยื่อของสัตว์ มีชื่อเรียกว่า ส่วนประกอบของอาหารที่ให้พลังงาน ได้แก่ ไขมัน โปรตีน และ คาร์โบไฮเดรต ซึ่งมีพลังงานอยู่โดยประมาณเท่ากับ 39, 24 และ 17.5 MJ/kgDM ตามลำดับ GE จึงผันแปรตามส่วนประกอบของเนื้อเยื่อต่างๆ แต่โดยทั่วไปแล้วอาหารสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องจะมี GE อยู่ในช่วง 18-19 MJ/kgDM เมื่อสัตว์กินอาหารเข้าไป ส่วนของ GE เพียงบางส่วนเท่านั้นจะถูกนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการสร้างเนื้อเยื่อและสร้างผลผลิต ทั้งนี้เป็นเพราะในระหว่าง

การเกิดขบวนการย่อย (Digestion) และเมตาโบลิซึม (Metabolism) ภายในร่างกายจะมีการสูญเสียพลังงานบางส่วนไป

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

GE Intake - Faecal energy output = DE Intake

หรือ DE = GE - Faecal Energy

2.4.2.3 พลังงานใช้ประโยชน์ (Metabolisable energy, ME) เป็นส่วนของ DE ที่ไม่ปรากฏในปัสสาวะและแก๊สมีเทน (ซึ่งผลิตขึ้นระหว่างการหมักย่อยในกระเพาะหมัก) กล่าวคือ DE เมื่อถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายจะเกิดการสลายตัว ขณะเดียวกันจะมีพลังงานบางส่วนถูกขับออกภายนอกร่างกายโดยไม่ได้ใช้ประโยชน์ ได้แก่พลังงานที่ขับออกทางปัสสาวะ (Urinary energy) และพลังงานที่ขับออกในรูปแก๊ส (Gaseous หรือ Methane energy)

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

ฉะนั้น ME intake สามารถคำนวณได้โดยการวัดค่า GE ในอาหาร และวัดค่าพลังงานในอุจจาระ ปัสสาวะ และ Methane สำหรับ UE และ ME โดยปกติจะมีค่าเป็นสัดส่วนค่อนข้างคงที่กับ DE (~18%) ฉะนั้นจึงสามารถประมาณค่า ME ได้ดังนี้

ME = 0.82DE

ความเข้มข้นของพลังงาน ME ที่ประกอบอยู่ใน GE มีชื่อเรียกว่า Metabolisability (q) หรือหมายถึงสัดส่วนของ ME ใน GE ของอาหารสัตว์

q = ME/GE

2.4.2.4 พลังงานสุทธิ (Net energy)

ในสัตว์ทุกชนิดรวมทั้งสัตว์เคี้ยวเอื้อง มีความต้องการพลังงานระดับหนึ่ง เพื่อการดำรงชีพ (Requirement for maintenance) เพื่อการเจริญเติบโต (Requirement for growth) เพื่อสร้างผลผลิต (Requirement for production) และเพื่อการสืบพันธุ์ (Requirement for reproduction) พลังงานที่จะกล่าวกันในบทนี้จะเน้นถึงพลังงานใช้ประโยชน์ (Metabolisable energy, ME) และ พลังงานสุทธิ

(Net energy, NE) ที่สัตว์ต้องการเพื่อการดังกล่าวข้างต้น

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

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

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 ซึ่งมีความสัมพันธ์กับขนาดรูปร่างและพันธุ์ การหา NE_M ของโคนมที่ให้นมสามารถหาได้จากสมการ $0.073LW^{0.75}$ (NRC, 1988) อย่างไรก็ตามในสมการดังกล่าวได้มีการเผื่อในกิจกรรมบางส่วนอีก 10% ซึ่งจะได้สมการที่ใช้ในการหา NE_M คือ $0.08LW^{0.75}$ (NRC, 1988) มีการศึกษากับการเลี้ยงโคนมโดยการปล่อยเลี้ยงในทุ่งหญ้าโดยการเพิ่มระยะทางในการเดินของโคนมและพบว่าในทุ่งหญ้าที่มีหญ้าไม่สมบูรณ์อาจจะมีการเผื่อในการคำนวณต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพจาก 10% เป็น 20% ก็ได้ นอกจากกิจกรรมของตัวโคนมเองแล้วสิ่งแวดล้อมรอบตัวของโคนมนั้นก็มีผลต่อความต้องการพลังงานด้วยเช่นกัน

ในขณะที่*โคสาว*นั้นจะมีสมการในการหาความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพคือ

$NE_M = 0.086LW^{0.75}$ (NRC, 1988)

2. ความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโต

ความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโต ในการเจริญเติบโตของสัตว์นั้นดัชนีที่บ่งบอกได้อย่างชัดเจนก็คือน้ำหนักตัวของตัวสัตว์ Moe and Tyrrell (1974) พบว่าพลังงานที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมนั้นมีค่าพลังงานเท่ากับ 6 Mcal ซึ่ง Moe et al., (1971) ได้ประมาณการใช้พลังงานเพื่อการเจริญเติบโตไว้ว่า การสร้างน้ำนม 1 กิโลกรัมนั้นจะมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานจากน้ำหนักตัว 82% ดังนั้นในการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวที่ลดลง 1 กิโลกรัมของโคนมในระยะการให้นม นั้นจะต้องการพลังงานเท่ากับ (6.00)(0.82) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.92 Mcal ในขณะที่การเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมนั้นของโคนมในระยะการให้นม ประสิทธิภาพของการใช้ ME ในการสร้างน้ำนม 1 กิโลกรัมมีค่าเท่ากับ 64% และประสิทธิภาพของการเพิ่มน้ำหนักตัว

1 กิโลกรัมของโคนมในระยะให้นมนั้นมีค่าเท่ากับ 75% ดังนั้นในการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมของโคนมในระยะให้นมนั้นจะต้องการพลังงานเท่ากับ (6.00)(0.64 / 0.75) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.12 Mcal ซึ่งการคำนวณความต้องการสำหรับการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวของโคนมนั้นเพื่อที่จะช่วยในการป้องกันการขาดพลังงานของโคนมในระยะให้นมในระยะต่างๆ (NRC, 1988)

ในขณะที่โคสาวจะมีความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโต

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

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

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

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

ทั้งนี้เพราะ

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

เมื่อ

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

Proportion empty body fat = 0.037683 x BCS(9)

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

BCS(9) = ((dairy BCS – 1) x 2) + 1

3. ความต้องการพลังงานเพื่อการสร้างน้ำนม

ในการคำนวณพลังงานเพื่อการสร้างน้ำนมจะใช้องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม เช่น %Fat, %Protein และ %Lactose สำหรับประเมิน NRC (1988) ใช้สมการคำนวณจากเปอร์เซ็นต์ไขมันดังนี้ คือ 0.3512 + 0.0962 %Fat

นอกจากนี้ยังสามารถใช้สมการอื่นๆที่ดัดแปลงจาก Tyrell and Reid (1965) ซึ่งแนะนำไว้ใน NRC (2001) ดังนี้

ถ้าเราวิเคราะห์เฉพาะ เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมใช้สมการต่อไปนี้

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

คำนวณจากเปอร์เซ็นต์ไขมัน และ โปรตีน

NE_L (Mcal/kg of Milk) = (0.0929 x %Fat) + (0.0547 x %Protein) + 0.192

คำนวณจากเปอร์เซ็นต์ไขมัน โปรตีน และแลคโตส

NE_L (Mcal/kg of Milk) = (0.0929 x %Fat) + (0.0547 x %Prot. + (0.0395 x %Lact.)

2.4.3 การประเมินคุณค่าทางพลังงานตาม NRC (2001)

ถึงแม้ระบบการประเมินคุณค่าทางโภชนะโดยใช้ค่า NE จะเป็นระบบที่ดี แต่ทำการวัดโดยตรงได้ยาก ต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายมาก ตลอดจนต้องใช้เครื่องมือที่ยุ่งยากซับซ้อน ประเทศต่าง ๆ จึงคิดค้นสมการมาใช้ในการคำนวณ โดยใช้การประเมินค่าทางพลังงานจากองค์ประกอบทางเคมี เช่น ในประเทศเยอรมันคำนวณค่า NE_L จาก GE และ ME ประเทศสหรัฐอเมริกาคำนวณจาก TDN อย่างไรก็ตามการจะได้มาซึ่งค่าต่าง ๆ ในการทำนายคุณค่าทางพลังงานก็มีหลากหลาย บางสมการใช้ได้เฉพาะอาหารบางชนิด เช่น อาหารข้น บางสมการใช้ได้เฉพาะกับอาหารหยาบ จนกระทั่ง Weiss et al., (1992) ทำการปรับปรุงสมการที่สามารถนำมาใช้ทำนายค่าทางพลังงานกับอาหารหลายชนิดรวมทั้ง By-products และ Heat-damaged forages ได้ หลักการของสมการนี้ยึดหลักที่ว่า โภชนะชนิดใดที่ให้พลังงานได้ต้องนำมาคำนวณด้วย ซึ่งโภชนะดังกล่าวประกอบด้วย CP, Fat, NFC และ NDF การคำนวณต้องอาศัย True digestibility (TD) ของโภชนะนั้น ๆ จากนั้นจะได้ค่า TDN ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาค่า NE_L ได้โดยอาศัยสมการต่าง ๆ ดังจะได้กล่าวต่อไป

การประเมินคุณค่าทางพลังงานในอาหารสัตว์ตามระบบ NRC (2001) คือ ส่วนประกอบของโภชนะใดๆในอาหาร ที่ให้พลังงานต้องนำมาคำนวณทั้งหมด โดยคำนวณออกมาในรูปของโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (Total digestible nutrient, TDN) ดังสมการ

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

เมื่อ td = Truly digestible

2.4.3.1 พลังงานจาก NFC

โดยปกติ NFC เป็น Uniform feed fraction ที่มีค่า td ประมาณ 0.98 ถ้าสัตว์ได้รับอาหารที่ระดับ Maintenance NFC คำนวณได้โดยการหักลบค่า Ash, CP, NDF_N และ EE จาก 100 ที่ต้องใช้ค่า NDF_N แทนค่า NDF ก็เพื่อไม่ให้ CP ถูกหักออกซ้ำกันถึง 2 ครั้ง มิฉะนั้นจะทำให้ค่า NFC ต่ำไป การคำนวณพลังงานจาก NFC คำนวณได้ดังสมการ

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

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

NDF_N = NDF – NDICP

NDICP = NDIN x 6.25

เมื่อ NFC = Non fiber carbohydrate

NDF = Neutral detergent fiber

NDIN = Neutral detergent insoluble nitrogen

PAF = Processing adjustment factor

ตารางที่ 2.7 กระบวนการปรับปัจจัย (Processing adjustment factors, PAF) สำหรับ NFC (NRC, 2001)

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

For feeds not shown PAF = 1.0

2.4.3.2. พลังงานจากโปรตีน

โปรตีนเป็น Uniform feed fraction เพราะค่า True digestibility (TD) ของ Crude protein (CP) เป็นค่าที่ค่อนข้างคงที่ ในพืชมีค่าผันแปรระหว่าง 0.9-1.0 เฉลี่ย 0.93 สำหรับอาหารข้นที่ไม่ได้ผ่านความร้อน (Unheated concentrate) ค่า TD_{CP} จะมีค่าประมาณ 1.0 (Fonnesbeck et al., 1984) อาหารที่ถูกความร้อน ค่า TD_{CP} จะมีค่าลดลง เนื่องจากการย่อยได้ของ CP และอัตราการถูกทำลายด้วยความร้อน (Heat damage) มีความสัมพันธ์กับ Acid detergent insoluble nitrogen (ADIN) ดังนั้นจึงคำนวณค่า TD_{CP} ได้จากค่า ADIN แต่เนื่องจากความสัมพันธ์นี้ในอาหารข้นและอาหารหยาบมีไม่เท่ากัน จึงต้องอาศัยสมการคำนวณที่แตกต่างกันดังนี้

Truly digestible CP for forages (tdCPf)

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

Truly digestible CP for concentrates (tdCPc)

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

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

2.4.3.3 พลังงานจากไขมัน

ค่า Ether extract (EE) ในอาหารประกอบด้วยกรดไขมัน (รวมทั้ง Triglycerides), Waxes, Pigments และอื่นๆ 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

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

$tdFA = FA$ แต่ถ้าในกรณีที่ EE < 1, FA 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 ย่อยไม่ได้ จึงควรนำมาหักลบออกจาก NDF เพื่อให้ได้ค่า Lignin-free NDF นอกจากนี้ Lignin ยังไปขัดขวางการย่อยได้

ของ Cellulose และ Hemicellulose จึงควรคำนวณหาค่าสัดส่วนของพื้นที่ผิว NDF ที่ถูกปกคลุมด้วย Lignin เพื่อนำมาหักลบออก ดังนี้ค่า pdNDF คำนวณได้จากสมการ

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

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

$$NDF_N = NDF - NDICP$$

ค่าทุกตัวมีหน่วยเป็น % และ NDICP = NDIN x 6.25

พลังงานจาก NDF คำนวณโดยคูณค่า pdNDF ด้วยสัมประสิทธิ์การย่อยได้ ประมาณว่าการย่อยได้ของ pdNDF ในสัตว์ที่ได้รับอาหารในระดับ Maintenance มีค่าเท่ากับ 0.75

ฉะนั้น Truly digestible NDF (tdNDF) จะมีค่าดังสมการ

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

อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่อาหารสัตว์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มากจากสัตว์ เช่น โปรตีนจากสัตว์ ซึ่งจะไม่มีส่วนของ Structural carbohydrates แต่จะมีส่วนของ Neutral detergent insoluble residue แต่ไม่ใช่เป็นส่วนของ Cellulose, Hemicellulose หรือ Lignin ดังนั้นสมการข้างต้นจะใช้ไม่ได้ ในกรณีนี้ ต้องใช้สมการดังนี้

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

เมื่อ CPdigest = estimated true digestibility of CP (ตารางที่ 2.8)

ตารางที่ 2.8 ประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีนหยาบเพื่อใช้ในการประมาณค่า TDN_{1X} สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสัตว์ (NRC, 2001)

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

เช่นเดียวกันกับกรณีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสัตว์ ถ้าเป็นอาหารสัตว์จำพวกไขมันจะคำนวณค่า TDN_{1X} จากการวัดค่า Fatty acid digestibility ดังแสดงไว้ในตารางข้างล่าง

ตารางที่ 2.9 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

สำหรับแหล่งไขมันที่มีองค์ประกอบของ Glycerol:

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

สำหรับแหล่งไขมันที่ไม่มีองค์ประกอบของ Glycerol:

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

2.4.3.5 การประมาณค่า DE

1. การประมาณค่า DE ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Maintenance

Crampton et al., (1957) และ Swift (1957) คำนวณค่า GE value of TDN เท่ากับ 4.409 Mcal/kg อย่างไรก็ตามโภชนะแต่ละชนิดในอาหารมีค่า Heat of combustion ที่แตกต่างกัน เช่น 4.2 Mcal/kg for carbohydrate, 5.6 Mcal/kg for CP, 9.4 Mcal/kg for fatty acid 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 x TDN (%) ตามที่แนะนำไว้ใน NRC (1988) นั้น ปัจจุบันได้ยกเลิกแล้ว NRC (2001) ได้พัฒนาการคำนวณค่า DE โดยคำนวณจาก Estimated digestible nutrient concentration คูณด้วย Heat of combustion ของโภชนะนั้นๆ และเนื่องจาก DE คำนวณจาก Apparent digestibility แต่สมการคำนวณ TDN จากโภชนะต่างๆ ใช้ค่า True digestibility ดังนั้นต้องใช้ค่า Metabolic fecal energy มาทำการปรับเมื่อต้องการคำนวณค่า DE จาก TDN โดยทั่วไปค่า Heat of combustion ของ Metabolic fecal TDN จะประมาณเท่ากับ 4.4 Mcal/kg ดังนั้น Metabolic fecal DE = 7 x 0.044 = 0.3 Mcal/kg

ดังนั้นสามารถคำนวณ DE_{1X} ได้จากสมการดังต่อไปนี้

สำหรับอาหารสัตว์ทั่วๆ ไป

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

สำหรับอาหารโปรตีนจากสัตว์

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

สำหรับอาหารไขมันที่มีองค์ประกอบของ glycerol

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

สำหรับอาหารไขมันที่ไม่มีองค์ประกอบของ glycerol

DE_{1X} (Mcal/kg) = [9.4 x (FAdigest x 0.9 x (EE/100))]

tdNFC, tdNDF, tdCP และ FA มีหน่วยเป็น %

2. การประมาณค่า DE ของอาหารสัตว์ที่ระดับ Actual Intake

การย่อยได้อาหารของโคนมจะลดลงเมื่อระดับการกินได้เพิ่มขึ้น (Tyrell and Moe, 1975) ซึ่งจะมีผลทำให้ค่าพลังงานของอาหารนั้นๆลดลงเมื่อการกินได้เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในโครีดนมที่ให้

น้ำนมมากๆอย่างเช่นในปัจจุบัน ซึ่งอาจกินอาหารได้มากถึง 4 เท่าของการกินได้ที่ระดับ Maintenance การลดลงของ Digestibility เมื่อ intake เพิ่มขึ้น จะมีความสัมพันธ์กับ Digestibility of diet at maintenance (Wagner and Loosli, 1967) เมื่อการกินได้อาหารเพิ่มขึ้น อาหารที่มีค่า Digestibility at maintenance สูง จะมีอัตราการลดลงของ Digestibility มากกว่าอาหารที่มีค่า Digestibility at maintenance ต่ำ NRC (1988) ใช้ค่าคงที่ 4% ในการปรับ Energy value at 1X to 3X maintenance ถ้าใช้วิธีการเดิมนี้ในการคำนวณ อาหารที่มี 75%TDN_{1X} จะมีค่า Discount 3%/unit multiple of 1X ในขณะที่ อาหารที่มี 60%TDN_{1X} จะมีค่า Discount เท่ากับ 2.4% ถ้าอาหารมีค่า TDN_{1X} เท่ากับ หรือ น้อยกว่า 60% ค่า Discount จะมีค่าค่อนข้างน้อย NRC (2001) แนะนำให้ใช้สมการนี้ในการคำนวณ % Discount

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

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

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

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

ตัวอย่างเช่นโครีดนมกินอาหารที่มี 74%TDN_{1X} ได้เป็น 3X maintenance ฉะนั้น Digestibility ควรจะเท่ากับ 0.918 เท่าของ 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 ของอาหารที่มีไขมันสูงต่ำไป 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 ทุกๆ % unit increase in EE above 3% ในกรณีที่อาหารมีไขมันเท่ากับ หรือน้อยกว่า 3% ให้ใช้สมการเดิมที่แนะนำใน NRC (1988)

สำหรับ Fat supplements, ME_P (Mcal/kg) = DE_P(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 สมการนี้ได้วิจารณ์อย่างมาก เพราะถ้าอาหารมี TDN 40% (DE = 1.76Mcal/kg) มีค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยน DE เป็น NE_{L1X} เท่ากับ 0.49 แต่ถ้ามี TDN 90% (DE = 3.97 Mcal/kg) ประสิทธิภาพจะเป็น 0.53 ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว การประมาณค่า NE_{LP} จาก ME_P, NRC (2001) เลือกใช้สมการที่เสนอโดย Moe and Tyrell (1972) แทนสมการเดิมที่ได้แนะนำไว้ใน NRC (1988)

$$NE_{LP} = [0.703 \times ME_P \text{ (Mcal/kg)}] - 0.19 \quad \text{(Moe and Tyrell, 1972)}$$

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

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

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

สำหรับ fat supplements

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

2. การประมาณค่า Net Energy of Feeds for Maintenance and Gain

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

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

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

เมื่อ ME, NE_M และ NE_G มีหน่วยเป็น Mcal/kg

อย่างไรก็ตาม สมการข้างต้นไม่เหมาะสำหรับใช้คำนวณค่า 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

2.4.4 ความต้องการโปรตีนในโคนม

สัตว์เคี้ยวเอื้องมีความต้องการโปรตีนเพื่อเสริมสร้างส่วนต่างๆ ของร่างกาย และเพื่อการเจริญเติบโต การให้ผลผลิตในรูปของเนื้อและนม ความต้องการโปรตีนเพื่อการต่างๆ มีลักษณะคล้ายกับความต้องการพลังงาน คือ ความต้องการโปรตีนเพื่อการดำรงชีพ ความต้องการโปรตีนเพื่อการเจริญเติบโต และความต้องการโปรตีนเพื่อการให้นม

2.4.4.1 การคำนวณโปรตีนในอาหาร

การคำนวณโปรตีนในอาหารจะสามารถทำได้โดยการหาประสิทธิภาพการย่อยได้ของอาหารโปรตีนจากวิธีการ Nylon bag technique

2.4.4.2 การคำนวณความต้องการโปรตีนในตัวโคนม

NRC (2001) ได้ปรับเปลี่ยนการประเมินความต้องการโปรตีนของโคนม โดยนำเสนอใหม่ในรูปของ Metabolizable protein (MP_R)

ดังสมการ $MP_R = MP_M \pm MP_G + MP_L$

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. Protein requirements for maintenance (MP_M)

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

MP_u คือ ความต้องการ MP สำหรับ Endogenous urinary protein (UPN)

$$MP_U = UPN/0.67$$

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

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

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

MP_{SH} = SPN/0.67

SPN = 0.2 x (Live weight)$^{0.60}$

MP_{SH} = 0.3 x (Live weight)$^{0.60}$

MP_{MFP} คือ ความต้องการ MP สำหรับ Metabolic fecal protein

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

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

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

2. Protein requirements for growth (MP_G)

$$MP_G = NP_G/EffMP_NP_G$$

เมื่อ

NP_G	= SWG x (268-(29.4 x (RE/SWG)))
RE	= 0.0635 x EQEBW$^{0.75}$ x EQEBG$^{1.097}$
EQEBW	= 0.891 x EQSBW
EQEBG	= 0.956 x SWG
EQSBW	= SBW x (478/MSBW)
MSBW	= 500 kg
SBW	= 0.96BW

ถ้าน้ำหนักโค EQSBW (Equivalent shrunk BW) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 478 kg ใช้

$EffMP_NP_G$ = (83.4-(0.114 x EQSBW))/100

ถ้าน้ำหนักโค EQSBW (Equivalent shrunk BW) มากกว่า 478 kg ใช้

$EffMP_NP_G$ = 0.28908

3. 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 จะได้จากโปรตีนที่โคนมได้รับซึ่งโปรตีนที่ได้รับนั้นประกอบด้วย โปรตีนที่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (Rumen degradable protein, RDP) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (Rumen undegradable protein, RUP)

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

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

MCP = 0.85 RDP (NRC, 2001)

MTP = 0.8 MCP

DMTP หรือ MP_{RDP} = 0.8 MTP

MP_{Bact} = 0.64 MCP

การคำนวณหาความต้องการ MCP ในโคนมสามารถหาได้จากสมการ NRC (2001)

โดยที่ MCP = 0.85 RDP (NRC, 2001)

RDP_R = MCP/0.85

RDP_R = 0.15294 x TDN_{Actual}

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

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

MP_{Bact} = 0.64 MCP

MP_{Endo} = 0.4 x 1.9 x DMI x 6.25

การคำนวณหาความต้องการ RUP

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

0.8 RUP = total digest RUP

0.66 x total digest RUP = MP_{RUP}

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

$RUP_R = MP_{RUP}/0.528$

ดังนั้นจะสามารถคำนวณ CP requirement จาก RDP และ RUP จากสมการ

$CP_R = RDP_R + RUP_R$

เมื่อ NP_G = Net protein requirement for growth

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

SWG = Shrunk weight gain

RE = Retain energy

EQEBG = Equivalent empty body weight gain

EQEBW = Equivalent empty body weight

EQSBW = Equivalent shrunk body weight

SBW = Shrunk body weight

WG = Weight gain

2.5 การให้น้ำนมของโค

น้ำนมเป็นผลผลิตที่ได้จากการสังเคราะห์จากองค์ประกอบของสารตั้งต้นในเลือด เช่น กลูโคส กรดอะมิโน และกรดไขมันอิสระ เป็นต้น โดยเซลล์เฉพาะที่เต้านม คือ Secretory cell เป็นเซลล์สังเคราะห์น้ำนม ที่มีลักษณะคล้ายกระเปาะนมเรียกว่า Alveolus ปริมาณน้ำนมที่ได้จะเก็บกักไว้รอการปล่อยออกมา โดยวิธีการดูดของลูกโค หรือ ผ่านกระบวนการรีดนม

2.5.1 การสังเคราะห์นม (Milk synthesis)

ส่วนประกอบหลักของน้ำนมได้แก่ น้ำ และปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำนมจะมีความสัมพันธ์ในทางบวก (positive relations) กับปริมาณแลคโต๊สที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นและประจุ (ions) ต่างๆ ซึ่งได้แก่ ประจุโปแตสเซี่ยม โซเดียม และคลอรีน ที่หลั่งออกมาทางน้ำนม

2.5.1.1 การสังเคราะห์แลคโต๊ส (Lactose synthesis)

น้ำตาลแลคโต๊สในน้ำนมสังเคราะห์มาจากกลูโคสซึ่งไหลเวียนอยู่ในกระแสโลหิตที่ไหลผ่านต่อมสร้างน้ำนม กลไกการดูดซึม (Uptake) กลูโคสโดยเซลล์กลั่นสร้างน้ำนมยังไม่มีรายงานที่แน่ชัด อย่างไรก็ตามระดับของอินซูลิน (Insulin) ในกระแสโลหิตจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระดับของกลูโคสในกระแสโลหิต สมการการสังเคราะห์กลูโคสสามารถแสดงได้ดังนี้

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

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

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

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

UDP-galactose + Glucose ⟶ lactose synthetase ⟶ Lactose

สมการขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นขั้นตอนที่จำกัด (Limiting step) การสังเคราะห์แลคโต๊ส ซึ่งเกิดขึ้นในลูเมน (Lumen) ของโกลไจ แอพพาราตัส (Golgi apparatus)ปริมาณของน้ำนมที่โคผลิตจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณการสังเคราะห์แลคโต๊ส และปริมาณน้ำนมจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณการกินอาหาร แลคโต๊สส่วนใหญ่จะถูกสังเคราะห์มาจากกลูโคส ซึ่งสังเคราะห์มาจากกรดโพรพิโอนิคและกรดอะมิโนที่ดูดซึมมาจากระบบอาหารอีกทีหนึ่ง (Holmes and Wilson, 1984)

2.5.5.2 การสังเคราะห์โปรตีน (Protein synthesis)

โปรตีนในน้ำนมที่ถูกสังเคราะห์และขับออกมาโดยเซลล์กลั่นสร้างน้ำนมประกอบไปด้วย เคซีน (Casein) แอลฟ่า-แลคตาลบูมิน (α-lactalbumin) เบต้า-แลคโตโกลบูลิน (β-lactoglobulin) และโปรตีนชนิดอื่นๆ อีกเล็กน้อย เช่นเอนไซม์ต่างๆ สารตั้งต้น (Precursors) ในการสังเคราะห์โปรตีนคือกรดอะมิโนที่ถูกส่งมายังต่อมสร้างน้ำนมทางกระแสโลหิต ต่อมสร้างน้ำนมจะดูดซึมกรดอะมิโนที่จำเป็น (Essential amino acids) อย่างเพียงพอต่อการสังเคราะห์กรดอะมิโนที่จำเป็นในน้ำนม แต่ในบางครั้งอาจดูดซึมกรดอะมิโนที่จำเป็นเกินกว่าความต้อง ส่วนที่เกินจะถูกนำไปสังเคราะห์กรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น (Non-essential amino acids) และเป็นแหล่งพลังงานสำหรับการสังเคราะห์น้ำนม กรดอะมิโนที่จำเป็น โดยเฉพาะกรดอะมิโนที่มีกำมะถัน (Sulphur) เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย มากกว่าร้อยละ 60 จะถูกดูดซึมโดยต่อมสร้างน้ำนมในขณะที่ไหลผ่านมาตามกระแสโลหิต ถ้ากรดอะมิโนเหล่านี้มีไม่เพียงพอจะมีผลกระทบต่อการสังเคราะห์โปรตีนในน้ำนม หรือแม้กระทั่งมีผลกระทบต่อผลผลิตน้ำนม สำหรับการดูดซึมกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็นโดยต่อมสร้างน้ำนมนั้นไม่ค่อยแน่นอน ในบางขณะจะดูดซึมมากกว่าความต้องการในการสังเคราะห์น้ำนม แต่ในบางโอกาสอาจขาดอย่างมาก (Holmes and Wilson, 1984)

กรดอะมิโนจะถูกดูดซึมจากกระแสโลหิตเข้าสู่ต่อมสร้างน้ำนมโดยผ่านกลไกที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ แอลฟ่า-กลูตานิล ทรานเปปติเดส (α-glutanyl tranpeptidae) และโปรตีนในน้ำนมจะถูกสังเคราะห์โดยไรโบโซม (Ribosomes) ที่อยู่บนเอนโดพลาสมิคเรติคูลัม (Endoplasmic reticulum) (Holmes and Wilson, 1984)

การสังเคราะห์น้ำนมอาจจะถูกจำกัดด้วยปริมาณของกรดอะมิโนบางชนิด ซึ่งโดยเฉพาะเมไธโอนีน (Methionine) อย่างไรก็ตาม ฟีนิลอะลานีน (Phenylalanine) ฮิสติดีน (Histidine) ไลซีน (Lysine) และทรีโอนีน (Threonine) อาจมีส่วนเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์น้ำนมด้วย ทั้งนี้มีรายงานว่าการเสริมกรดอะมิโนให้ไหลผ่านกระเพาะหมัก และให้ไปย่อยในลำไส้เล็ก สามารถเพิ่มผลผลิตน้ำนมได้ กลไกการทำงานของกรดอะมิโนต่อผลผลิตน้ำนมยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด อาจเป็นไปได้ว่าเป็นการเพิ่มปริมาณของกรดอะมิโนให้กับต่อมสร้างน้ำนม หรือกรดอะมิโนที่เพิ่มขึ้นนี้อาจไปกระตุ้นการปลดปล่อยฮอร์โมนที่มีหน้าที่กระตุ้นการกลั่นสร้างน้ำนม (Holmes and Wilson, 1984)

2.5.5.3 การสังเคราะห์ไขมัน (Fat synthesis)

ไขมันในน้ำนมกว่าร้อยละ 98 จะอยู่ในรูปของไตรกลีเซอไรด์ส (Triglycerides) ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์ของของอนุภาคไขมันระหว่าง 1- 7 ไมโครมิลลิเมตร (μm) (Holmes and Wilson, 1984)

โคนมจะได้รับสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ไขมันโดยตรงจากอาหารและจากไขมันที่สะสมอยู่ในเนื้อเยื่อไขมันภายในร่างกาย กรดไขมันในน้ำนมจำพวก Short และ Medium chain (C_4-C_{16})

จะถูกสังเคราะห์มาจากอะซีเตท (Acetate) และเบต้า-ไฮดรอกซีบิวทีเรท (β-hydroxybutyrate) ซึ่งอะซีเตทจะถูกดูดซึมจากกระเพาะหมัก และเบต้า-ไฮดรอกซี่บิวทีเรท (β-hydroxybutyrate) จะถูกเปลี่ยนรูปมาจากบิวทีเรท (Butyrate) ในขณะที่ถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะหมักร้อยละ 40-60 ของสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ไขมันจะอยู่ในรูปของไตรกลีเซอไรด์ส (Triglycerides) ซึ่งถูกสังเคราะห์ในลำไส้เล็กจากกรดไขมันที่ได้จากอาหาร หรือถูกสังเคราะห์ที่ตับจากกรดไขมันที่ได้จากเนื้อเยื่อไขมัน (Holmes and Wilson, 1984)

2.5.2 ส่วนประกอบของน้ำนม

น้ำนมเป็นอาหารที่สมบูรณ์ที่สุดที่สร้างขึ้นในธรรมชาติ สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมสร้างน้ำนมเพื่อใช้เลี้ยงลูกอ่อน ทำให้ลูกสามารถมีชีวิตรอดและเจริญเติบโต น้ำนมมีลักษณะเป็นของเหลว ปกติมีสีขาวแต่บางครั้งอาจมีสีเหลืองปน มีรสหวานเล็กน้อย

น้ำนมโคเป็นของเหลวที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย และมีสารต่างๆละลายอยู่ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ไขมัน จะกระจายตัวอยู่ในน้ำเป็นอิมัลชั่น (Emulsion) มีโปรตีน เช่น Casein Albumin และ Globulin ละลายอยู่ในรูปของสารแขวนลอย (Colloid) และน้ำตาล กรดอะมิโน วิตะมินต่างๆ และเกลือแร่ต่างๆละลายอยู่ในรูปของ Crystaloid หรือสารละลายแท้

ส่วนประกอบของน้ำนมโคแบ่งออกได้เป็น 2 พวก คือ ส่วนประกอบที่มีปริมาณมาก และส่วนประกอบที่มีปริมาณน้อย ส่วนประกอบที่มีปริมาณมากได้แก่น้ำ ไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และ แร่ธาตุต่างๆ ในส่วนประกอบที่มีปริมาณน้อย ได้แก่ เอนไซม์ ฟอสโฟลิปิด (Phospholipid) สเตอรอล (Sterol) รงควัตถุ วิตามินต่างๆสารที่ให้กลิ่น สารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนและแก๊ส

2.5.2.1 น้ำ ในน้ำนมมีน้ำประมาณ 82-90 % โดยเฉลี่ยประมาณ 87 % ทำหน้าที่เป็นตัวละลาย เพื่อให้ส่วนประกอบที่เป็นของแข็งละลายหรือแพร่กระจาย นอกจากนั้นน้ำบางส่วนยังเกาะอยู่กับเกลือและน้ำตาลและบางส่วนรวมอยู่กับโปรตีน

2.5.2.2 ไขมัน ไขมันนมหรือ Milk fat หรือ Butter fat มีปริมาณแปรปรวนมากกว่าชนิดอื่นๆ มีค่าประมาณ 3.9 % การแปรปรวนขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น พันธุ์, สัตว์แต่ละตัวและอาหาร, ฤดูกาล ฯลฯ ไขมันนมประกอบด้วย Triglycerides 98-99% ส่วนอีก 1-2 % เป็นพวก Phospholipid, Sterol, Carotinoid, Fat soluble vitamins A, D, E และ K และ Free-fatty acid เล็กน้อยซึ่งรวมเรียกว่า Milk lipids

2.5.2.3 โปรตีน โปรตีนในน้ำนมโคที่สำคัญ ได้แก่ Casein, Lactoalbumin และ Lactoglobulin โปรตีน Casein มีประมาณ 80% ของโปรตีนทั้งหมด ส่วน Lactoalbumin และ Lactoglobulin รวมกันเรียกว่า Serum-protein

2.5.2.4 น้ำตาลและคาร์โบไฮเดรต

น้ำตาลที่พบมากในน้ำนมคือ น้ำตาล Lactose ซึ่งเป็นพวกน้ำตาล Saccharides เป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดเดียวที่มีเป็นจำนวนมากในน้ำนม เป็นส่วนของของแข็งที่มีมากที่สุดและมีปริมาณค่อนข้างคงที่ ในน้ำนมโคมีปริมาณ Lactose 4.4-5.2% ค่าเฉลี่ยประมาณ 4.9% ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อระดับหรือปริมาณ Lactose ในน้ำนมคือ สภาวะของเต้านม ถ้าเต้านมอักเสบจะมีผลทำให้เกลือคลอไรด์ในน้ำนมเพิ่มขึ้นและ Lactose ลดลง และจะแปรผกผันกับปริมาณเถ้า Lactose มีความสำคัญต่อขบวนการหมักและการบ่มของผลิตภัณฑ์นม และเป็นตัวช่วยเพิ่มคุณค่าทางอาหารในน้ำนมและผลิตภัณฑ์นม นอกจากนั้นยังช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์นมที่ต้องใช้ความร้อนสูงๆเกิดกลิ่นและสีเนื่องจากเกิดการไหม้

2.5.2.5 แร่ธาตุต่างๆ (Minerals)

ในน้ำนมมีแร่ธาตุต่างๆหลายชนิด เป็นแร่ธาตุอาหารที่สำคัญและจำเป็นต่อร่างกาย

2.5.2.6 รงควัตถุ

ในน้ำนมมีรงควัตถุที่ละลายได้ในไขมัน และที่ละลายได้ในน้ำ ที่ละลายได้ในไขมันได้แก่ Caroteen จะให้สีเหลืองแก่น้ำนมหรือครีม ส่วน Riboflavin จะละลายได้ในน้ำ จะให้สีเหลืองอ่อนในน้ำนมที่ปราศจากไขมัน ส่วนสีขาวเกิดเนื่องจากการกระจายตัวของเม็ดไขมัน, Calcium caseinate, Colloid และ Calciumphosphate Colloid ในน้ำนมเมื่อถูกแสงแดดจะสะท้อนแสง

2.5.2.7 สารที่ให้กลิ่น

กลิ่นของน้ำนมมักจะคล้ายกลิ่นของอาหารหรือหญ้าที่โคกินเข้าไป

2.5.2.8 ความเป็นกรด-ด่าง

น้ำนมมี pH ค่อนข้างเป็นกรด มี pH ประมาณ 6.4-6.8 ถ้าน้ำนม มี pH ต่ำกว่า 6.4 อาจจะมีนมน้ำเหลืองเจือปนอยู่หรือถ้ามี pH สูงกว่า 6.8 อาจมีน้ำนมที่รีดมาจากแม่วัวที่เป็นเต้านมอักเสบเจือปน

2.5.2.9 วิตามิน (Vitamins)

ในน้ำนมมีวิตามินเกือบทุกชนิดทั้งที่ละลายในไขมันและที่ละลายในน้ำ

2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตและองค์ประกอบของน้ำนมดิบ

การให้ผลผลิตน้ำนมของโคนมหลังคลอด ในช่วงแรกโคจะให้ผลผลิตน้ำนมไม่สูง และจะค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นจนถึงระดับที่สูงสุด (Peak of lactation) ซึ่งจะมีระยะเวลาประมาณ 3 – 6 สัปดาห์ แต่โคที่ให้นมมากจะมีระดับสูงสุดนานกว่านี้ จากนั้นปริมาณน้ำนมจะลดลงอย่างช้าๆ อัตราการลดลงของน้ำนมจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการให้นมทน (Milk persistency) ของโคแต่ละตัว

(ชวนิศนดากร, 2534) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของพันธุกรรม และการเลี้ยงดูการให้อาหารด้วย โดยปกติระยะเวลาการให้นมของโคประมาณ 305 วัน และมีระยะเวลาการพักการให้นม (Dry period) ประมาณ 60 วัน องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม จะเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการให้นม ในทางตรงกันข้ามกับปริมาณน้ำนม คือ โคที่ให้น้ำนมลดลง แต่คุณภาพน้ำนมจะสูงขึ้น โดยที่เปอร์เซ็นต์ไขมันจะเปลี่ยนแปลงมาก เปอร์เซ็นต์โปรตีนจะเปลี่ยนแปลงตามไขมัน เปอร์เซ็นต์แลคโตสในน้ำนมค่อนข้างคงที่ และเปอร์เซ็นต์ของแข็งที่ไม่ใช่ไขมันสูงขึ้น ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม สามารถแบ่งออกเป็น 2 ปัจจัยหลัก ได้แก่

2.6.1 ปัจจัยทางสรีรวิทยา

เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการให้น้ำนม ซึ่งมีทั้งที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางพันธุกรรม และไม่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางพันธุกรรม

2.6.1.1 ลักษณะทางพันธุกรรม

โดยที่โคที่มีพันธุกรรมต่างกันจะมีผลผลิตและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมต่างกัน เช่น โคนมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชียน จะให้ปริมาณน้ำนมสูงกว่า โคนมพันธุ์เจอซี่ (Jersey) ประมาณ 40 – 60 เปอร์เซ็นต์ แต่จะมีองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมต่ำกว่า

2.6.1.2 อายุ

โคสาวจะสามารถเริ่มให้น้ำนมได้เมื่ออายุประมาณ 2 – 3 ปี ซึ่งร่างกายยังไม่โตเต็มที่ ทั้งนี้รวมไปถึงอวัยวะอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างน้ำนมด้วย ดังนั้นปริมาณน้ำนมที่โคสาวให้จะต่ำกว่าโคที่เจริญเติบโตมากกว่า เมื่อโคให้นมครั้งต่อไปขนาดของโคใหญ่ขึ้นอวัยวะต่างๆเจริญขึ้นโคจะให้นมมากขึ้นตามลำดับ จนกว่าจะโตเต็มที่เมื่ออายุประมาณ 6 ปี การให้นมของโคจะสูงสุดเมื่อมีอายุประมาณ 6 – 7 ปี จากนั้นปริมาณน้ำนมจะลดลงเรื่อยๆ ส่วนเปอร์เซ็นต์ไขมัน และของแข็งที่ไม่ใช่ไขมัน (SNF) ในน้ำนมลดลง

2.6.1.3 วงรอบของการเป็นสัด และการตั้งท้อง

ในขณะที่โคแสดงการเป็นสัด จะมีผลทำให้ปริมาณน้ำนมลดลง เนื่องจากอิทธิพลของฮอร์โมน และปริมาณการกินได้ของโคลดลง หลังจากนั้นผลผลิตน้ำนมจะคืนสู่สภาพปกติ ในโคที่ท้องจะไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพน้ำนม โคที่ตั้งท้องในระยะแรกๆ ไม่ต้องการใช้อาหารในการตั้งท้องมาก แต่เมื่อการตั้งท้องอยู่ในระยะปลายใกล้คลอดจะมีเอมไซม์ ออกซีโทซิเนส (Oxytocinase) มากขึ้น และจะไปทำลายฮอร์โมนออกซีโทซิน โดยเป็นตัวกระตุ้นการปล่อยฮอร์โมนโปรแลคติน จากต่อมใต้สมองส่วนหน้า (วิศิษฐิพร, 2538) โดยเฉพาะก่อนคลอดประมาณ 4 สัปดาห์ ซึ่งเป็นผลให้โคลดปริมาณน้ำนม

2.6.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม

2.6.2.1 อุณหภูมิและความชื้น

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

2.6.2.2 ฤดูกาล

มีผลต่อผลผลิตและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม โดยปกติโคจะกินอาหารได้มากเมื่อมีอากาศหนาวเย็น และจะให้ผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้น ฤดูฝนเป็นเวลาที่โคจะให้ผลผลิตนมมากกว่าฤดูกาลอื่นๆ เพราะโคจะได้รับอาหารที่อุดมสมบูรณ์ ซึ่งเป็นผลทางอ้อมในการให้นม และมีอากาศเย็น ส่วนในฤดูร้อนโคจะให้นมน้อยลง

2.6.2.3 ระยะพักการให้นม (Dry period)

จะทำให้สภาพของโคเมื่อคลอดลูกสมบูรณ์ และทำให้ปริมาณน้ำนมที่โคผลิตได้สูงสุด โดยโคจะใช้อาหารที่สะสมไว้ในร่างกายมาสร้างเป็นองค์ประกอบของน้ำนม โคควรมีระยะพักการให้นมไม่เกิน 60 วัน ถ้าโคนมมีระยะพักนานเกินไป จะมีผลให้ผลผลิตน้ำนมทั้งหมดลดลง แต่ถ้ามีระยะพักการให้นมน้อยเกินไป ก็ทำให้ผลผลิตน้ำนมลดลงเช่นกัน Smith and Dodd (1966) พบว่าโคที่ไม่ได้มีระยะพักการให้นมจะทำให้ผลผลิตน้ำนมต่ำกว่าโคที่มีระยะพักการให้นม 56 – 62 เปอร์เซ็นต์

2.6.2.4 การรีดนม

ปกติการรีดนมมักจะทำกันวันละ 2 ครั้ง เช้า และเย็น และระยะห่างไม่ค่อยเท่ากันคือไม่ทุก 12 ชั่วโมง โดยที่ระยะช่วงเย็นถึงเช้าจะนานกว่าระยะช่วงเช้าถึงเย็น ช่วงระยะเวลาที่ยาวกว่าจะได้ปริมาณน้ำนมสูงกว่า แต่องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมจะต่ำกว่า คือ เปอร์เซ็นต์ไขมันจะต่ำกว่าในช่วงระยะเวลาที่สั้นกว่า นอกจากนี้จำนวนครั้งของการรีดนมก็มีผลต่อปริมาณน้ำนม เช่นการรีดนม 3 ครั้งต่อวัน จะได้ปริมาณน้ำนมสูงกว่าการรีด 2 ครั้งต่อวัน การรีดนมไม่หมดเต้ามีผลทำให้ผลผลิตและเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมลดลง เนื่องจากน้ำนมที่ค้างอยู่ในเต้าเป็นน้ำนมที่มีไขมันสูง การที่น้ำนมค้างเต้าเป็นระยะเวลาหลายวัน จะทำให้ผลผลิตของน้ำนมลดลง และเปอร์เซ็นต์ไขมันเพิ่มขึ้น

2.6.2.5 อาหารและการให้อาหาร

มีผลต่อการให้ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม ทั้งทางตรงและทางอ้อม ปริมาณน้ำนมที่ผลิตได้เป็นผลมาจากระดับของโภชนะที่สัตว์ได้รับ ถ้าได้รับโภชนะต่ำกว่าปกติจะมีผลทำให้ปริมาณน้ำนม และน้ำตาลแลคโตส ในน้ำนมลดลง แต่ถ้าได้รับโภชนะสูงกว่าปกติจะไม่มีผลทำให้ปริมาณน้ำนม และน้ำตาลแลคโตส ในน้ำนมสูงขึ้นมากนัก การขาดอาหารหยาบ จะมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ไขมันต่ำกว่าปกติ Dhiman et al. (1995) ศึกษาสัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้น พบว่า เมื่ออาหารหยาบสูงขึ้นจะมีผลทำให้ปริมาณการกินได้วัตถุแห้งของโคลดลง แต่เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับรายงานของ MacLeod and Wood (1972)

บทที่ 3
การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี การประเมินคุณค่าทางพลังงาน และการศึกษาการย่อยสลายในกระเพาะหมักของกากมันสำปะหลัง

คำนำ

วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตโคนมนั้นมีมากมายหลายชนิด อาทิ มันสำปะหลังตากแห้ง ข้าวโพดบด รำข้าว กากเมล็ดพืชน้ำมัน และอื่นๆ วัตถุดิบอาหารสัตว์เหล่านี้มีองค์ประกอบทางเคมี คุณค่าพลังงาน และการย่อยสลายในกระเพาะหมักแตกต่างกัน ในขณะที่วัตถุดิบอาหารสัตว์หลายชนิดได้มีการศึกษาถึงองค์ประกอบทางเคมี การประเมินคุณค่าทางพลังงาน และการย่อยสลายในกระเพาะหมักอย่างกว้างขวาง กากมันสำปะหลังกลับมีการศึกษาน้อยมาก โดยเฉพาะในประเทศไทย การศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงต้องการที่จะศึกษาในเชิงลึกถึงองค์ประกอบต่างๆ ที่มีอยู่ในกากมันสำปะหลัง รวมทั้งประเมินคุณค่าทางพลังงานและการย่อยสลายในกระเพาะหมัก

วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลังและวัตถุดิบอาหารสัตว์ นำผลวิเคราะห์ทางเคมีประเมินคุณค่าทางพลังงานของกากมันสำปะหลังตามสมการที่แนะนำโดย NRC (2001) และหาค่าการย่อยสลายในกระเพาะหมักของโคนม

3.1 อุปกรณ์และวิธีการ

3.1.1 ทำการสุ่มตัวอย่างกากมันสำปะหลัง และ วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นองค์ประกอบในสูตรอาหาร (ข้าวโพดบด, รำละเอียด, กากถั่วเหลือง) นำมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 ชั่วโมง เพื่อหาวัตถุแห้ง (Dry matter, DM) (AOAC, 1990)

3.1.2 นำตัวอย่างกากมันสำปะหลัง และ วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นองค์ประกอบในสูตรอาหาร (ข้าวโพดบด, รำละเอียด, กากถั่วเหลือง) มาทำการบดด้วยเครื่องบดผ่านตะแกรงขนาด 1.0 มิลลิเมตร แล้วนำตัวอย่างที่ได้เก็บไว้ในภาชนะที่ปิดสนิท เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและการย่อยสลายในกระเพาะหมักต่อไป

3.1.4 นำตัวอย่างกากมันสำปะหลัง และ วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นองค์ประกอบในสูตรอาหาร (ข้าวโพดบด, รำละเอียด, กากถั่วเหลือง) มาวิเคราะห์เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมี โดยการใช้วิธีการวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis) (AOAC, 1990) ซึ่งวิเคราะห์วัตถุแห้งโดยเครื่อง Hot air oven, โปรตีนหยาบ (Crude protein, CP) โดยเครื่อง Kjeltec auto analyzer

วัตถุแห้ง โดยเครื่อง Hot air oven, โปรตีนหยาบ (Crude protein, CP)โดยเครื่อง Kjeltec auto analyser, ไขมัน (Ether extract)โดยเครื่อง Soxhlet auto analyser, เถ้า (Ash)โดยการเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ส่วนเยื่อใยหยาบ (Crude fiber, CF) และ การวิเคราะห์เยื่อใยโดย Detergent analysis (Goering and VanSoest, 1970) ได้แก่ เยื่อใยที่ไม่ละลายในดีเทอเจนที่เป็นกลาง (Neutral detergent fiber, NDF) เยื่อใยที่ไม่ละลายในดีเทอเจนที่เป็นกรด (Acid detergent fiber, ADF) และ Acid detergent lignin, ADL โดยเครื่อง Fibertec auto analyser

3.1.5 นำตัวอย่างกากมันสำปะหลัง และ วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นองค์ประกอบในสูตรอาหาร (ข้าวโพดบด, รำละเอียด, กากถั่วเหลือง) ที่ได้เก็บไว้ในข้อ 3.1.2 มาศึกษาการย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักโดยการใช้ถุงไนล่อน (Nylon bag) บ่มในกระเพาะหมักของโคเจาะกระเพาะ (Rumen degradability or in sacco digestibility) (Ørskov et al., 1980) โดยการนำตัวอย่างอาหารชนิดต่างๆ ที่บดไว้ และ ถุงไนล่อนที่มีขนาดรูพรุนของถุง 47 µm ที่ใช้ในการทดลองไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 – 2 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น ชั่งน้ำหนักวัตถุดิบประมาณ 5 – 6 กรัม ใส่ลงในถุงไนล่อนทำการชั่ง และ บันทึกน้ำหนักไว้แล้ว หลังจากนั้นนำถุงไนล่อนที่ใส่ตัวอย่างวัตถุดิบแล้วนำมาร้อยติดกับสายพลาสติกยาวประมาณ 90 เซนติเมตร นำไปบ่มในกระเพาะหมัก โดยให้สายพลาสติกอยู่ในส่วนที่ลึกที่สุดของกระเพาะหมัก และ ให้แต่ละถุงมีระยะเวลาการบ่มอยู่ในกระเพาะหมักต่างกันดังนี้ คือ 0, 2, 4, 6, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง โดยในแต่ละตัวอย่างทำ 3 ซ้ำ ใช้โคเจาะกระเพาะจำนวน 3 ตัว และ ให้ถุงที่ใส่ในโคแต่ละตัวเป็น 1 ซ้ำ

โคเจาะกระเพาะเป็นโคนมเพศเมียลูกผสมพันธุ์โฮลสไตส์ ฟรีเซียน (Holstein Friesian) สายเลือดประมาณ 87.5 เปอร์เซ็นต์ ได้รับหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ 12 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน และอาหารข้นสำเร็จรูป 6 กิโลกรัมต่อตัวต่อวันเมื่อบ่มถุงไนล่อนในกระเพาะหมักของโคได้ตามเวลาที่กำหนดแล้ว นำถุงทั้งหมดออกจากกระเพาะหมัก นำมาล้างเพื่อเอาเศษอาหารที่ติดจากกระเพาะหมักออก แล้วนำไปแช่แข็งเพื่อหยุดการทำงานของจุลินทรีย์ เมื่อได้ตัวอย่างครบตามเวลานำถุงไนล่อนทั้งหมดมาล้างผ่านน้ำจนสะอาด หลังจากนั้นนำถุงไนล่อนทั้งหมดมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 ชั่วโมง และ นำไปชั่งเพื่อวิเคราะห์หาวัตถุแห้ง และนำอาหารที่เหลือจากการย่อยสลายในถุงไนล่อนไปวิเคราะห์หาเปอร์เซนต์ไนโตรเจน โดยทำการรวมตัวอย่างจากโคตัวที่ 1, 2 และ 3 เข้าไว้ด้วยกัน จากนั้นนำค่าสัดส่วนที่สูญหายไปในระยะเวลาต่างๆ ของวัตถุแห้ง และ ไนโตรเจน มาคำนวณหาอัตราการย่อยสลายได้ต่อไป

นำค่าสัดส่วนโปรตีนที่สูญหายไปในระยะเวลาต่างๆ ที่นำถุงออกมาจากระเพาะหมักมาคำนวณโดยใช้สมการที่ แนะนำโดย (Ørskov and Mehrez, 1979)

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

เมื่อ *dg* = degradability of protein

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

การคำนวณค่าปริมาณการย่อยสลายของโปรตีนที่ทิ้งไว้ในช่วงระยะเวลาต่างๆมาคำนวณอัตราการย่อยสลายในกระเพาะหมักโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป NEWAY EXCEL (Ørskov and McDonald, 1979) ตามสมการดังนี้

$$dg = \frac{a + bc}{(c + k)}$$

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

$$RDP = CP \times dg$$

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

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำผลการวิเคราะห์ตัวอย่างกากมันสำปะหลัง และ วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นองค์ประกอบในสูตรอาหาร(ข้าวโพดบด, รำละเอียด, กากถั่วเหลือง) และการย่อยสลายในกระเพาะหมัก มาหาค่าเฉลี่ยและนำเสนอในรูป Mean $\pm$ SE

3.3 สถานที่ทำการทดลอง

ฟาร์มมหาวิทยาลัย อาคารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 3 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.4 ระยะเวลาทำการทดลอง

เริ่มทดลองตั้งแต่วันที่ 1 พฤศจิกายน พ.ศ. 2546 ถึง 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2546

3.5 ผลการทดลอง

3.5.1 องค์ประกอบทางเคมีกากมันสำปะหลัง และ วัตถุดิบอาหารสัตว์

จากการศึกษาองค์ประกอบของวัตถุดิบอาหารสัตว์ แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 พบว่า กากมันสำปะหลังมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนและไขมัน Neutral detergent insoluble protein (NDICP) และ Acid detergent insoluble protein (ADICP) มีค่าต่ำกว่า ข้าวโพด กากถั่วเหลือง และ รำข้าว แต่พบว่าวัตถุแห้งนั้นมีค่าใกล้เคียงกับข้าวโพด กากถั่วเหลือง และ รำข้าว ส่วนเถ้าสูงกว่าข้าวโพด แต่มีค่าต่ำกว่ากากถั่วเหลือง และ รำข้าว เปอร์เซ็นต์เยื่อใย, ADF และ ADL มีค่าสูงกว่าข้าวโพด และ กากถั่วเหลือง แต่มีค่าต่ำกว่ารำข้าว และมี NDF สูงกว่าข้าวโพด กากถั่วเหลือง และ รำข้าว

ตารางที่ 3.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลังและวัตถุดิบอาหารสัตว์

เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง	วัตถุดิบ			
	กากมันสำปะหลัง	ข้าวโพด	กากถั่วเหลือง	รำข้าว
วัตถุแห้ง	92.6 ± 0.06	92.5± 0.15	92.1±0.18	93.0± 0.10
โปรตีน	2.6 ±0.06	8.8 ±0.09	48.5 ±0.03	12.1± 0.04
ไขมัน	0.2 ±0.04	4.7± 0.04	0.9± 0.03	19.2 ±0.02
เถ้า	3.8± 0.01	2.5 ±0.01	6.6 ±0.08	13.9± 0.05
เยื่อใย	6.6± 0.04	2.7 ±0.02	5.9 ±0.08	14.6 ±0.09
NDF	37.6± 0.18	9.7± 0.04	15.3± 0.12	30.7 ±0.03
ADF	9.8± 0.12	3.5± 0.04	9.1 ±0.20	21.7± 0.05
ADL	3.9±0.04	1.3±0.01	1.3±0.06	9.6±0.19
NFC[1/]	55.9±0.17	73.4±0.10	27.8±0.15	26.1±0.10
NDIN	0.1±0.01	1.0±0.01	1.1±0.04	1.2±0.001
NDICP	0.7±0.05	6.3±0.04	6.6±0.23	7.7±0.001
ADIN	0.1±0.04	0.8±0.01	0.8±0.03	0.7±0.01
ADICP	0.3±0.04	4.9±0.08	4.9±0.16	4.6±0.04

หมายเหตุ

Mean ± SE

[1/] NFC (%) = 100 - (%NDF + %CP + %Fat + %Ash)

3.5.2 การประเมินค่าพลังงานในกากมันสำปะหลังและวัตถุดิบอาหารสัตว์

เมื่อนำผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลังและวัตถุดิบอาหารสัตว์จากตารางที่ 3.1 มาคำนวณหาค่าพลังงานประเภทต่างๆตามสมการของ NRC (2001) จะได้ค่าพลังงานของกากมันสำปะหลังและวัตถุดิบอาหารสัตว์ดังตารางที่ 3.2 พบว่ากากมันสำปะหลังมีโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (Total digestible nutrient, TDN_{1X}) , ค่าพลังงานการย่อยได้ (DEp), พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (MEp) และค่าพลังงานสุทธิ (NEp) มีค่าต่ำกว่า ข้าวโพด, กากถั่วเหลือง และ รำข้าว นอกจากนี้พบว่ากากถั่วเหลืองมีค่าโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP) และ โปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP) สูงกว่ารำข้าว และ ข้าวโพดตามลำดับ

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าพลังงานของวัตถุดิบอาหารสัตว์

	วัตถุดิบ			
	กากมันสำปะหลัง	**ข้าวโพด**	**กากถั่วเหลือง**	**รำข้าว**
TDN_{1X}(%)[1/]	70.26±0.14	87.99±0.01	79.50±0.10	78.59±0.07
DE_{1X}(Mcal/kg)[2/]	2.98±0.01	3.78±0.01	3.91±0.01	3.43±0.01
DE_p(Mcal/kg)[3/]	2.78±0.01	3.31±0.01	3.54±0.01	3.09±0.01
ME_P(Mcal/kg)[4/]	2.36±0.01	2.89±0.01	3.12±0.01	2.67±0.01
NE_{LP}(Mcal/kg)[5/]	1.47±0.01	1.84±0.01	2.01±0.01	1.69±0.01
RDP (g/kgDM)	-	52.58±0.57	310.50±0.17	71.20±0.25
RUP(g/kgDM)	-	35.06±0.38	174.66±0.09	49.48±0.18

หมายเหตุ

Mean ± SE

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

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

[3/] DE_p(Mcal/kg) = {[(TDN_{1X} –[(0.18 X TDN_{1X}) – 10.3]) X Intake]/ TDN_{1X}} X DE_{1X}

[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 Tyreell, 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%)

3.5.3 การย่อยสลายของวัตถุแห้งของกากมันสำปะหลังและวัตถุดิบอาหารสัตว์

จากการศึกษาการย่อยสลายได้วัตถุแห้งของกากมันสำปะหลัง ข้าวโพด กากถั่วเหลือง และรำข้าว แสดงไว้ในตารางที่ 3.3 พบว่าเมื่อวัตถุดิบอาหารสัตว์มีระยะเวลาอยู่ในกระเพาะหมักนานขึ้น วัตถุดิบอาหารสัตว์ทุกชนิดมีอัตราการย่อยสลายในกระเพาะหมักนานขึ้นตามเวลา โดยมีกากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีอัตราการย่อยสลายได้ของวัตถุแห้งสูงกว่าข้าวโพดแต่มีอัตราการย่อยสลายของวัตถุแห้งต่ำกว่ารำข้าวและกากถั่วเหลือง

3.5.4 การย่อยสลายของโปรตีนของกากมันสำปะหลังและวัตถุดิบอาหารสัตว์

จากการศึกษาการย่อยสลายโปรตีนของข้าวโพด กากถั่วเหลือง และ รำข้าว แสดงไว้ในตารางที่ 3.4 พบว่าเมื่อวัตถุดิบอาหารสัตว์มีระยะเวลาอยู่ในกระเพาะหมักนานขึ้น วัตถุดิบอาหารสัตว์ทุกชนิดมีอัตราการย่อยสลายโปรตีนในกระเพาะหมักนานขึ้นตามเวลา โดยมีกากถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีอัตราการย่อยสลายได้ของโปรตีนสูงที่สุด

ตารางที่ 3.3 แสดงการย่อยสลายวัตถุแห้งของวัตถุดิบอาหารสัตว์ในกระเพาะหมัก

วัตถุดิบ	วัตถุแห้ง							$dg^{1/}$
	0 ชั่วโมง	**2 ชั่วโมง**	**4 ชั่วโมง**	**6 ชั่วโมง**	**12 ชั่วโมง**	**24 ชั่วโมง**	**48 ชั่วโมง**	
กากมันสำปะหลัง	28.7±0.3	45.9±0.2	48.1±0.2	49.4±0.3	62.5±0.1	65.9±0.1	85.2±0.1	56.8
ข้าวโพด	30.9±0.3	43.9±0.1	44.5±0.1	46.8±0.3	57.1±0.1	66.2±0.2	81.1±0.1	54.0
กากถั่วเหลือง	23.3±0.4	45.8±0.1	51.6±0.1	56.7±0.2	67.8±0.1	73.6±0.1	98.2±0.2	62.3
รำข้าว	25.0±0.1	42.9±0.1	48.9±0.1	54.1±0.5	65.3±0.1	71.6±0.4	90.2±0.2	59.4

หมายเหตุ Mean ± SE

[1/]Effective degradability of DM

ตารางที่ 3.4 แสดงการย่อยสลายโปรตีนของวัตถุดิบอาหารสัตว์ในกระเพาะหมัก

วัตถุดิบ	โปรตีน							$dg^{1/}$
	0 ชั่วโมง	**2 ชั่วโมง**	**4 ชั่วโมง**	**6 ชั่วโมง**	**12 ชั่วโมง**	**24 ชั่วโมง**	**48 ชั่วโมง**	
ข้าวโพด	28.1±0.46	43.9±0.11	48.7±0.23	54.5±0.01	65.8±0.05	74.2±0.06	86.3±0.23	60.0
กากถั่วเหลือง	25.5±0.53	47.0±0.21	53.6±0.10	58.3±0.05	69.9±0.11	75.4±0.28	98.1±0.10	64.0
รำข้าว	11.7±0.12	33.4±0.08	41.4±0.06	49.3±1.07	63.8±0.26	71.7±0.30	90.4±0.37	55.4

หมายเหตุ Mean ± SE

[1/]Effective degradability of protein

ตารางที่ 3.5 แสดงเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายวัตถุแห้งและการย่อยสลายโปรตีนของวัตถุดิบอาหารสัตว์

Disappearance (%)	**วัตถุดิบ**			
	กากมันสำปะหลัง	**ข้าวโพด**	**กากถั่วเหลือง**	**รำข้าว**
DM disappearance (%)				
A	28.70	30.90	25.00	23.30
B	69.70	65.90	76.50	72.80
C	0.215	0.027	0.022	0.039
A+B	98.40	96.80	99.80	97.80
Effective degradability (%)*	56.8	54.0	62.3	59.4
CP disappearance (%)				
A	-	28.10	25.50	11.70
B	-	60.20	73.50	78.90
C	-	0.060	0.028	0.058
A+B	-	88.30	99.00	90.60
Effective degradability (%)*	-	60.0	64.0	55.4

หมายเหตุ

*Outflow rate (fraction/h) = 0.08

3.6 วิจารณ์ผลการทดลอง

3.6.1 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารสัตว์แต่ละชนิด

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารสัตว์แต่ละชนิดพบว่า กากมันสำปะหลังมีองค์ประกอบทางเคมีคือโปรตีน และ ไขมันต่ำ โดยที่เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งมีค่า 92.63 สูงกว่าที่ Lim (1967) และ Khang et al., (2000) ได้รายงานไว้ที่ 88.8 และ 91.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งที่สูงนี้อาจเกิดจากอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมในขณะตากกากมันสำปะหลังให้แห้ง และเปอร์เซ็นต์ไขมันต่ำกว่าที่ Lim (1967) และ Khang et al., (2000) รายงาน (0.15, 0.55 และ 2.24 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ) เปอร์เซ็นต์โปรตีนพบว่าสูงกว่าที่ Preston (2002) และ Khang et al., (2000) รายงาน (2.59, 2.0 และ 1.08 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ) อย่างไรก็ตามเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง ไขมัน และ โปรตีนขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการผลิตของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังและอายุของมันสำปะหลัง ส่วนเปอร์เซ็นต์เยื่อใยใกล้เคียงกับ Preston (2002) (6.55 และ 5.0 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ) NDF ที่วิเคราะห์ได้สูงกว่า Preston (2002) (37.60 และ 34.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ส่วนเปอร์เซ็นต์เถ้าที่สูงกว่าที่ Preston (2002) รายงาน (3.37 และ 3.0 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ) ซึ่งอาจมีการปนเปื้อนของดินในขณะตากกากมันสำปะหลัง ส่วน ADF พบว่าใกล้เคียงกับ Preston (2002) แต่สูงกว่ารายงานของ Khang et al., (2000) (9.79, 8.0 และ 3.42 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ซึ่งจะเห็นว่ากากมันสำปะหลังมีองค์ประกอบที่มีคุณค่าทางโภชนะที่ค่อนข้างต่ำโดยเฉพาะโปรตีน ซึ่งคุณค่าทางโภชนะในกากมันสำปะหลังนั้นขึ้นอยู่กับอายุของมันสำปะหลังที่ส่งเข้าโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง พันธุ์มันสำปะหลัง ซึ่งสายพันธุ์ที่มีการสะสมแป้งมากที่สุดได้แก่ *Manihot esculenta*, Crantz. การใส่ปุ๋ยทั้งปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยวิทยาศาสตร์ ความอุดมสมบูรณ์ของดินของพื้นที่ในการทำเขตกรรม ฤดูกาลในการปลูกมันสำปะหลัง นอกจากนี้กรรมวิธีกระบวนการสกัดแป้งออกก็ยังส่งผลถึงองค์ประกอบทางโภชนะของกากมันสำปะหลังอีกด้วย (เจริญศักดิ์, 2519)

ข้าวโพดบด มีโปรตีนต่ำกว่าที่รายงานโดย Preston (2002) แต่สูงกว่ารายงานของอุทัย (2537) (8.76, 9.00 และ 8.00 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ) ส่วนเปอร์เซ็นต์ไขมันพบว่าสูงกว่าที่ Preston (2002) และ อุทัย (2537) รายงาน (4.69, 4.30 และ 4.00 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ) เปอร์เซ็นต์เยื่อใยพบว่าสูงกว่าที่ Preston (2002) และ อุทัย (2537) รายงาน (2.70, 2.00 และ 2.50 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ) ส่วนเปอร์เซ็นต์เถ้าพบว่าสูงกว่า Preston (2002) (2.46 และ 2.00 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ) และเปอร์เซ็นต์ NDF และ ADF สูงกว่าที่ Preston (2002) รายงานไว้ (9.73 และ 9.00 เปอร์เซ็นต์) และ (3.51 และ 3.00 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกากถั่วเหลือง พบว่ามีเปอร์เซ็นต์โปรตีนสูงมาก (48.52 เปอร์เซ็นต์) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับ NRC (1988) และ McDonald et al., (1995) พบว่า

มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนต่ำกว่าเล็กน้อย (49.9 และ 50.3 เปอร์เซ็นต์) ส่วนเปอร์เซ็นต์ไขมันต่ำกว่า NRC (1988) และ McDonald et al., (1995) (0.9, 1.5 และ 1.7 เปอร์เซ็นต์) และเปอร์เซ็นต์เยื่อใยต่ำกว่าที่ Preston (2002) รายงานไว้เพียงเล็กน้อย (5.9และ 6.0 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการสกัดน้ำมัน และพันธุ์ของถั่วเหลือง

รำละเอียดพบว่ามีองค์ประกอบทางเคมีของโปรตีนสูงกว่า Preston (2002) และ IMC-Agrico (1996) รายงาน (15.6, 14.0 และ 12.0 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ) และเปอร์เซ็นต์ไขมันสูงกว่าที่ Preston (2002) และ IMC-Agrico (1996) รายงาน (19.2, 19.0 และ 11.0 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ) แต่พบว่าเปอร์เซ็นต์เยื่อใยสูงกว่าที่ Preston (2002) รายงาน (14.6 และ 13.0 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการในการขัดเมล็ดข้าว

3.6.2 การประเมินคุณค่าทางพลังงานของกากมันสำปะหลังและวัตถุดิบอาหารสัตว์

เมื่อนำผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีไปคำนวณหาค่าพลังงานประเภทต่างๆ ตามวิธีการของ NRC (2001) พบว่ากากมันสำปะหลังมีพลังงานในรูปของโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (Total digestible nutrient, TDN_{1X}) เท่ากับ 70.3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต่ำกว่าที่ Preston (2002) รายงานไว้ที่ 89.0 เปอร์เซ็นต์ แต่จากการใช้ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีประเมินค่าพลังงานของวัตถุดิบอาหารสัตว์ประเภทต่างๆ พบว่ากากมันสำปะหลังมีโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมดต่ำที่สุด ซึ่งวัตถุดิบแหล่งพลังงานในอาหารโคนมที่มีโภชนะที่ย่อยได้ใกล้เคียงกับกากมันสำปะหลังได้แก่ กากมะพร้าว และ กากปาล์ม เป็นต้น ซึ่งวัตถุดิบอาหารสัตว์ประเภทพลังงานที่มีโภชนะย่อยได้ทั้งหมดสูงได้แก่ ข้าวโพด (88.0 เปอร์เซ็นต์) และ รำข้าว (78.6 เปอร์เซ็นต์)

3.6.3 การย่อยสลายวัตถุแห้งของวัตถุดิบอาหารสัตว์

จากการศึกษาการย่อยสลายของวัตถุแห้งของวัตถุดิบอาหารสัตว์แต่ละชนิด พบว่า กากมันสำปะหลังมีการย่อยสลายของวัตถุแห้งที่เวลาต่างๆ สูงกว่าข้าวโพด และมีประสิทธิภาพการย่อยสลายของวัตถุแห้ง (Effective degradability of DM, dgDM) สูงกว่าข้าวโพด (56.8 และ 54.0 ตามลำดับ) แต่จากการศึกษาของ พีระพจน์ และกฤตพล (2544) เกี่ยวกับประสิทธิภาพการย่อยได้ของวัตถุดิบอาหารสัตว์ในกระบือปลัก พบว่าประสิทธิภาพการย่อยสลายได้ของวัตถุแห้งของกากมันสำปะหลังมีค่าต่ำกว่าข้าวโพดแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 94.0 และ 94.4 ตามลำดับ เนื่องจากกากมันสำปะหลังมีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ง่ายสูง ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นประโยชน์ในอาหารสัตว์ทดแทนข้าวโพดได้ดี แต่มีปริมาณโปรตีนต่ำ ดังนั้น

ในสูตรอาหารจึงมีการใช้กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีน ซึ่งพบว่ากากถั่วเหลืองมีการย่อยสลายของวัตถุแห้งเท่ากับ 62.3 และรำข้าวมีการย่อยสลายของวัตถุแห้งเท่ากับ 59.4

3.6.4 การย่อยสลายโปรตีนของวัตถุดิบอาหารสัตว์

จากการศึกษาการย่อยสลายของโปรตีนของวัตถุดิบอาหารสัตว์แต่ละชนิดได้แก่ ข้าวโพด กากถั่วเหลือง รำข้าว พบว่า กากถั่วเหลือง และมีประสิทธิภาพการย่อยสลายของโปรตีน (Effective degradability of protein, dgCP) สูงที่สุด (0.60, 0.64 และ 0.59 ตามลำดับ) เนื่องจากวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนค่อนข้างต่ำจะไม่สามารถหาประสิทธิภาพการย่อยสลายโปรตีนในกระเพาะหมักได้ ดังนั้นจึงไม่สามารถหาประสิทธิภาพการย่อยสลายโปรตีนของกากมันสำปะหลังได้

3.7 สรุป

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารสัตว์แต่ละชนิด พบว่าคุณค่าทางโภชนะมีค่าใกล้เคียงกับที่ได้มีรายงานไว้โดยผู้วิจัยและสถาบันต่างๆ ซึ่งจากการศึกษาคุณค่าทางโภชนะของกากมันสำปะหลังมีองค์ประกอบทางเคมีเหมาะสมจะนำมาเป็นวัตถุดิบพลังงานในสูตรอาหารได้ นอกจากนี้กากมันสำปะหลังมีคุณสมบัติการย่อยสลายในกระเพาะหมักสูงกว่าข้าวโพด ซึ่งเป็นวัตถุดิบพลังงานประเภทเดียวกัน แต่จากการศึกษาโดยการประเมินคุณค่าทางพลังงานของโภชนะย่อยได้ทั้งหมดของกากมันสำปะหลังพบว่ากากมันสำปะหลังมีโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมดต่ำกว่าข้าวโพด และ รำข้าว ซึ่งเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ประเภทพลังงานเช่นเดียวกัน ดังนั้นในสูตรอาหารจึงควรใช้ ข้าวโพด และ รำข้าว เป็นแหล่งของพลังงานในสูตรอาหารร่วมด้วย ซึ่งน่าจะมีส่วนช่วยให้โคนมได้รับพลังงานที่ย่อยได้ทั้งหมดสูงกว่าจะใช้กากมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียวในสูตรอาหาร และเนื่องจากกากมันสำปะหลังมีไขมันเป็นองค์ประกอบค่อนข้างต่ำมาก ดังนั้นการใช้รำข้าวซึ่งมีองค์ประกอบของไขมันสูงในสูตรอาหารนอกจากจะเป็นแหล่งพลังงานแล้วยังมีส่วนช่วยในการหล่อลื่นเครื่องผสมอาหารอีกด้วย และพบว่าองค์ประกอบทางเคมี โดยเฉพาะโปรตีนของกากมันสำปะหลังค่อนข้างต่ำ ดังนั้นในประกอบสูตรอาหารจึงต้องใช้วัตถุดิบที่มีโปรตีนสูงเป็นแหล่งโปรตีน ซึ่งวัตถุดิบที่มีโปรตีนสูง ได้แก่ กากถั่วเหลือง

บทที่ 4
การศึกษาระดับสูงสุดของการใช้กากมันสำปะหลังเป็นแหล่งวัตถุดิบพลังงานในอาหารข้นต่อการให้ผลผลิตของโคนม

คำนำ

การเลี้ยงโคนมในประเทศไทยมีปริมาณการเลี้ยงเพิ่มจำนวนมาก ทำให้วัตถุดิบอาหารสัตว์ไม่เพียงพอต่อความต้องการสำหรับโคนม ปัจจุบันวัตถุดิบอาหารสัตว์มีมากมายหลายชนิด ซึ่งในสภาวะขาดแคลนทำให้วัตถุดิบมีราคาแพงจึงได้มีการนำกากมันสำปะหลังซึ่งเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลังมาเป็นแหล่งพลังงานในสูตรอาหารโคนม แต่พบว่างานวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบพลังงานในอาหารข้นสำหรับโครีดนมยังมีน้อยมาก นอกจากนี้ระดับที่เหมาะสมของการใช้กากมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบในอาหารข้นสำหรับโครีดนมนั้นยังไม่มีดังนั้นในการศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับการใช้ได้ที่เหมาะสมของกากมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบในอาหารข้นสำหรับโครีดนม

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการใช้กากมันสำปะหลังเป็นแหล่งพลังงานในอาหารข้นต่อปริมาณน้ำนม ส่วนประกอบของน้ำนม น้ำหนักตัวเปลี่ยนแปลงของโครีดนมในช่วงกลางระยะให้นม และการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด - ด่างในกระเพาะหมักโคนม

4.1 อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาการใช้กากมันสำปะหลังเป็นแหล่งวัตถุดิบพลังงานในอาหารข้นต่อการให้ผลผลิตของน้ำนม คุณภาพของน้ำนมของโคนมลูกผสมพันธุ์โฮสไตน์ฟรีเชียน (Crossbred Holstein Friesian) ระดับเลือดไม่ต่ำกว่า 87.5% และอยู่ในช่วงกลางของการให้นม (Mid lactation)

4.1.1 แผนการทดลองและการจัดการให้อาหาร

ทำการจัดกลุ่มแบบ Stratified random balance group โดยจัดโคนมออกเป็น 3 กลุ่มการทดลอง โดยจัดกลุ่มตามปริมาณการให้น้ำนม ระยะเวลาในการให้น้ำนม อายุ (เดือน) จำนวนท้อง และ น้ำหนักตัว (กิโลกรัม) แล้วทำการจัดกลุ่มการทดลองตามค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัยให้มีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง โดยใช้โคนมลูกผสมโฮลสไตลน์ฟรีเชียนในระยะกลางของการให้นมจำนวน 24 ตัว

ตารางที่ 4.1 แสดงคุณสมบัติของกลุ่มโครีดนมระยะกลางของการให้นมที่ใช้ในการทดลอง

รายละเอียด	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 3
ปริมาณน้ำนม (กิโลกรัม/วัน)	15.5±0.4	15.6±0.4	16.1±0.3
ระยะเวลาการให้นม(วัน)	91.8±32.7	90.5±30.4	90.8±40.8
น้ำหนักตัว(กิโลกรัม)	422.1±5.4	421.9±4.4	423.3±86.0
จำนวนครั้งการให้นม	2.0±1.3	1.9±2.0	2.0±0.8
อายุ (เดือน)	48.8±20.5	43.3±8.9	48.4±16.0

หมายเหตุ ค่าที่แสดงอยู่ในรูป Mean ± SD

โคนมทุกตัวถูกขังคอกเดี่ยว มีอ่างสำหรับใส่น้ำให้กินตลอดเวลาโดยวางแผนการทดลองแบบ Simple comparison (Steel and Torries, 1980) ในการทดลองครั้งนี้ได้ทำการผสมอาหารข้นทั้งสิ้น 3 สูตร ด้วยเครื่องผสมอาหารชนิดถังนอน ในการให้อาหารกับโคนมจะให้เป็นรายตัว โดยจ่ายอาหารแยกเป็นอาหารข้น (Concentrate) และ อาหารหยาบ (Roughage) อาหารข้นในแต่ละกลุ่มการทดลองจะควบคุมปริมาณโปรตีน โดยทุกกลุ่มการทดลองจะได้รับแหล่งของอาหารหยาบชนิดเดียวกัน คือ หญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ และให้อาหารในช่วงเช้าเวลา 07.30 น. และช่วงบ่ายเวลา 15.00 น. ของทุกวันตลอดการทดลองโดยโคนมในแต่ละกลุ่มจะได้รับอาหารข้นตามสูตรอาหารดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงชนิด และ ปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองที่ 1

วัตถุดิบ/100กิโลกรัม (น้ำหนักสด)	สูตรที่ 1 (35%CRM)	สูตรที่ 2 (40%CRM)	สูตรที่ 3 (45%CRM)
กากมันสำปะหลัง	35	40	45
ข้าวโพดบด	30	25	20
กากถั่วเหลือง	34	34	34
พรีมิกซ์	0.5	0.5	0.5
แร่ธาตุ	0.5	0.5	0.5

โดยที่ CRM = Cassava root meal

กลุ่มการทดลองที่ 1 ได้รับอาหารสูตร 35%CRM และหญ้าหมัก

กลุ่มการทดลองที่ 2 ได้รับอาหารสูตร 40%CRM และหญ้าหมัก

กลุ่มการทดลองที่ 3 ได้รับอาหารสูตร 45%CRM และหญ้าหมัก

4.1.2 วิธีการทดลองและการเก็บข้อมูล

เมื่อทำการคัดเลือกตามกลุ่มแผนการทดลองแล้ว ทำการให้อาหาร และ ใช้ระยะเวลาในการปรับตัวสัตว์ทดลองประมาณ 1 สัปดาห์ เพื่อให้สัตว์คุ้นเคยกับสภาพคอกทดลอง และ อาหารทำการเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 30 วัน ซึ่งแบ่งออกเป็น 6 ช่วงการทดลอง ช่วงละ 5 วัน โดยมีการบันทึก

4.1.2.1 ข้อมูลน้ำนม

ทำการบันทึกการให้ผลผลิตน้ำนมของโคนมทุกวันตลอดระยะเวลาของการทดลอง และสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำนมทุกช่วง 5 วัน ช่วงละ 1 ครั้ง โดยแบ่งเป็น นมช่วงเย็น และ ช่วงเช้า นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม (ไขมันนม, โปรตีนนม, แลคโตส, ของแข็งพร่องไขมัน และ ของแข็งรวมในนม) (Milkoscan รุ่น S50) แล้วจึงนำมาคำนวณตามอัตราส่วนปริมาณน้ำนม

4.1.2.2 ปริมาณการกินได้

ทำการวัดการกินได้ทุกช่วง 5 วัน ช่วงละ 1 ครั้ง ติดต่อกันตลอดการทดลอง โดยสุ่มเก็บอาหารก่อนกิน และ หลังกิน 10 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำมาอบที่ 60 องศาเซลเซียส นาน 36 ชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์หาวัตถุแห้ง (AOAC, 1990) เมื่อครบตามระยะเวลาก็นำตัวอย่างที่เก็บไว้ตลอดช่วงการทดลองมารวมกัน และทำการสุ่มตัวอย่างอีกครั้ง ให้ได้อาหารก่อนกิน และ หลังกินของโคนมทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง เพื่อนำไปบดและวิเคราะห์ส่วนประกอบทางโภชนะในอาหารโดยวิธี Proximate Analysis ต่อไป

4.1.2.3 การวัดน้ำหนักตัว

ทำการชั่งน้ำหนักตัวก่อน และ หลังการทดลองของโคนมทุกตัว ทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง

4.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

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

4.3 สถานที่ทำการทดลอง

ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อาคารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 3 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.4 ระยะเวลาทำการทดลอง

เริ่มทดลองตั้งแต่วันที่ ธันวาคม 2546 ถึง มกราคม 2547

4.5 ผลการทดลอง

4.5.1 องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารและการประเมินพลังงานโดยการคำนวณจากสมการ NRC (2001) ที่โคนมได้รับจากสูตรอาหารและหญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ

การประเมินพลังงานโดยการคำนวณจากสมการ NRC (2001) ที่โคนมได้รับจากอาหารข้นสูตรทดลองที่ 1 อาหารข้นทดลองสูตรที่ 2 อาหารข้นทดลองสูตรที่ 3 และหญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ และ องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารที่ใช้ในการเลี้ยงโคนมทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 4.3 และ 4.4 กล่าวคือ กลุ่มการทดลองที่ 1 คือ โคนมกลุ่มที่ได้รับอาหารข้นในสูตรที่ 1 และได้รับหญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ กลุ่มการทดลองที่ 2 คือ โคนมกลุ่มที่ได้รับอาหารข้นในสูตรที่ 2 และได้รับหญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ กลุ่มการทดลองที่ 3 คือ โคนมกลุ่มที่ได้รับอาหารข้นในสูตรที่ 3และได้รับหญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ พบว่า ส่วนประกอบทางโภชนะของอาหารที่ใช้เลี้ยงโคนมกลุ่มการทดลองที่ 1 มีโปรตีน วัตถุแห้ง ไขมัน สูงกว่าในกลุ่มการทดลองที่ 2 และ 3 ตามลำดับ และมี เถ้า เยื่อใย เยื่อใยที่ไม่ละลายในตัวทำละลายที่เป็นกลาง (NDF) เยื่อใย เยื่อใยที่ไม่ละลายในตัวทำละลายที่เป็นกรด (ADF) และ ลิกนิน (ADL) ต่ำกว่าในกลุ่มการทดลองที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ในส่วนของหญ้าหมักจะมีส่วนประกอบทางโภชนะที่ใกล้เคียงกันในทุกกลุ่มการทดลอง นอกเหนือไปจากนี้พบว่าหญ้าหมัก, อาหารข้นทดลองสูตร 1, อาหารข้นทดลองสูตร 2 และ อาหารข้นทดลองสูตร 3 นั้นให้พลังงาน TDN (%TDN) (55.19, 74.01, 72.48 และ 71.78 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ), พลังงานย่อยได้ (DE_p) (2.40, 3.10, 3.06 และ 3.04 Mcal/kgDM ตามลำดับ), พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (ME_p) (1.97, 2.68, 2.64 และ 2.62 Mcal/kgDM ตามลำดับ) และพลังงานสุทธิ (NE_p) (1.20, 1.70, 1.67 และ 1.65 Mcal/kgDM ตามลำดับ)

ตารางที่ 4.3 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารและหญ้าหมัก (Mean±SE)

	หญ้าหมัก	**35%CRM**	**40%CRM**	**45%CRM**
องค์ประกอบทางเคมี (%)				
วัตถุแห้ง	94.8±0.07	89.7±0.04	90.5±0.01	90.2±0.04
โปรตีน	6.4±0.21	21.6±0.02	21.4±0.02	21.3±0.02
ไขมัน	2.4±0.12	1.4±0.001	1.2±0.03	1.2±0.01
เถ้า	11.5±0.03	6.0±0.03	6.3±0.01	6.5±0.11
เยื่อใย	39.9±2.13	10.0±0.02	10.4±0.39	10.9±0.24
NDF	55.4±0.63	28.4±0.08	31.3±1.33	31.1±1.78
ADF	35.0±0.16	12.6±0.08	15.4±0.59	14.2±0.31
ADL	5.2±0.15	2.8±0.14	2.8±0.11	2.9±0.01
NDIN	0.6±0.03	1.4±0.01	1.4±0.01	1.2±0.01
ADIN	0.4±0.01	0.7±0.02	0.7±0.01	0.7±0.01

หมายเหตุ NDF = Neutral-detergent fiber, ADF = Acid-detergent fiber, ADL = Acid-detergent lignin, NDIN = Neutral-detergent insoluble nitrogen, ADIN = Acid- detergent insoluble nitrogen

ตารางที่ 4.4 แสดงการจำแนกประเภทของพลังงานโดยการคำนวณจากสมการของ NRC (2001) ที่โคนมได้รับจากสูตรอาหารและหญ้าหมัก (Mean±SE)

	หญ้าหมัก	**35%CRM**	**40%CRM**	**45%CRM**
พลังงาน TDN (%TDN) [/1]	55.19±0.54	74.01±0.11	72.48±0.25	71.78±0.77
พลังงานย่อยได้ DE (DE_p) Mcal/kgDM[/2]	2.40±0.02	3.10±0.02	3.06±0.01	3.04±0.02
พลังงานใช้ประโยชน์ ME (ME_p) Mcal/kgDM[/3]	1.97±0.02	2.68±0.02	2.64±0.01	2.62±0.02
พลังงานสุทธิ NE (NE_{LP}) Mcal/kgDM[/4]	1.20±0.01	1.70±0.01	1.67±0.01	1.65±0.02

หมายเหตุ

[/1] $TDN_{1X}(\%)$ = tdNFC + tdCP + (tdFA x 2.25) + tdNDF – 7

[/2] DE_p(Mcal/kg) = DE_{1X} x Discount ,

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

[/3] ME_p(Mcal/kg) = $[1.01 \times (DE_p) - 0.45] + 0.0046 \times (EE - 3)$ (กรณี EE > 3),

ME_p(Mcal/kg) = 1.01 x DE (Mcal/kg) – 0.45 (กรณีEE < 3)

[/4] NE_p(Mcal/kg) = $0.703 \times ME_p - 0.19 + ([0.0097 \times ME_p + 0.19)/97] \times [EE - 3]$ (กรณี EE > 3),

NE_p(Mcal/kg) = $[0.703 \times ME_p$(Mcal/kg)$] - 0.19$ (กรณี EE < 3)

4.5.2 ปริมาณการกินได้ของโคนม

ปริมาณการกินได้ของโคนมที่ได้รับจากอาหารข้นสูตรทดลองที่ 1 อาหารข้นทดลองสูตรที่ 2 อาหารข้นทดลองสูตรที่ 3 และ หญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ แสดงไว้ในตารางที่ 4.5 พบว่าปริมาณการกินได้วัตถุแห้ง, ปริมาณการกินได้โปรตีน และ ปริมาณการกินได้พลังงานสุทธิของของโคนมทั้ง 3 กลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ซึ่งปริมาณการกินได้โดยอิสระมีค่าเท่ากับ 15.1, 15.0 และ 15.9 kgDM/ตัว/วัน ปริมาณการกินได้โปรตีนมีค่าเท่ากับ 2,038, 2,043 และ 2,087 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ และปริมาณการกินได้พลังงานสุทธิมีค่าเท่ากับ 21.3, 21.4 และ 22.3 Mcal/kgDM ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณการกินได้ของโคนมที่ได้อาหารสูตรทดลองและหญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ (Mean±SE)

ปริมาณการกินได้	กลุ่มการทดลองที่ 1[1/]	กลุ่มการทดลองที่ 2[2/]	กลุ่มการทดลองที่ 3[3/]	Pr>F	SEM	%CV
ปริมาณการกินได้วัตถุแห้ง						
กิโลกรัม/ตัว/วัน	15.1±0.19	15.0±0.15	15.9±0.18	0.413	0.48	9.06
g/kg $W^{0.75}$	161±2.64	160±2.25	168±1.55	0.591	6.21	10.76
ปริมาณการกินได้โปรตีน						
กรัม/ตัว/วัน	2038±11.52	2043±10.58	2087±11.00	0.485	31.22	4.29
g/kg $W^{0.75}$	22±0.25	22±0.20	22±0.15	0.8443	0.59	7.68
ปริมาณการกินได้พลังงานสุทธิ						
Mcal/ตัว/วัน	21.7±0.22	21.4±0.20	22.3±0.21	0.553	5.89	7.64
Mcal/kg $W^{0.75}$	$0.2±0.01^{a}$	$0.2±0.01^{a}$	$0.8±0.01^{b}$	0.001	0.01	13.82

หมายเหตุ [1/] กลุ่มการทดลองที่ 1 คืออาหารสูตรที่ 1(35%CRM) ที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

[2/] กลุ่มการทดลองที่ 2 คืออาหารสูตรที่ 2 (40%CRM) ที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

[3/] กลุ่มการทดลองที่ 3 คืออาหารสูตรที่ 3 (45%CRM) ที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

4.5.3 ปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม

ปริมาณน้ำนม (กิโลกรัม/วัน) ปริมาณไขมันนม (กรัม/วัน) ปริมาณโปรตีนนม (กรัม/วัน) ปริมาณแล็คโตส (กรัม/วัน) ปริมาณของแข็งพร่องไขมัน (กรัม/วัน) ปริมาณของแข็งรวมในนม (กรัม/วัน) และ ปริมาณน้ำนมปรับไขมัน 4 เปอร์เซ็นต์ (กิโลกรัม/วัน) ของโคนมที่ได้รับจากอาหารข้นสูตรทดลองที่ 1 อาหารข้นทดลองสูตรที่ 2 อาหารข้นทดลองสูตรที่ 3 และ หญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ แสดงไว้ในตารางที่ 4.6 พบว่าทั้ง 3 กลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และจากผลการทดลองพบว่า ปริมาณน้ำนม (15.5, 15.6 และ 16.1 กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ), ปริมาณน้ำนมปรับไขมัน 4 เปอร์เซ็นต์ (14.0, 14.5 และ 14.5 กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ), ปริมาณไขมันนม (522, 551 และ 536 กรัม/วัน), ปริมาณโปรตีนนม (449, 444 และ 441 กรัม/วัน ตามลำดับ), ปริมาณแล็คโตส (696, 719 และ 713 กรัม/วัน ตามลำดับ), ปริมาณของแข็งพร่องไขมัน (1288, 1307 และ 1303 กรัม/วัน ตามลำดับ) และ ปริมาณของแข็งรวมในนม (1810, 1858 และ 1838 กรัม/วัน ตามลำดับ)

4.5.4 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม

องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมของโคนมที่ได้รับจากอาหารข้นสูตรทดลองที่ 1 อาหารข้นทดลองสูตรที่ 2 อาหารข้นทดลองสูตรที่ 3 และหญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ แสดงไว้ในตารางที่ 4.7 พบว่าไขมันนม (3.41, 3.60 และ 3.36 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ), โปรตีน (2.94, 2.90 และ 2.76 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ), แล็คโต๊ส (4.50, 4.59 และ 4.44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ), ของแข็งพร่องไขมัน(8.36, 8.41 และ 8.11 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) และ ของแข็งรวมในนม (11.77, 12.01 และ 11.47 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ที่ศึกษาไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง

4.5.5 น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง

น้ำหนักตัว (กิโลกรัม) และน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง (กรัม/วัน) ของโคนมที่ได้รับจากอาหารข้นสูตรทดลองที่ 1 อาหารข้นทดลองสูตรที่ 2 อาหารข้นทดลองสูตรที่ 3 และหญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ แสดงไว้ในตารางที่ 4.8 พบว่า น้ำหนักตัวของโคนมก่อนการทดลอง (422.1, 421.9 และ 423.4 กิโลกรัม ตามลำดับ), น้ำหนักตัวหลังสิ้นสุดการทดลอง (434.0, 434.5 และ 435.4 กิโลกรัม ตามลำดับ) และ น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง (395, 420 และ 400 กรัม/วัน ตามลำดับ) ที่ศึกษาไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง

ตารางที่ 4.6 แสดงปริมาณน้ำนม และ องค์ประกอบของน้ำนม (Mean±SE)

	กลุ่มการทดลองที่ 1[1/]	**กลุ่มการทดลองที่ 2**[2/]	**กลุ่มการทดลองที่ 3**[3/]	**Pr>F**	**SEM**	**%CV**
ปริมาณน้ำนม (กิโลกรัม/วัน)	15.5 ± 0.38	15.6±0.38	16.1±0.28	0.893	0.93	16.80
ปริมาณน้ำนมปรับไขมัน 4 % (กิโลกรัม/วัน)	14.0±0.29	14.5±0.28	14.5±0.20	0.870	0.71	14.03
ปริมาณไขมันนม (กรัม/วัน)	522±11	551±9	536±7	0.723	25.13	13.25
โปรตีนนม (กรัม/วัน)	449±6	444±8	441±6	0.945	17.75	11.29
ปริมาณแล็คโตส (กรัม/วัน)	696±17	719±18	713±10	0.922	42.20	16.83
ปริมาณของแข็งพร่องไขมัน (กรัม/วัน)	1288±26	1307±28	1303±18	0.978	66.27	14.43
ปริมาณของแข็งรวมในนม (กรัม/วัน)	1810±36	1858±37	1838±24	0.929	88.78	13.68

หมายเหตุ

[1/] กลุ่มการทดลองที่ 1 คืออาหารสูตรที่ 1 (35%CRM) ที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

[2/] กลุ่มการทดลองที่ 2 คืออาหารสูตรที่ 2 (40%CRM) ที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

[3/] กลุ่มการทดลองที่ 3 คืออาหารสูตรที่ 3 (45%CRM) ที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

ตารางที่ 4.7 แสดงผลองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม (เปอร์เซ็นต์) (Mean±SE)

	กลุ่มการทดลองที่ 1[1/]	**กลุ่มการทดลองที่ 2**[2/]	**กลุ่มการทดลองที่ 3**[3/]	**Pr>F**	**SEM**	**%CV**
ไขมันนม	3.41±0.05	3.60±0.06	3.36±0.04	0.414	0.13	11.13
โปรตีน	2.94±0.04	2.90±0.04	2.76±0.03	0.401	0.10	9.87
แล็คโตส	4.50±0.04	4.59±0.01	4.44±0.03	0.417	0.07	5.05
ของแข็งพร่องไขมัน	8.36±0.07	8.41±0.04	8.11±0.04	0.259	0.13	4.52
ของแข็งรวมในนม	11.77±0.12	12.01±0.09	11.47±0.07	0.322	0.25	6.02

หมายเหตุ [1/] กลุ่มการทดลองที่ 1 คืออาหารสูตรที่ 1 (35%CRM) ที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

[2/] กลุ่มการทดลองที่ 2 คืออาหารสูตรที่ 2 (40%CRM) ที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

[3/] กลุ่มการทดลองที่ 3 คืออาหารสูตรที่ 3 (45%CRM) ที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

ตารางที่ 4.8 แสดงน้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลงของโคนม (Mean±SE)

	กลุ่มการทดลองที่ 1[1/]	กลุ่มการทดลองที่ 2[2/]	กลุ่มการทดลองที่ 3[3/]	Pr>F	SEM	%CV
น้ำหนักตัว (กิโลกรัม)						
ก่อนการทดลอง	422.1±5.41	421.9±4.41	423.4±6.00	0.997	14.83	9.93
หลังการทดลอง	434.0±5.42	434.5±4.16	435.4±6.16	0.997	14.52	9.45
น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง (กรัม/วัน)	395±64.45	420±50.17	400±63.54	0.993	85.51	119.27

หมายเหตุ [1/] กลุ่มการทดลองที่ 1 คืออาหารสูตรที่ 1 (35%CRM) ที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

[2/] กลุ่มการทดลองที่ 2 คืออาหารสูตรที่ 2 (40%CRM) ที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

[3/] กลุ่มการทดลองที่ 3 คืออาหารสูตรที่ 3 (45%CRM) ที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

4.5.6 การประมาณค่าโปรตีนและพลังงานของโคนมที่ได้รับอาหารข้นสูตรทดลองทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง และ หญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ

ผลของโปรตีนย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{sup}) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RUP_{sup}) ของโคนมที่ได้รับจากอาหารข้นสูตรทดลองที่ 1 อาหารข้นทดลองสูตรที่ 2 อาหารข้นทดลองสูตรที่ 3 และหญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ แสดงไว้ในตารางที่ 4.9 โดยที่สามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพการย่อยสลายได้ของโปรตีนโดยวิธี Nylon bag technique พบว่า RDP_{sup} (1391, 1400 และ 1412 กรัม/วัน) และ RUP_{sup} (685, 689 และ715 กรัม/วัน) ที่ศึกษาไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง

ความต้องการโปรตีนย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{req}) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP_{req}) ที่สามารถคำนวณได้จากสมการของ NRC (2001) แสดงไว้ดังตารางที่ 4.10 พบว่าโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{sup}) ของโคนมในกลุ่มการทดลองที่ 1 (1391 กรัม/วัน), โคนมในกลุ่มการทดลองที่ 2 (1400 กรัม/วัน) และ โคนมในกลุ่มการทดลองที่ 3 (1412 กรัม/วัน) ได้รับ RDP_{sup} ไม่เพียงพอต่อความต้องการเท่ากับ 59, 36 และ 57 กรัม/วัน ตามลำดับ และในส่วนของโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RUP_{sup}) พบว่า โคนมในกลุ่มการทดลองที่ 1, โคนมในกลุ่มการทดลองที่ 2 และโคนมกลุ่มการทดลองที่ 3 ได้รับ RUP_{sup} เท่ากับ 685, 689 และ 715 กรัม/วัน ตามลำดับ ซึ่งพบว่าโคนมในกลุ่มการทดลองที่ 1, กลุ่มการทดลองที่ 2 และกลุ่มการทดลองที่ 3 ได้รับ RUP_{sup} ไม่เพียงพอต่อความต้องการเท่ากับ 197, 173 และ 148 กรัม/วัน ตามลำดับที่ศึกษาไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง นอกจากนี้โปรตีนที่ได้รับจากจุลินทรีย์โปรตีน เท่ากับ 1232, 1201 และ 1249 กรัม/วัน ตามลำดับ และ ความต้องการโปรตีนทั้งหมด เท่ากับ 1326, 1307 และ 1330 กรัม/วัน ตามลำดับที่ศึกษาไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง

การจำแนกพลังงานใช้ประโยชน์เพื่อกิจกรรมต่าง ๆ ของทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง แสดงไว้ในตารางที่ 4.11 พบว่าการกินได้พลังงานสุทธิ (NEL intake) (21.25, 21.24 และ 21.80 Mcal/kgDM), พลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (NEL_M) (7.52, 7.53 และ 7.54 Mcal/kgDM), พลังงานสุทธิเพื่อการผลิตน้ำนม (NEL_L) (10.29, 10.60 และ 10.49 Mcal/kgDM), พลังงานสุทธิเพื่อการเพิ่มน้ำหนักตัว (NEL_G) (1.31, 1.94 และ1.94 Mcal/kgDM), พลังงานสุทธิสะสม (NEL_R) (19.13, 20.07 และ 19.98 Mcal/kgDM) และประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (0.84, 0.93 และ 0.88 Mcal/kgDM) ที่ได้จากทั้ง 3 กลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางที่ 4.9 แสดงการได้รับโปรตีนย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RDP) โปรตีนไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP) (กรัม/ตัว/วัน) (Mean±SE)

	กลุ่มการทดลองที่ 1[1/]	**กลุ่มการทดลองที่ 2**[2/]	**กลุ่มการทดลองที่ 3**[3/]	**Pr>F**	**SEM**	**%CV**
โปรตีนย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RDP_{sup})[4/]	1391±8.97	1400±7.42	1412±8.60	0.814	23.23	4.70
โปรตีนไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP_{sup})[5/]	685±3.84	689±3.18	715±3.96	0.093	9.98	4.05

หมายเหตุ

[1/] กลุ่มการทดลองที่ 1 คืออาหารสูตรที่ 1 (35%CRM) ที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

[2/] กลุ่มการทดลองที่ 2 คืออาหารสูตรที่ 2 (40%CRM) ที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

[3/] กลุ่มการทดลองที่ 3 คืออาหารสูตรที่ 3 (45%CRM) ที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

[4/, 5/] ภาคผนวก ก

ตารางที่ 4.10 แสดงปริมาณของโปรตีนที่ได้รับจากอาหารและโคนมต้องการ (กรัม/ตัว/วัน) (Mean±SE)

	กลุ่มการทดลองที่ 1[1/]	**กลุ่มการทดลองที่ 2**[2/]	**กลุ่มการทดลองที่ 3**[3/]	**Pr>F**	**SEM**	**%CV**
ความต้องการ RDP_{req}[4/]	1449±15.59	1436±12.45	1469±14.05	0.833	39.24	7.64
RDP_{sup} จากอาหาร[5/]	1391±8.97	1400±7.42	1412±48.60	0.814	23.29	4.70
ขาด/เกิน	-59±6.63	-36±5.03	-57±5.45	0.527	15.96	-89.28
โปรตีนที่ได้รับจากจุลินทรีย์โปรตีน (MCP)[6/]	1232±13.26	1201±10.58	1249±11.94	0.833	33.36	7.64
ความต้องการโปรตีนทั้งหมด (MP_R)[7/]	1326±16.01	1307±16.94	1330±16.61	0.932	45.74	9.79
ความต้องการ RUP_{req}[9/]	882±18.87	862±24.79	863±20.63	0.967	81.24	19.93
RUP_{sup} จากอาหาร[10/]	685±3.84	689±3.18	715±3.69	0.093	9.79	4.05
ขาด/เกิน	-197±17.82	-173±24.01	-148±19.22	0.844	58.83	-96.38

หมายเหตุ

[1/] กลุ่มการทดลองที่ 1 คืออาหารสูตรที่ 1 (35%CRM) ที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

[2/] กลุ่มการทดลองที่ 2 คืออาหารสูตรที่ 2 (40%CRM) ที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

[3/] กลุ่มการทดลองที่ 3 คืออาหารสูตรที่ 3 (45%CRM) ที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

[4/] RDP_{req} = 0.15294 x TDN_{Act} Total , TDN_{Act} Total =DMI(kg) x %TDN x 1000

[5/] RDP_{sup} = Total DMFed x 1000 x Diet CP x CP_RDP

[6/] MPBact (g/d) = 0.64 x (0.85 x $gRDP_{req}$) [7/] CP_{req} = RDP_{req} + RUP_{req}

[8/] CP_{sup} = Total DMFed x 1000 x Diet CP [9/] RUP_{req} = MP_{RUP}/0.53

[10/] RUP_{sup} = CPTotal - RDP_{sup}

ตารางที่ 4.11 แสดงพลังงานที่โคนมต้องการเพื่อกิจกรรมต่างๆและที่โคนมได้รับจากอาหาร (Mcal/วัน) (Mean±SE)

	กลุ่มการทดลองที่ 1[1/]	**กลุ่มการทดลองที่ 2**[2/]	**กลุ่มการทดลองที่ 3**[3/]	**Pr>F**	**SEM**	**%CV**
การกินได้พลังงานสุทธิ (NE_L intake)(Mcal/วัน)	21.25±0.22	21.24±0.18	21.80±0.20	0.732	0.56	7.46
พลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (NE_{LM})(Mcal/วัน)[4/]	7.52±0.07	7.53±0.06	7.54±0.08	0.778	0.13	5.25
พลังงานสุทธิเพื่อการผลิตน้ำนม (NE_{LL})(Mcal/วัน)[5/]	10.29±0.19	10.60±0.19	10.49±0.13	0.965	0.51	13.83
พลังงานสุทธิเพื่อการเพิ่มน้ำหนักตัว (NE_{LG})(Mcal/วัน)[6/]	1.31±0.24	1.94±0.10	1.94±0.24	0.405	0.51	67.51
พลังงานสุทธิสะสม (NE_{LR}) (Mcal/วัน)[7/]	19.13±0.31	20.07±0.20	19.98±0.28	0.404	0.65	9.30
ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Efficiency)	0.84±0.03	0.93±0.04	0.88±0.04	0.600	0.05	19.03

หมายเหตุ

[1/] กลุ่มการทดลองที่ 1 คืออาหารสูตรที่ 1 (35%CRM) ที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

[2/] กลุ่มการทดลองที่ 2 คืออาหารสูตรที่ 2 (40%CRM) ที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

[3/] กลุ่มการทดลองที่ 3 คืออาหารสูตรที่ 3 (45%CRM) ที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

[4/] NE_{LM}(Mcal/kgDM) = $0.08 \times (\text{Live Weight})^{0.75}$

[5/] NE_{LL}(Mcal/kg Milk) = kg milk/day x [(0.0929 xFat%) + (0.0547 x Crude Protein%) + 0.192]

[6/] NE_{LG}(Mcal/kg) = Reserve Energy x (0.65/0.75)

[7/] NE_{LR} = $NE_{LM}+NE_{LG}+NE_{LL}$

4.6 วิจารณ์ผลการทดลอง

4.6.1 องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารและการประเมินพลังงานโดยการคำนวณจากสมการ NRC (2001) ที่โคนมได้รับจากสูตรอาหารและหญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ

การประเมินพลังงานโดยการคำนวณจากสมการจากสมการ NRC (2001) ที่โคนมได้รับจากอาหารข้นสูตรทดลองที่ 1 อาหารข้นทดลองสูตรที่ 2 อาหารข้นทดลองสูตรที่ 3 และหญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ และ องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารที่ใช้ในการเลี้ยงโคนมทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 4.3 และ 4.4 กล่าวคือ พลังงาน TDN (%TDN), พลังงานย่อยได้ (DE_p), พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (ME_p) และ พลังงานสุทธิ (NE_{Lp}) ที่ได้จากอาหารข้นทดลองในแต่ละสูตรจะให้พลังงานแต่ละประเภทแตกต่างกัน ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากอาหารข้นทดลองในแต่ละสูตร มีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน แต่พบว่าองค์ประกอบทางเคมีในแต่ละสูตรมีค่าใกล้เคียงกัน และพบว่าปริมาณไขมันต่ำกว่าที่ NRC (2001) ได้แนะนำไว้ กล่าวคือปกติในสูตรอาหารควรมีไขมันประมาณ 3 – 4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเกิดจากปริมาณไขมันในกากมันสำปะหลังค่อนข้างต่ำ (0.15 เปอร์เซ็นต์) ทำให้สูตรอาหารมีปริมาณไขมันต่ำกว่าที่ NRC (2001) ได้แนะนำไว้ อย่างไรก็ตาม เปอร์เซ็นต์ไขมันในอาหารรวมทั้ง 3 สูตร มีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากในการคำนวณสูตรอาหารคำนึงถึงค่าของโภชนะโปรตีนและพลังงานเป็นหลัก

4.6.2 ปริมาณการกินได้ของโคนม

ปริมาณการกินได้ของโคนมที่ได้รับจากอาหารข้นสูตรทดลองที่ 1 อาหารข้นทดลองสูตรที่ 2 อาหารข้นทดลองสูตรที่ 3 และ หญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ แสดงไว้ในตารางที่ 4.5 พบว่าปริมาณการกินได้วัตถุแห้ง, ปริมาณการกินได้โปรตีน และ ปริมาณการกินได้พลังงานสุทธิของโคนมทั้ง 3 กลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) จากรายงานของ Wanapat et al., (2000) พบว่าในโครีดนมที่ให้ผลผลิตจะมีความต้องการพลังงานสูงเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ผลผลิตน้ำนม โดยเฉพาะอาหารประเภทพลังงาน มันสำปะหลังนับ ได้ว่าเป็นแหล่งของอาหารพลังงานที่สำคัญสำหรับจุลินทรีย์ที่จะนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานและ พบว่ามีคุณสมบัติที่สามารถถูกย่อยสลายได้ภายในกระเพาะหมัก นอกจากนี้อาหารที่สามารถย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักสูงจะส่งผลทำให้อัตราการกินได้สูงตามไปด้วย (Timminga, 1979) และจากรายงานของ Martin et al., (2000) พบว่า อาหารข้นที่มีแหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่สามารถถูกย่อยสลายได้เร็ว ทำให้จุลินทรีย์สามารถใช้ประโยชน์ และเจริญเติบโตได้รวดเร็ว ส่งผลให้กระบวนการย่อยสลายอาหารเพิ่มขึ้น ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าอาหารข้นทดลองสูตรที่ 1 มีอัตราการย่อยสลายต่ำกว่า (Effective degradability of DM = 62.00) อาหารข้นทดลองสูตรที่ 2 (Effective degradability of DM =63.10) และ อาหารข้นทดลองสูตรที่ 3 (Effective degradability of DM = 63.90) ด้วยเหตุนี้จึง

ส่งผลทำให้อัตราการกินได้ของโคนมในกลุ่มการทดลองที่ 1 ต่ำกว่ากลุ่มการทดลองที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

นอกจากนี้โปรตีนที่สามารถย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP) และโปรตีนที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RUP) มีผลต่อปริมาณการกินได้ ซึ่งพบว่าโคที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนที่สามารถย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักสูงจะส่งผลให้ปริมาณการกินได้สูงกว่าโคที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนที่สามารถย่อยสลายได้น้อยในกระเพาะหมัก จากรายงานการศึกษาของ Claypool et al. (1980) พบว่าโปรตีนมีผลต่อปริมาณการกินได้เนื่องมาจากโคที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนสูงจะทำให้จุลินทรีย์ที่อยู่ในกระเพาะหมักได้รับไนโตรเจนเพียงพอต่อการเจริญเติบโต ซึ่งจะส่งผลให้การย่อยได้สูงขึ้น เมื่อการย่อยได้สูงขึ้นการไหลผ่านของอาหารจากกระเพาะหมักก็เพิ่มสูงขึ้น ทำให้โคสามารถกินอาหารได้มากขึ้น ส่วนโปรตีนที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักจะมีผลต่อสมดุลกรดอะมิโนในสัตว์ ซึ่งมีผลต่อการควบคุมกลไกการควบคุมการกินได้ (Egan and Moir, 1965) ถ้ากรดอะมิโนไม่สมดุลจะไปมีผลต่อวิถีเมตาโบไลต์ในสัตว์ จะไปลดการใช้ประโยชน์ของสารตั้งต้น เนื่องจากการขาดกรดอะมิโนที่จำเป็นจะมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ ซึ่งมีผลต่อการเคลื่อนย้ายสารอาหาร ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการกระตุ้นเคโมรีเซพเตอร์ และมีผลต่อสมองที่ควบคุมการกินได้ของสัตว์ (Forbes, 1986) จากรายงานการทดลองของ Egan and Moir (1965) ได้ทำการทดลองฉีดเคซีนในลำไส้เล็กส่วนต้นของแกะ พบว่าเพิ่มการกินได้ และทดลองฉีด เคซีนในกระเพาะรูเมน ซึ่งเพิ่มการกินได้น้อยแต่การย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักสูงขึ้น และจะเห็นได้ว่าโคนมในกลุ่มการทดลองที่ 1 ได้รับโปรตีนที่สามารถย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักต่ำกว่า (1391 กรัม/วัน) โคนมในกลุ่มการทดลองที่ 2 (1400 กรัม/วัน) และกลุ่มการทดลองที่ 3 (1412 กรัม/วัน) ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลทำให้การกินได้ของโคนมในกลุ่มการทดลองที่ 1 ต่ำกว่ากลุ่มการทดลองที่ 2 และ กลุ่มการทดลองที่ 3 ตามลำดับ

4.6.3 ปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม

ปริมาณน้ำนม (กิโลกรัม/วัน) ปริมาณไขมันนม (กรัม/วัน) ปริมาณโปรตีนนม (กรัม/วัน) ปริมาณแล็คโตส (กรัม/วัน) ปริมาณของแข็งพร่องไขมัน (กรัม/วัน) ปริมาณของแข็งรวมในนม (กรัม/วัน) และ ปริมาณน้ำนมปรับไขมัน 4 เปอร์เซ็นต์ (กิโลกรัม/วัน) ของโคนมที่ได้รับจากอาหารข้นสูตรทดลองที่ 1 อาหารข้นทดลองสูตรที่ 2 อาหารข้นทดลองสูตรที่ 3 และ หญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ แสดงไว้ในตารางที่ 4.6 จากผลการทดลองพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง ปริมาณน้ำนมที่ได้จากโคนมในกลุ่มการทดลองที่ 1 (15.5 กิโลกรัม/วัน) จะสูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 2 (15.6 กิโลกรัม/วัน) และกลุ่มการทดลองที่ 3 (16.1 กิโลกรัม/วัน) ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากการกินได้ของวัตถุแห้งและ

พลังงานสุทธิที่โคนมได้รับ Gaynor et al. (1995) พบว่าโคที่ได้รับพลังงานสูงจะมีปริมาณผลผลิตน้ำนม เพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากโคที่ได้รับอาหารที่มีพลังงานมากขึ้นจะเกิดการย่อยสลายพลังงานในกระเพาะหมักมากขึ้น ทำให้สามารถผลิตกรดไขมันได้มากขึ้น และส่งผลให้การผลิตน้ำนมได้เพิ่มขึ้น

เปอร์เซ็นต์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมของโคนมที่ได้รับจากอาหารข้นสูตรทดลองที่ 1 อาหารข้นทดลองสูตรที่ 2 อาหารข้นทดลองสูตรที่ 3 และหญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ แสดงไว้ในตารางที่ 4.7 พบว่าเปอร์เซ็นต์ไขมันนม, เปอร์เซ็นต์โปรตีน, เปอร์เซ็นต์แล็คโต๊ส, เปอร์เซ็นต์ของแข็งพร่องไขมัน และ เปอร์เซ็นต์ของแข็งรวมในนม ที่ศึกษาไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง

4.6.4 การได้รับโปรตีนจากอาหาร โปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{sup}) และโปรตีนที่ไม่ย่อยลลายได้ในกระเพาะหมัก (RUP_{sup})

ผลของโปรตีนย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{sup}) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RUP_{sup}) ของโคนมที่ได้รับจากอาหารข้นสูตรทดลองที่ 1 อาหารข้นทดลองสูตรที่ 2 อาหารข้นทดลองสูตรที่ 3 และหญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ แสดงไว้ในตารางที่ 4.9 พบว่า RDP_{sup} (1391, 1400 และ 1412 กรัม/วัน) และ RUP_{sup} (685, 689 และ715 กรัม/วัน) ที่ศึกษาไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากการกินได้ของโคนมทั้ง 3 กลุ่มการทดลองไม่แตกต่างกัน จึงส่งผลทำให้การได้รับ RDP_{sup} และ RUP_{sup} ทั้ง 3 กลุ่มการทดลองไม่แตกต่างกัน

ความต้องการโปรตีนย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{req}) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP_{req}) ที่สามารถคำนวณได้จากสมการของ NRC (2001) แสดงไว้ดังตารางที่ 4.10 พบว่าโคนมทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง ได้รับโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{sup}) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RUP_{sup}) ไม่เพียงพอต่อความต้องการ ซึ่งอาจ แก้ไขปัญหาได้โดยการเสริมแหล่งโปรตีนในอาหาร เช่น การใช้กากถั่วเหลือง หรือ การเสริมยูเรียในสูตรอาหาร

4.6.5 การจำแนกพลังงานเพื่อกิจกรรมต่างๆ

การจำแนกพลังงานใช้ประโยชน์เพื่อกิจกรรมต่าง ๆ ของทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง แสดงไว้ในตารางที่ 4.11 พบว่าการกินได้พลังงานสุทธิ (NEL intake) (21.25, 21.24 และ 21.80 Mcal/kgDM), พลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (NEL_M) (7.52, 7.53 และ 7.54 Mcal/kgDM), พลังงานสุทธิเพื่อการผลิตน้ำนม (NEL_L) (10.29, 10.60 และ 10.49 Mcal/kgDM), พลังงานสุทธิเพื่อการเพิ่มน้ำหนักตัว (NEL_G) (1.31, 1.94 และ1.94 Mcal/kgDM), พลังงานสุทธิสะสม (NEL_R) (19.13, 20.07 และ 19.98

Mcal/kgDM) และประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (0.84, 0.93 และ 0.88 Mcal/kgDM) ที่ได้จากทั้ง 3 กลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)) จะเห็นว่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานจากทั้ง 3 กลุ่มการทดลองนั้นสูญเสียไปเท่ากับ 0.16, 0.07 และ 0.12 Mcal/kgDM ตามลำดับ ซึ่งพลังงานที่สูญเสียไปนั้นจะสูญเสียออกไปในรูปของมูล, ปัสสาวะ, แก๊สจากการหมักย่อย และความร้อนนั่นเอง

4.7 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาระดับสูงสุดของการใช้กากมันสำปะหลังเป็นแหล่งพลังงานในอาหารข้นต่อปริมาณน้ำนม, องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม, การกินได้ของโคนม และ น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลงของทั้ง 3 กลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ในส่วนของโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{sup}) และ โปรตีนที่ไม่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RUP_{sup}) ของทั้ง 3 กลุ่มการทดลองให้ผลไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่พบว่าไม่เพียงพอต่อความต้องการของโคนมทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง ดังนั้นการใช้กากมันสำปะหลังเป็นแหล่งพลังงานในสูตรอาหารสามารถใช้ได้ในระดับสูงสุด คือ 45 เปอร์เซ็นต์ของสูตรอาหาร แต่กากมันสำปะหลังมีโปรตีนค่อนข้างต่ำซึ่งการนำมาใช้ควรได้รับการเสริมแหล่งโปรตีนในสูตรอาหารควบคู่ไปด้วยซึ่งแหล่งโปรตีน เช่น กากถั่วเหลือง

4.8 การศึกษาการย่อยสลายในกระเพาะหมักของอาหารผสมทั้ง 3 สูตร และศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงระดับ pH ของกระเพาะหมักของโคนม

4.8.1 อุปกรณ์และวิธีการ

4.8.1.1 ศึกษาการย่อยสลายในกระเพาะหมักของอาหารผสมทั้ง 3 สูตร

นำตัวอย่างอาหารผสมทั้ง 3 สูตรที่บดไว้และถุงไนล่อนที่ใช้ในการทดลองไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 – 2 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น ชั่งตัวอย่างอาหารผสมทั้ง 3 สูตร ประมาณ 5 – 6 กรัม ใส่ลงในถุงไนล่อนที่ทำการชั่งและบันทึกน้ำหนักไว้แล้ว หลังจากนั้นนำถุงไนล่อนที่ใส่ตัวอย่างอาหารทั้ง 3 สูตรมาผูกติดกับสายพลาสติกยาวประมาณ 90 เซนติเมตร นำไปบ่มในกระเพาะหมัก โดยให้สายพลาสติกอยู่ในส่วนที่ลึกที่สุดของกระเพาะหมัก โดยให้แต่ละถุงมีระยะเวลาการบ่มอยู่ในกระเพาะหมักต่างกันดังนี้คือ 0, 2, 4, 6, 12, 24 และ 48 ชั่วโมงส่วนอาหารหยาบบ่มไว้ที่ 0, 6, 12, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมงโดยในแต่ละอาหารในแต่ละสูตรทำจำนวน 3 ซ้ำ โดยใช้โคเจาะกระเพาะ 3 ตัวต่อกลุ่มการทดลอง และให้ถุงที่ใส่ในโคแต่ละตัวเป็น 1 ซ้ำ โคเจาะกระเพาะหมักเป็นโคนมเพศเมียลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชียน (Holstein Friesian, HF) สายเลือดผสมประมาณ 87.5% เลี้ยงแบบขังคอกเดี่ยวมีน้ำสะอาดให้กินตลอดเวลาโดยแบ่งโคออกเป็น 3 กลุ่มการทดลองดังนี้

กลุ่มการทดลองที่ 1 โคเจาะกระเพาะได้รับอาหารข้นสูตร 1 (35%CRM) ร่วมกับหญ้าหมักจำนวน3 ตัว

กลุ่มการทดลองที่ 2 โคเจาะกระเพาะได้รับอาหารข้นสูตร 2 (40%CRM) ร่วมกับหญ้าหมักจำนวน3 ตัว

กลุ่มการทดลองที่ 3 โคเจาะกระเพาะได้รับอาหารข้นสูตร 3 (45%CRM) ร่วมกับหญ้าหมักจำนวน3 ตัว

เมื่อบ่มถุงไนล่อนในกระเพาะหมักได้ตามเวลาที่กำหนดแล้ว นำถุงทั้งหมดออกจากกระเพาะหมัก นำมาล้างเพื่อเอาเศษอาหารที่ติดจากกระเพาะหมักออก จากนั้นนำไปแช่แข็งเพื่อหยุดการทำงานของจุลินทรีย์ เมื่อได้ตัวอย่างครบตามเวลาแล้ว นำถุงไนล่อนมาล้างด้วยน้ำประปาให้สะอาดอีกครั้งจนกระทั่งน้ำที่ใช้ล้างใส หลังจากนั้นนำถุงไนล่อนทั้งหมดมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 ชั่วโมง และนำไปชั่งเพื่อวิเคราะห์ปริมาณหาวัตถุแห้ง และนำอาหารที่เหลือจากการย่อยสลายในถุงไนล่อนไปวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน โดยรวมตัวอย่างจากโคตัวที่ 1, 2 และ 3 เข้าด้วยกัน จากนั้นนำค่าสัดส่วนที่สูญหายไปในระยะเวลาต่างๆ ของวัตถุแห้งและไนโตรเจน มาคำนวณหาอัตราการย่อยสลายของอาหารผสมสำเร็จรูปและอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก

การคำนวณค่าปริมาณการย่อยสลายโปรตีนของอาหารผสมสำเร็จรูปและอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ในกระเพาะหมัก ที่ทิ้งไว้ในช่วงระยะเวลาต่างๆ กันมาคำนวณอัตราการย่อยสลายโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป NEWAY EXCEL (Chen, 1996) ตามสมการดังนี้คือ

$$dg = \frac{a + bc}{(c + k)}$$

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)

$$RDP = CP * dg$$

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

4.8.2 วิธีการทดลองและการเก็บข้อมูล

4.8.2.1 การวิเคราะห์ของเหลวในกระเพาะหมัก (Rumen fluid)

การเก็บตัวอย่างของเหลวในกระเพาะหมัก (Collection of rumen fluid samples) ใช้เครื่องมือเก็บตัวอย่างสุ่มดูดเอาของเหลวในกระเพาะหมักออกมาประมาณ 100-150 มิลลิลิตร/ตัว โดยจะเก็บชั่วโมงที่ 0, 1, 3, 5 และ 7 ตัวอย่างของเหลวในกระเพาะที่เก็บได้ต้องรีบเก็บรักษาในสภาวะและใช้วิธีการที่เหมาะสม (อุณหภูมิ –20 องศาเซลเซียส) สำหรับนำไปวิเคราะห์ผลทางเคมีต่าง ๆ จากนั้นนำเข้าตู้แช่แข็ง เพื่อรอการวิเคราะห์กรดไขมันระเหยได้

4.8.2.2 การวัดระดับความเป็นกรดด่าง (Rumen pH)

วัดการเปลี่ยนแปลงระดับ pH ของกระเพาะหมักของโคนม โดยเก็บตัวอย่างของเหลวจากกระเพาะหมัก (Rumen fluid) ของโคเจาะกระเพาะ ชั่วโมงที่ 0 (ก่อนการให้อาหารข้นและอาหารหยาบ), 1, 2, 3, 5 และ 7 ชั่วโมงหลังจากการให้อาหาร มาวัดหาความเป็นกรดด่างโดยใช้เครื่อง pH/Temperature meter การเก็บตัวอย่างของเหลวจะเก็บวันสุดท้ายที่ศึกษาการย่อยสลายของอาหาร

4.8.2.3 การเก็บตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์หา Volatile fatty acids (VFA_S)

ใช้หลอดทดลองชนิดมีฝาจุกขนาด 25 ml บรรจุด้วย Protein precipitant (Metaphosphoric acid/Formic acid 18.75 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) ต่อ 25 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตร/ ปริมาตร) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร การเก็บตัวอย่าง 1 ตัวอย่าง ต้องทำ 2 ซ้ำ ซ้ำที่หนึ่งเติม Internal standard (Isocaproic acid 0.52 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตร/ปริมาตร)) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร พร้อมด้วยของเหลวในกระเพาะหมักปริมาตร 5 มิลลิลิตร (Control sample) นำหลอดตัวอย่างไปปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ที่ 1895 รอบ/เวลา เป็นเวลา 15 นาที เทเอาเฉพาะส่วนของเหลวใส ๆ (Supernatant) ลงในขวดขนาด 25 มิลลิลิตร ปิดด้วยฝาจุกเกลียว เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ –20 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำไปวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันระเหยได้ ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatographic (HPLC) (Pecina et al., 1984)

4.8.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลทั้งหมดนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) โดยวางแผนการทดลองแบบ 3x3 Latin square design (Steel and Torries, 1980), เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) และวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS (SAS, 1988)

4.8.4 สถานที่ทำการทดลอง

ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, อาคารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 3 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.8.5 ระยะเวลาทำการทดลอง

เริ่มการทดลองตั้งแต่วันที่ ธันวาคม พ.ศ. 2546 ถึง มกราคม พ.ศ. 2547

4.8.6 ผลการทดลอง

4.8.6.1 การย่อยสลายวัตถุแห้ง, การย่อยสลายโปรตีน, อัตราการย่อยสลายได้วัตถุแห้งและอัตราการย่อยสลายได้โปรตีนของอาหารข้นสูตรทดลอง และ หญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ

จากการศึกษาการย่อยสลายวัตถุแห้ง, การย่อยสลายโปรตีน, อัตราการย่อยสลายได้วัตถุแห้งและอัตราการย่อยสลายได้โปรตีนของอาหารข้นสูตรทดลอง และ หญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบแสดงไว้ในตารางที่ 4.12 และตารางที่ 4.13 พบว่า เมื่อมีระยะเวลาอยู่ในกระเพาะหมักนานขึ้น อาหารข้นสูตรทดลองทั้ง 3 สูตร และ หญ้าหมักจะมีอัตราการย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักเพิ่มขึ้นตามเวลา โดยอาหารข้นทดลองสูตรที่ 3 มีอัตราการย่อยสลายได้วัตถุแห้งสูงสุด (dgDM = 63.90) และอาหารข้นทดลองสูตรที่ 1 อัตราการย่อยสลายได้โปรตีนสูงที่สุด (dgCP = 66.1)

ตารางที่ 4.12 แสดงการย่อยสลายได้วัตถุแห้ง และอัตราการย่อยสลายได้วัตถุแห้งของหญ้าหมักและอาหารผสม 3 สูตร (Mean±SE)

วัตถุดิบ	วัตถุแห้ง									dgDM[/1]
	0 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง	12 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง	48 ชั่วโมง	72 ชั่วโมง	
หญ้าหมัก	27.28±0.85	-	33.22±0.24	-	40.79±0.62	47.53±0.31	55.79±0.79	60.21±0.41	69.35±0.07	42.70
35% CRM	30.91±0.41	45.63±0.19	54.93±0.39	66.24±0.57	-	70.60±0.19	71.58±0.12	72.56±0.35	-	62.00
40% CRM	31.75±0.03	43.63±0.79	54.27±0.39	67.96±0.10	-	72.74±0.16	73.15±0.34	74.43±0.23	-	63.10
45% CRM	35.31±0.24	42.44±0.33	57.66±0.14	68.36±0.55	-	70.79±0.30	74.41±0.23	75.76±0.45	-	63.90

หมายเหตุ [/1] Effective degradability of DM

ตารางที่ 4.13 แสดงการย่อยสลายได้โปรตีน และอัตราการย่อยสลายได้โปรตีนของหญ้าหมักและอาหารผสม 3 สูตร (Mean±SE)

วัตถุดิบ	โปรตีน									dgCP[/1]
	0 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง	12 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง	48 ชั่วโมง	72 ชั่วโมง	
หญ้าหมัก	32.04±0.85	-	35.07±1.92	-	46.68±1.09	56.72±0.14	64.03±0.73	69.02±0.05	78.59±0.31	48.80
35% CRM	31.36±0.80	45.87±1.04	60.89±0.45	71.73±0.98	-	74.22±0.24	78.03±0.01	78.50±0.45	-	66.10
40% CRM	32.02±0.18	47.04±1.57	58.60±1.43	70.90±0.16	-	75.93±1.04	76.10±0.34	77.64±0.37	-	66.00
45% CRM	36.66±0.82	47.89±0.36	56.86±0.41	69.11±1.05	-	73.90±0.44	75.11±0.29	76.03±0.25	-	65.10

หมายเหตุ [/1] Effective degradability of CP

ตารางที่ 4.14 แสดงเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายวัตถุแห้งและการย่อยสลายโปรตีนของหญ้าหมักและอาหารผสม 3 สูตร

Disappearance (%)	**หญ้าหมัก**	**35%CRM**	**40%CRM**	**45%CRM**
DM disappearance (%)				
A	27.28	30.91	31.75	35.31
B	40.42	41.29	42.35	38.89
c	0.051	0.299	0.311	0.358
A+B	67.70	72.20	74.10	74.20
Effective degradability (%)*	42.70	62.00	63.10	63.90
CP disappearance (%)				
A	32.04	31.36	32.02	36.66
B	42.56	47.14	45.08	39.14
c	0.075	0.312	0.322	0.285
A+B	74.60	78.50	77.10	75.80
Effective degradability (%)*	48.80	66.10	66.00	65.10

หมายเหตุ

*Outflow rate (fraction/h) = 0.08

4.8.6.2 ระดับความเป็นกรดด่าง (Rumen pH) ภายในกระเพาะหมัก

ระดับความเป็นกรด-ด่าง (Rumen pH) ภายในกระเพาะหมัก ตามระยะเวลาต่าง ๆ ภายหลังจากการให้อาหารโคเจาะกระเพาะตามกลุ่มการทดลอง แสดงไว้ดังตารางที่ 4.15 พบว่าเมื่อโคกินอาหารตามกลุ่มการทดลองในแต่ละกลุ่ม จะมีระดับ pH ที่วัดได้จากน้ำย่อยภายในกระเพาะหมักลดลงตามชั่วโมงที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อถึงชั่วโมงที่ 5 ระดับ pH ภายในกระเพาะหมักจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเป็นลำดับ และเมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่า ในชั่วโมงที่ 0, 1, 2, 3, 5 และ 7 นั้นระดับของค่า pH ภายในกระเพาะหมักของทั้ง 3 กลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

4.8.6.3 ปริมาณ Volatile fatty acids (VFA_S) ของ Rumen fluid

ปริมาณ VFA_S ของ Rumen fluid ภายหลังจากการให้อาหารโคเจาะกระเพาะตามกลุ่มการทดลอง แสดงไว้ดังตารางที่ 4.16 ซึ่งจะแสดงถึงปริมาณของ Acetate, Propionate และอัตราส่วนระหว่าง Acetate:Propionate จะเห็นได้ว่า ปริมาณของ Acetate, Propionate และอัตราส่วนระหว่าง Acetate: Propionate ที่วิเคราะห์ได้จากน้ำย่อยภายในกระเพาะหมักของโคที่ได้รับอาหารทั้ง 3 กลุ่มการทดลองนั้น พบว่าปริมาณของ Acetate และ Propionate ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่พบว่าอัตราส่วนระหว่าง Acetate: Propionate มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และเมื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) พบว่าอัตราส่วนระหว่าง Acetate:Propionate ที่วัดได้จากโคในกลุ่มการทดลองที่ 1 มีความแตกต่างจากกลุ่มการทดลองที่ 2 และ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางที่ 4.15 แสดงระดับความเป็นกรดด่าง (Rumen pH) ภายในกระเพาะหมัก ตามระยะเวลาต่าง ๆ ภายหลังจากการให้อาหารโคเจาะกระเพาะ

ชั่วโมง	Period 1			Period 2			Period 3			SEM	%CV	Pr>F		
	สูตร 1[/1]	สูตร 2[/2]	สูตร 3[/3]	สูตร1	สูตร2	สูตร3	สูตร1	สูตร2	สูตร3			Treatment	Period	Cow
0	6.89	5.97	6.77	6.85	5.81	6.92	7.18	6.38	6.20	0.19	5.14	0.976	0.441	0.149
1	6.81	6.26	6.60	6.89	5.66	7.03	7.15	5.88	6.40	0.05	1.39	0.610	0.037	0.009
2	6.71	6.11	6.48	6.72	5.61	6.92	7.10	5.70	6.00	0.12	3.57	0.714	0.144	0.067
3	6.85	6.04	6.29	6.55	5.59	6.69	6.92	5.69	5.92	0.08	2.29	0.631	0.090	0.030
5	6.77	6.47	6.62	6.95	5.79	6.81	7.14	6.75	6.06	0.15	4.10	0.821	0.176	0.194
7	6.90	6.51	6.83	7.06	5.75	6.99	7.31	5.97	6.37	0.14	3.73	0.476	0.361	0.126

หมายเหตุ

[/1] 35%CRM

[/2] 40%CRM

[/3] 45%CRM

ตารางที่ 4.16 แสดงปริมาณ VFA_S ของ Rumen fluid ภายหลังจากการให้อาหารโคเจาะกระเพาะตามกลุ่มการทดลอง

VFA_s	Period 1			Period 2			Period 3			Mean			SEM	%CV	Pr>F		
(mmol/100ml)	สูตร 1/1	สูตร 2/2	สูตร 3/3	สูตร1	สูตร2	สูตร3	สูตร1	สูตร2	สูตร3	สูตร1	สูตร2	สูตร3			Treatment	Period	Cow
Butyrate	10.25	9.82	9.61	10.92	10.65	10.26	10.71	10.36	9.88	10.63[a]	10.28[a]	9.91[b]	0.44	1.01	0.027	0.897	0.027
Acetate	66.87	65.83	62.88	67.46	63.31	60.43	66.13	63.47	62.12	66.82	64.20	61.81	0.55	1.77	0.090	0.887	0.495
Propionate	22.68	24.15	27.26	21.32	25.74	29.15	23.13	26.12	27.78	22.38	25.34	28.06	0.55	5.41	0.071	0.864	0.709
A:P	2.95	2.73	2.31	3.16	2.46	2.07	2.86	2.43	2.24	2.99	2.54	2.21	0.08	7.88	0.081	0.861	0.694

หมายเหตุ [a, b] หมายถึง อักษรในแนวนอนเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P< 0.05$)

[/1] 35%CRM

[/2] 40%CRM

[/3] 45%CRM

4.8.7 วิจารณ์ผลการทดลอง

4.8.7.1 การย่อยสลายวัตถุแห้ง, การย่อยสลายโปรตีน, อัตราการย่อยสลายได้วัตถุแห้งและอัตราการย่อยสลายได้โปรตีนของอาหารข้นสูตรทดลอง และ หญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ

จากการศึกษาการย่อยสลายวัตถุแห้ง, การย่อยสลายโปรตีน, อัตราการย่อยสลายได้วัตถุแห้งและอัตราการย่อยสลายได้โปรตีนของอาหารข้นสูตรทดลอง และ หญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบแสดงไว้ในตารางที่ 4.13 และตารางที่ 4.14 พบว่า เมื่อมีระยะเวลาอยู่ในกระเพาะหมักนานขึ้น อาหารข้นสูตรทดลองทั้ง 3 สูตร และ หญ้าหมักจะมีอัตราการย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักเพิ่มขึ้นตามเวลา โดยอาหารข้นทดลองสูตรที่ 3 มีอัตราการย่อยสลายได้วัตถุแห้งสูงสุด (dgDM = 63.90) เนื่องมาจากมันสำปะหลังมีคุณสมบัติที่สามารถถูกย่อยสลายได้เร็วในกระเพาะรูเมน (Wanapat et al., 2000) ซึ่งในอาหารข้นทดลองสูตรที่ 3 ประกอบด้วยกากมันสำปะหลังในระดับสูงที่สุด และอาหารข้นทดลองสูตรที่ 1 อัตราการย่อยสลายได้โปรตีนสูงที่สุด (dgCP = 66.1) ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์ได้จากอาหารข้นทดลองสูตรที่ 1 สูงกว่า อาหารข้นทดลองสูตรที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

4.8.7.2 ระดับความเป็นกรด-ด่าง (Rumen pH) ภายในกระเพาะหมัก

ระดับความเป็นกรด-ด่าง (Rumen pH) ภายในกระเพาะหมัก ตามระยะเวลาต่าง ๆ ภายหลังจากการให้อาหารโคเจาะกระเพาะตามกลุ่มการทดลอง แสดงไว้ดังตารางที่ 4.15 พบว่า เมื่อโคกินอาหารตามกลุ่มการทดลองในแต่ละกลุ่ม จะมีระดับ pH ภายในกระเพาะหมักลดลงตามชั่วโมงที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อถึงชั่วโมงที่ 5 ระดับ pH ภายในกระเพาะหมักจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเป็นลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าจากระดับของค่า pH ที่วัดได้จากน้ำย่อยภายในกระเพาะหมัก สามารถที่จะบ่งบอกถึงการเกิดโรค Rumen acidosis ได้ โดยพบว่าเมื่อระดับของค่า pH ภายในกระเพาะหมักลดต่ำกว่า 5.9 จะส่งผลทำให้โคเกิดโรค Rumen acidosis (Seal and Parker, 1994 ; Hurley, 1998 ; Garrett et al., 1999 และ The Pennsylvania State University, 2001) และจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ระดับของค่า pH ที่วัดได้จากน้ำย่อยภายในกระเพาะหมักในช่วงที่ต่ำที่สุดของทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง คือ pH ซึ่งวัดได้จากชั่วโมงที่ 3 แต่ระดับของค่า pH ที่วัดได้จากน้ำย่อยภายในกระเพาะหมักในชั่วโมงที่ 3 นั้นมีค่าไม่ต่ำกว่า 5.9 จึงส่งผลทำให้โคในทั้ง3 กลุ่มการทดลอง ไม่มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดโรค Rumen acidosis

4.8.7.3 ปริมาณ Volatile fatty acids (VFA_S) ของ Rumen fluid

ปริมาณ VFA_S ของ Rumen fluid ภายหลังจากการให้อาหารโคเจาะกระเพาะตามกลุ่มการทดลอง แสดงไว้ดังตารางที่ 4.16 ซึ่งจะแสดงถึงปริมาณของ Acetate, Propionate และอัตราส่วนระหว่าง Acetate: Propionate และจากปริมาณของ Acetate, Propionate และอัตราส่วนระหว่าง

Acetate:Propionate สามารถที่จะบ่งบอกถึงการเกิดโรค Rumen acidosis ได้ จากรายงานของ Hutjens (1996) พบว่า ในร่างกายโคที่เป็นปกตินั้นจะมีการผลิต Acetate:Propionate ในอัตราส่วนที่มากกว่า 2.2 : 1 แต่ถ้าผลิต Acetate:Propionate ในอัตราส่วนที่ต่ำกว่านี้จะส่งผลทำให้โคเกิดโรค Rumen acidosis ได้ ซึ่งจะเห็นได้ว่า โคในกลุ่มการทดลองที่ 1 (2.89) โคในกลุ่มการทดลองที่ 2 (2.55) และ โคในกลุ่มการทดลองที่ 3 (2.25) นั้นมีอัตราส่วนระหว่าง Acetate:Propionate มากกว่า 2.2 : 1

4.8.8 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของระดับความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมักของโคนมที่ได้รับอาหารผสมทั้ง 3 สูตรการทดลอง (35%CRM, 40%CRM และ 45%CRM ตามลำดับ) พบว่าเมื่อโคนมได้รับอาหารที่มีกากมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบสูงสุด คือ 45% ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับความเป็นกรด-ด่าง ในกระเพาะหมักและไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่าง โคนมในกลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหาร 35% และ 40% ตามลำดับ นอกจากนี้การใช้กากมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารทั้ง 3 สูตรการทดลองไม่มีผล ทำให้อัตราส่วนระหว่าง Acetate: propionate เปลี่ยนแปลง ดังนั้นการใช้กากมันสำปะหลังเป็นแหล่งพลังงานในอาหารข้นสำหรับโคนมจึงไม่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง และอัตราส่วนระหว่าง Acetate: propionate

บทที่ 5
การศึกษาระดับเชิงพาณิชย์ของการใช้กากมันสำปะหลัง เป็นแหล่งวัตถุดิบพลังงานในอาหารข้นต่อการให้ผลผลิตของโคนม

คำนำ

การเลี้ยงโคนมในประเทศไทยมีปริมาณการเลี้ยงเพิ่มจำนวนมาก ทำให้วัตถุดิบอาหารสัตว์ไม่เพียงพอต่อความต้องการสำหรับโคนม ปัจจุบันวัตถุดิบอาหารสัตว์มีมากมายหลายชนิด ซึ่งในสภาวะขาดแคลนทำให้วัตถุดิบมีราคาแพงจึงได้มีการนำกากมันสำปะหลังซึ่งเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลังมาเป็นแหล่งพลังงานในสูตรอาหารโคนม แต่พบว่างานวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบพลังงานในอาหารข้นสำหรับโครีดนมยังมีน้อยมาก นอกจากนี้ระดับที่เหมาะสมในเชิงพาณิชย์ของการใช้กากมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบในอาหารข้นสำหรับโครีดนมนั้นยังไม่มี การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับเชิงพาณิชย์ของการใช้กากมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบในอาหารข้นสำหรับโครีดนม

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการใช้กากมันสำปะหลังเป็นแหล่งพลังงานในอาหารข้นต่อปริมาณน้ำนม ส่วนประกอบของน้ำนม น้ำหนักตัวเปลี่ยนแปลงของโครีดนมในช่วงกลางระยะให้นม และการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด ด่างในกระเพาะหมักโคนม

5.1 อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาการใช้กากมันสำปะหลังเป็นแหล่งวัตถุดิบพลังงานในอาหารข้นต่อการให้ผลผลิตของน้ำนม คุณภาพของน้ำนมของโคนมลูกผสมพันธุ์โฮสไตน์ฟรีเชียน (Crossbred Holstein Friesian) ระดับเลือดไม่ต่ำกว่า 87.5% และอยู่ในช่วงกลางของการให้นม (Mid lactation)

5.1.1 แผนการทดลองและการจัดการให้อาหาร

ทำการจัดกลุ่มแบบ Stratified random balance group โดยจัดโคนมออกเป็น 3 กลุ่มการทดลอง โดยจัดกลุ่มตามปริมาณการให้น้ำนม ระยะเวลาในการให้น้ำนม อายุ (เดือน) จำนวนท้อง และ น้ำหนักตัว (กิโลกรัม) แล้วทำการจัดกลุ่มการทดลองตามค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัยให้มีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง โดยใช้โคนมลูกผสมโฮลสไตลน์ฟรีเชียนในระยะกลางของการให้นมจำนวน 24 ตัว

ตารางที่ 5.1 แสดงคุณสมบัติของกลุ่มโครีดนมระยะกลางของการให้นมที่ใช้ในการทดลอง

รายละเอียด	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 3
ปริมาณน้ำนม (กิโลกรัม/วัน)	13.2±2.3	13.3±2.5	13.1±1.6
ระยะเวลาการให้นม(วัน)	113.9±43.5	113.5±39.0	115.8±45.1
น้ำหนักตัว(กิโลกรัม)	431.3±68.6	432.1±46.5	447.4±50.4
จำนวนครั้งการให้นม	2.0±0.8	2.0±0.8	2.0±0.0
อายุ (เดือน)	49.3±10.0	48.0±7.4	47.4±3.6

หมายเหตุ ค่าที่แสดงอยู่ในรูป Mean ± SD

โคนมทุกตัวถูกขังคอกเดี่ยว มีอ่างสำหรับใส่น้ำให้กินตลอดเวลาโดยวางแผนการทดลองแบบ Simple comparison (Steel and Torries, 1980) ในการทดลองครั้งนี้ได้ทำการผสมอาหารข้นทั้งสิ้น 3 สูตร ด้วยเครื่องผสมอาหารชนิดถังนอน ในการให้อาหารกับโคนมจะให้เป็นรายตัว โดยให้อาหารแยกเป็นอาหารข้น (Concentrate) และ อาหารหยาบ (Roughage) อาหารข้นในแต่ละกลุ่มการทดลองจะควบคุมปริมาณโปรตีน โดยทุกกลุ่มการทดลองจะได้รับแหล่งของอาหารหยาบชนิดเดียวกัน คือ หญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ และให้อาหารในช่วงเช้าเวลา 07.30 น. และช่วงบ่ายเวลา 15.00 น. ของทุกวันตลอดการทดลองโดยโคนมในแต่ละกลุ่มจะได้รับอาหารข้นตามสูตรอาหารดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 แสดงชนิด และ ปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองที่ 1

วัตถุดิบ/100กิโลกรัม (น้ำหนักสด)	**สูตรที่ 1 (35%CRM)**	**สูตรที่ 2 (40%CRM)**	**สูตรที่ 3 (45%CRM)**
กากมันสำปะหลัง	35	40	45
ข้าวโพดบด	25.5	20.5	15.5
กากถั่วเหลือง	16	16	16
รำข้าว	10	10	10
กากน้ำตาล	10	10	10
ยูเรีย	2.5	2.5	2.5
พรีมิกซ์	0.5	0.5	0.5
แร่ธาตุ	0.5	0.5	0.5

โดยที่ กลุ่มการทดลองที่ 1 โคนมจำนวน 8 ตัว ได้รับอาหารสูตรที่ 1 และหญ้าหมัก
กลุ่มการทดลองที่ 2 โคนมจำนวน 8 ตัว ได้รับอาหารสูตรที่ 2 และหญ้าหมัก
กลุ่มการทดลองที่ 3 โคนมจำนวน 8 ตัว ได้รับอาหารสูตรที่ 3 และหญ้าหมัก

5.1.2 วิธีการทดลองและการเก็บข้อมูล

เมื่อทำการคัดเลือกตามกลุ่มแผนการทดลองแล้ว ทำการให้อาหาร และ ใช้ระยะเวลาในการปรับตัวสัตว์ทดลองประมาณ 1 สัปดาห์ เพื่อให้สัตว์คุ้นเคยกับสภาพคอกทดลอง และ อาหาร ทำการเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 30 วัน ซึ่งแบ่งออกเป็น 6 ช่วงการทดลอง ช่วงละ 5 วัน โดยมีการบันทึก

5.1.2.1 ข้อมูลน้ำนม

ทำการบันทึกการให้ผลผลิตน้ำนมของโคนมทุกวันตลอดระยะเวลาของการทดลอง และสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำนมทุกช่วง 5 วัน ช่วงละ 1 ครั้ง โดยแบ่งเป็น นมช่วงเย็น และ ช่วงเช้า นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม (ไขมันนม, โปรตีนนม, แลคโตส, ของแข็งพร่องไขมัน และ ของแข็งรวมในนม) (Milkoscan รุ่น S50) แล้วจึงนำมาคำนวณตามอัตราส่วนปริมาณน้ำนม

5.1.2.2 ปริมาณการกินได้

ทำการวัดปริมาณการกินได้ทุกช่วง 5 วัน ช่วงละ 1 ครั้ง ติดต่อกันตลอดการทดลอง โดยสุ่มเก็บอาหารก่อนกิน และ หลังกิน 10 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำมาอบที่ 60 องศาเซลเซียส นาน 36 ชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์หาวัตถุแห้ง (AOAC, 1990) เมื่อครบตามระยะเวลาก็นำตัวอย่างที่เก็บไว้ตลอดช่วงการทดลองมารวมกัน และทำการสุ่มตัวอย่างอีกครั้ง ให้ได้อาหารก่อนกิน และ หลังกินของโคนมทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง เพื่อนำไปบดและวิเคราะห์ส่วนประกอบทางโภชนะในอาหารโดยวิธี Proximate Analysis ต่อไป

5.1.2.3 การวัดน้ำหนักตัว

ทำการชั่งน้ำหนักตัวก่อน และ หลังการทดลองของโคนมทุกตัว ทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง

5.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลปริมาณการกินได้ ปริมาณน้ำนม องค์ประกอบของน้ำนม น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง ความต้องการพลังงานและโปรตีน พลังงานและโปรตีนที่ได้รับจากอาหาร ความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมัก ที่ได้จากการทดลองไปวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวิธี F-test เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s new multiple range test วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS (SAS, 1988)

5.3 สถานที่ทำการทดลอง

ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อาคารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 3 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

5.4 ระยะเวลาทำการทดลอง

เริ่มทดลองตั้งแต่ มกราคม 2547 ถึง กุมภาพันธ์ 2547

5.5 ผลการทดลอง

5.5.1 องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหาร

องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารที่ใช้ในการเลี้ยงโคนมทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 5.3 และ 5.4 กล่าวคือกลุ่มการทดลองที่ 1 คือ โคนมกลุ่มที่ได้รับอาหารข้นในสูตรที่ 1 และได้รับหญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ กลุ่มการทดลองที่ 2 คือ โคนมกลุ่มที่ได้รับอาหารข้นในสูตรที่ 2 และได้รับหญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ กลุ่มการทดลองที่ 3 คือ โคนมกลุ่มที่ได้รับอาหารข้นในสูตรที่ 3 และได้รับหญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ พบว่าส่วนประกอบ ทางโภชนะของอาหารที่ใช้เลี้ยงโคนมกลุ่มการทดลองที่ 1 มีโปรตีนหยาบ วัตถุแห้ง ไขมัน สูงกว่าในกลุ่มการทดลองที่ 2 และ 3 ตามลำดับ และมี เถ้า เยื่อใย เยื่อใยที่ไม่ละลายในตัวทำละลายที่เป็นกลาง (NDF) เยื่อใย เยื่อใยที่ไม่ละลายในตัวทำละลายที่เป็นกรด (ADF) และ ลิกนิน (ADL) ต่ำกว่าในกลุ่มการทดลองที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ในส่วนของหญ้าหมักจะมีส่วนประกอบทางโภชนะที่ใกล้เคียงกันในทุกกลุ่มการทดลอง นอกจากนี้พบว่าหญ้าหมัก, อาหารข้นทดลองสูตร 1, อาหารข้นทดลองสูตร 2 และ อาหารข้นทดลองสูตร 3 นั้นให้พลังงาน TDN (%TDN) (51.90, 74.74, 72.39 และ 69.67 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ), พลังงานย่อยได้ (DE_p) (2.32, 3.11, 3.04 และ 2.98 Mcal/kgDM ตามลำดับ), พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (ME_p) (1.89, 2.69, 2.62 และ 2.56 Mcal/kgDM ตามลำดับ) และพลังงานสุทธิ (NE_p) (1.14, 1.70, 1.66 และ 1.61 Mcal/kgDM ตามลำดับ)

ตารางที่ 5.3 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารและหญ้าหมัก (Mean±SE)

	หญ้าหมัก	**35%CRM**	**40%CRM**	**45%CRM**
องค์ประกอบทางเคมี (%)				
วัตถุแห้ง	92.64±0.15	86.91±0.03	87.92±0.02	87.19±0.01
โปรตีน	7.28±0.05	21.68±0.19	21.44±0.09	21.34±0.15
ไขมัน	2.50±0.07	3.54±0.04	2.93±0.02	2.40±0.01
เถ้า	14.40±0.20	6.42±0.18	6.70±0.03	6.97±0.11
เยื่อใย	36.15±1.00	9.55±0.09	10.76±0.01	11.71±0.17
NDF	53.81±0.17	31.67±0.75	35.68±0.03	42.53±0.03
ADF	33.95±0.51	13.10±0.32	14.61±0.31	13.90±0.01
ADL	5.93±0.11	2.29±0.08	2.37±0.07	2.40±0.08
NDIN	0.72±0.04	1.41±0.01	1.39±0.01	1.29±0.01
ADIN	0.47±0.01	1.21±0.01	1.17±0.01	0.97±0.01

หมายเหตุ NDF = Neutral-detergent fiber, ADF = Acid-detergent fiber, ADL = Acid-detergent lignin, NDIN = Neutral-detergent insoluble nitrogen, ADIN = Acid- detergent insoluble nitrogen

ตารางที่ 5.4 แสดงการจำแนกประเภทของพลังงานโดยการคำนวณจากสมการของ NRC (2001) ที่โคนมได้รับจากสูตรอาหารและหญ้าหมัก (Mean±SE)

	หญ้าหมัก	**35%CRM**	**40%CRM**	**45%CRM**
พลังงาน TDN (%TDN) [/1]	51.90±0.08	74.74±0.09	72.39±0.14	69.67±0.01
พลังงานย่อยได้ DE (DE_p) Mcal/kgDM[/2]	2.32±0.01	3.11±0.01	3.04±0.01	2.98±0.01
พลังงานใช้ประโยชน์ ME (ME_p) Mcal/kgDM[/3]	1.89±0.01	2.69±0.01	2.62±0.01	2.56±0.01
พลังงานสุทธิ NE (NE_{LP}) Mcal/kgDM[/4]	1.14±0.01	1.70±0.01	1.66±0.01	1.61±0.01

หมายเหตุ

[/1] $TDN_{1X}(\%)$ = tdNFC + tdCP + (tdFA x 2.25) + tdNDF – 7

[/2] DE_p(Mcal/kg) = DE_{1X} x Discount ,

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

[/3] ME_p(Mcal/kg) = $[1.01 \times (DE_p) - 0.45] + 0.0046 \times (EE - 3)$ (กรณี EE > 3),

ME_p(Mcal/kg) = 1.01 x DE (Mcal/kg) – 0.45 (กรณีEE < 3)

[/4] NE_p(Mcal/kg) = $0.703 \times ME_p - 0.19 + ([0.0097 \times ME_p + 0.19)/97] \times [EE - 3]$ (กรณี EE > 3),

NE_p(Mcal/kg) = $[0.703 \times ME_p(Mcal/kg)] - 0.19$ (กรณี EE < 3)

5.5.2 ปริมาณการกินได้ของโคนม

ปริมาณการกินได้ของโคนมที่ได้รับจากอาหารข้นสูตรทดลองที่ 1 อาหารข้นทดลองสูตรที่ 2 อาหารข้นทดลองสูตรที่ 3 และ หญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ แสดงไว้ในตารางที่ 5.5 พบว่าปริมาณการกินได้วัตถุแห้ง, ปริมาณการกินได้โปรตีน และ ปริมาณการกินได้พลังงานสุทธิของของโคนมทั้ง 3 กลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ซึ่งปริมาณการกินได้โดยอิสระมีค่าเท่ากับ 15.4, 15.4 และ 15.9 kgDM/ตัว/วัน ปริมาณการกินได้โปรตีนมีค่าเท่ากับ 2133, 2112 และ 2155 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ และปริมาณการกินได้พลังงานสุทธิมีค่าเท่ากับ 21.5, 21.2 และ 21.5 Mcal/kgDM ตามลำดับ

ตารางที่ 5.5 แสดงปริมาณการกินได้ของโคนมที่ได้อาหารสูตรทดลองและหญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ (Mean±SE)

ปริมาณการกินได้	กลุ่มการทดลองที่ 1[1/]	กลุ่มการทดลองที่ 2[2/]	กลุ่มการทดลองที่ 3[3/]	Pr>F	SEM	%CV
ปริมาณการกินได้วัตถุแห้ง						
กิโลกรัม/ตัว/วัน	15.4±0.20	15.4±0.20	15.9±0.18	0.702	1.09	9.60
g/kg $W^{0.75}$	163±2.11	161±1.71	164±2.48	0.939	6.00	10.43
ปริมาณการกินได้โปรตีน						
กรัม/ตัว/วัน	2133±13.25	2112±14.63	2155±12.86	0.734	38.46	5.09
g/kg $W^{0.75}$	23±0.24	22±0.20	22±0.26	0.802	0.66	8.47
ปริมาณการกินได้พลังงานสุทธิ						
Mcal/ตัว/วัน	21.5±0.21	21.2±0.23	21.5±0.20	0.918	0.60	7.97
Mcal/kg $W^{0.75}$	0.2±0.01	0.2±0.01	0.2±0.01	0.636	0.01	9.72

หมายเหตุ [1/] กลุ่มการทดลองที่ 1 คืออาหารสูตรที่ 1(35%CRM) ที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

[2/] กลุ่มการทดลองที่ 2 คืออาหารสูตรที่ 2 (40%CRM) ที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

[3/] กลุ่มการทดลองที่ 3 คืออาหารสูตรที่ 3 (45%CRM) ที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

5.5.3 ปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม

ปริมาณน้ำนม (กิโลกรัม/วัน) ปริมาณไขมันนม (กรัม/วัน) ปริมาณโปรตีนนม (กรัม/วัน) ปริมาณแล็คโตส (กรัม/วัน) ปริมาณของแข็งพร่องไขมัน (กรัม/วัน) ปริมาณของแข็งรวมในนม (กรัม/วัน) และ ปริมาณน้ำนมปรับไขมัน 4 เปอร์เซ็นต์ (กิโลกรัม/วัน) ของโคนมที่ได้รับจากอาหารข้นสูตรทดลองที่ 1 อาหารข้นทดลองสูตรที่ 2 อาหารข้นทดลองสูตรที่ 3 และ หญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ แสดงไว้ในตารางที่ 5.6 พบว่าทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) และจากผลการทดลองพบว่า ปริมาณน้ำนม (14.2, 14.1 และ 14.8 กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ), ปริมาณน้ำนมปรับไขมัน 4 เปอร์เซ็นต์ (12.7, 13.0 และ 13.6 กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ), ปริมาณไขมันนม (470, 490 และ 514 กรัม/วัน), ปริมาณโปรตีนนม (391, 396 และ 397 กรัม/วัน ตามลำดับ), ปริมาณแล็คโตส (627, 673 และ 650 กรัม/วัน ตามลำดับ), ปริมาณของแข็งพร่องไขมัน (1149, 1153 และ 1177 กรัม/วัน ตามลำดับ) และ ปริมาณของแข็งรวมในนม (1616, 1592 และ 1688 กรัม/วัน ตามลำดับ)

5.5.4 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม

องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมของโคนมที่ได้รับจากอาหารข้นสูตรทดลองที่ 1 อาหารข้นทดลองสูตรที่ 2 อาหารข้นทดลองสูตรที่ 3 และหญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ แสดงไว้ในตารางที่ 5.7 พบว่าไขมันนม (3.33, 3.48 และ 3.49 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ), โปรตีน (2.77, 2.84 และ 2.69 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ), แล็คโต๊ส (4.41, 4.76 และ 4.39 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ), ของแข็งพร่องไขมัน(8.11, 8.21 และ 7.95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) และ ของแข็งรวมในนม (11.42, 11.40 และ 11.42 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ที่ศึกษาไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง

5.5.5 น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง

น้ำหนักตัว (กิโลกรัม) และน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง (กรัม/วัน) ของโคนมที่ได้รับจากอาหารข้นสูตรทดลองที่ 1 อาหารข้นทดลองสูตรที่ 2 อาหารข้นทดลองสูตรที่ 3 และหญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ แสดงไว้ในตารางที่ 5.8 พบว่า น้ำหนักตัวของโคนมก่อนการทดลอง (429.9, 431.3 และ 447.8 กิโลกรัม ตามลำดับ), น้ำหนักตัวหลังสิ้นสุดการทดลอง (432.0, 445.5 และ 455.3 กิโลกรัม ตามลำดับ) และ น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง (71, 79 และ 75 กรัม/วัน ตามลำดับ) ที่ศึกษาไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง

ตารางที่ 5.6 แสดงปริมาณน้ำนม และ องค์ประกอบของน้ำนม (Mean±SE)

	กลุ่มการทดลองที่ 1[1/]	**กลุ่มการทดลองที่ 2**[2/]	**กลุ่มการทดลองที่ 3**[3/]	**Pr>F**	**SEM**	**%CV**
ปริมาณน้ำนม (กิโลกรัม/วัน)	14.2±0.29	14.1±0.23	14.8±0.16	0.742	0.71	14.11
ปริมาณน้ำนมปรับไขมัน 4 % (กิโลกรัม/วัน)	12.7±0.26	13.0±0.18	13.6±0.14	0.556	0.60	13.12
ปริมาณไขมันนม (กรัม/วัน)	470±10	490±6	514±7	0.427	23.58	13.57
โปรตีนนม (กรัม/วัน)	391±8	396±3	397±4	0.963	16.22	11.61
ปริมาณแล็คโตส (กรัม/วัน)	627±13	673±10	650±7	0.634	3.39	14.76
ปริมาณของแข็งพร่องไขมัน (กรัม/วัน)	1149±23	1153±14	1177±11	0.927	54.10	13.19
ปริมาณของแข็งรวมในนม (กรัม/วัน)	1616±32	1596±19	1688±14	0.656	73.33	10.43

หมายเหตุ [1/] กลุ่มการทดลองที่ 1 คืออาหารสูตรที่ 1(35%CRM) ที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

[2/] กลุ่มการทดลองที่ 2 คืออาหารสูตรที่ 2 (40%CRM) ที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

[3/] กลุ่มการทดลองที่ 3 คืออาหารสูตรที่ 3 (45%CRM) ที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

ตารางที่ 5.7 แสดงผลองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม (เปอร์เซ็นต์) (Mean±SE)

	กลุ่มการทดลองที่ 1[1/]	**กลุ่มการทดลองที่ 2**[2/]	**กลุ่มการทดลองที่ 3**[3/]	**Pr>F**	**SEM**	**%CV**
ไขมันนม	3.33±0.02	3.48±0.05	3.49±0.05	0.484	0.10	9.08
โปรตีน	2.77±0.01	2.84±0.31	2.69±0.01	0.227	0.05	9.47
แล็คโตส	4.41±0.02	4.76±0.02	4.39±0.04	0.115	0.07	6.24
ของแข็งพร่องไขมัน	8.11±0.02	8.21±0.04	7.95±0.04	0.174	0.09	3.29
ของแข็งรวมในนม	11.42±0.04	11.40±0.08	11.42±0.07	0.992	0.17	4.34

หมายเหตุ [1/] กลุ่มการทดลองที่ 1 คืออาหารสูตรที่ 1(35%CRM) ที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

[2/] กลุ่มการทดลองที่ 2 คืออาหารสูตรที่ 2 (40%CRM) ที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

[3/] กลุ่มการทดลองที่ 3 คืออาหารสูตรที่ 3 (45%CRM) ที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

ตารางที่ 5.8 แสดงน้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลงของโคนม (Mean±SE)

	กลุ่มการทดลองที่ 1[1/]	กลุ่มการทดลองที่ 2[2/]	กลุ่มการทดลองที่ 3[3/]	Pr>F	SEM	%CV
น้ำหนักตัว (กิโลกรัม)						
ก่อนการทดลอง	429.9±7.06	431.3±6.12	447.8±5.21	0.736	56.51	11.57
หลังการทดลอง	432.0±7.14	445.5±6.23	455.3±5.20	0.726	20.51	13.05
น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง(กรัม/วัน)	70±0.4	79±0.8	75±0.2	0.993	9.70	192.08

หมายเหตุ [1/] กลุ่มการทดลองที่ 1 คืออาหารสูตรที่ 1(35%CRM) ที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

[2/] กลุ่มการทดลองที่ 2 คืออาหารสูตรที่ 2 (40%CRM) ที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

[3/] กลุ่มการทดลองที่ 3 คืออาหารสูตรที่ 3 (45%CRM) ที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

5.5.6 การประมาณค่าโปรตีนและพลังงานของโคนมที่ได้รับอาหารข้นสูตรทดลองทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง และ หญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ

ผลของโปรตีนย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{sup}) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RUP_{sup}) ของโคนมที่ได้รับจากอาหารข้นสูตรทดลองที่ 1 อาหารข้นทดลองสูตรที่ 2 อาหารข้นทดลองสูตรที่ 3 และหญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ แสดงไว้ในตารางที่ 5.9 โดยที่สามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพการย่อยสลายได้ของโปรตีนโดยวิธี Nylon bag technique พบว่า RDP_{sup} (1256, 1270 และ 1239 กรัม/วัน) ที่ศึกษา มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ทั้ง 3 กลุ่มการทดลองและเมื่อนำข้อมูลของ RDP_{sup} มาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) พบว่าโคนมในกลุ่มการทดลองที่ 1, 2 และ 3 มี RDP_{sup} แตกต่างกัน และ RUP_{sup} (560, 566 และ574 กรัม/วัน) ที่ศึกษามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ทั้ง 3 กลุ่มการทดลองโดยที่เมื่อนำข้อมูลของ RUP_{sup} มาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) พบว่าโคนมในกลุ่มการทดลองที่ 2 และ 3 มี RUP_{sup} ไม่แตกต่างกัน แต่จะแตกต่างจากกลุ่มการทดลองที่ 1

ความต้องการโปรตีนย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{req}) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP_{req}) ที่สามารถคำนวณได้จากสมการของ NRC (2001) แสดงไว้ดังตารางที่ 5.10 พบว่าโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{sup}) ของโคนมในกลุ่มการทดลองที่ 1 (1436 กรัม/วัน), โคนมในกลุ่มการทดลองที่ 2 (1388 กรัม/วัน) และ โคนมในกลุ่มการทดลองที่ 3 (1402 กรัม/วัน) ได้รับ RDP_{sup} ไม่เพียงพอต่อความต้องการเท่ากับ 180, 119 และ 163 กรัม/วัน ตามลำดับ และในส่วนของโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RUP_{sup}) พบว่า โคนมในกลุ่มการทดลองที่ 1, โคนมในกลุ่มการทดลองที่ 2 และโคนมกลุ่มการทดลองที่ 3 ได้รับ RUP_{sup} เท่ากับ 578, 825 และ 876 กรัม/วัน ตามลำดับ ซึ่งพบว่าโคนมในกลุ่มการทดลองที่ 1, กลุ่มการทดลองที่ 2 และกลุ่มการทดลองที่ 3 ได้รับ RUP_{sup} ไม่เพียงพอต่อความต้องการเท่ากับ 122, 363 และ 410 กรัม/วัน ตามลำดับ ที่ศึกษาไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง นอกจากนี้โปรตีนที่ได้รับจากจุลินทรีย์โปรตีน เท่ากับ 1221, 1180 และ 1192 กรัม/วัน ตามลำดับ และ ความต้องการโปรตีนทั้งหมด เท่ากับ 1177, 1318 และ 1359 กรัม/วัน ตามลำดับ ที่ศึกษาไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง

การจำแนกพลังงานใช้ประโยชน์เพื่อกิจกรรมต่าง ๆ ของทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง แสดงไว้ในตารางที่ 5.11 พบว่าการกินได้พลังงานสุทธิ (NEL intake) (21.04, 20.41 และ 20.67 Mcal/kgDM), พลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (NEL_M) (7.56, 7.65 และ 7.83 Mcal/kgDM), พลังงานสุทธิเพื่อการผลิตน้ำนม (NEL_L) (9.23, 9.44 และ 9.80 Mcal/kgDM), พลังงานสุทธิเพื่อ

การเพิ่มน้ำหนักตัว (NEL_G) (0.68, 0.68 และ0.58 Mcal/kgDM), พลังงานสุทธิสะสม (NEL_R) (17.47, 17.77 และ 17.04 Mcal/kgDM) และประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (0.73, 0.79 และ 0.73 Mcal/kgDM) ที่ได้จากทั้ง 3 กลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางที่ 5.9 แสดงการได้รับโปรตีนย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RDP_{sup}) โปรตีนไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP_{sup}) (กรัม/ตัว/วัน) (Mean±SE)

	กลุ่มการทดลองที่ 1[1/]	**กลุ่มการทดลองที่ 2**[2/]	**กลุ่มการทดลองที่ 3**[3/]	**Pr>F**	**SEM**	**%CV**
โปรตีนย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RDP_{sup})[4/]	1256±0.80[a]	1270±0.88[b]	1238±1.82[c]	0.001	3.77	0.85
โปรตีนไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP_{sup})[5/]	560±0.34[a]	566±0.38[b]	574±0.78[b]	0.023	1.61	28.00

หมายเหตุ

[1/] กลุ่มการทดลองที่ 1 คืออาหารสูตรที่ 1(35%CRM) ที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

[2/] กลุ่มการทดลองที่ 2 คืออาหารสูตรที่ 2 (40%CRM) ที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

[3/] กลุ่มการทดลองที่ 3 คืออาหารสูตรที่ 3 (45%CRM) ที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

[4/, 5/] ภาคผนวก ก

[a, b, c] หมายถึง อักษรในแนวนอนเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P< 0.05$)

ตารางที่ 5.10 แสดงปริมาณของโปรตีนที่ได้รับจากอาหารและโคนมต้องการ (กรัม/ตัว/วัน) (Mean±SE)

	กลุ่มการทดลองที่ 1[1/]	กลุ่มการทดลองที่ 2[2/]	กลุ่มการทดลองที่ 3[3/]	Pr>F	SEM	%CV
ความต้องการ RDP_{req}[4/]	1436±14.87	1388±14.59	1402±13.21	0.783	38.30	9.06
RDP_{sup} จากอาหาร[5/]	1256±0.80^{b}	1270±0.38^{a}	1238±1.82^{c}	0.0001	3.77	0.85
ขาด/เกิน	-180±15.06	-119±15.21	-163±12.36	0.529	39.07	-71.73
โปรตีนที่ได้รับจากจุลินทรีย์โปรตีน (MCP)[6/]	1221±12.64	1180±12.40	1192±11.23	0.677	33.24	7.85
ความต้องการโปรตีนทั้งหมด (MP_R)[7/]	1177±16.03	1318±17.11	1359±18.55	0.783	45.06	9.06
ความต้องการ RUP_{req}[9/]	578±10.58^{c}	825±25.20^{b}	876±39.29^{a}	0.023	75.18	28.00
RUP_{sup} จากอาหาร[10/]	560±0.34^{b}	566±0.38^{a}	574±0.78^{a}	0.0001	1.61	0.80
ขาด/เกิน	-122±15.52^{a}	-363±24.78^{b}	-411±39.23^{b}	0.029	75.11	-110.21

หมายเหตุ

[1/] กลุ่มการทดลองที่ 1 คืออาหารสูตรที่ 1(35%CRM) ที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

[2/] กลุ่มการทดลองที่ 2 คืออาหารสูตรที่ 2 (40%CRM) ที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

[3/] กลุ่มการทดลองที่ 3 คืออาหารสูตรที่ 3 (45%CRM) ที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

[4/] RDP_{req} = 0.15294 x TDN_{Act} Total , TDN_{Act} Total = DMI(kg) x %TDN x 1000

[5/] RDP_{sup} = Total DMFed x 1000 x Diet CP x CP_RDP

[6/] MPBact (g/d) = 0.64 x (0.85 x gRDP_{req}) [7/] CP_{req} = RDP_{req} + RUP_{req}

[8/] CP_{sup} = Total DMFed x 1000 x Diet CP [9/] RUP_{req} = MP_{RUP}/0.53

[10/] RUP_{sup} = CPTotal - RDP_{sup}

[a, b, c] หมายถึง อักษรในแนวนอนเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ (P< 0.05)

ตารางที่ 5.11 แสดงพลังงานที่โคนมต้องการเพื่อกิจกรรมต่างๆและที่โคนมได้รับจากอาหาร (Mcal/วัน) (Mean±SE)

	กลุ่มการทดลองที่ 1[1/]	กลุ่มการทดลองที่ 2[2/]	กลุ่มการทดลองที่ 3[3/]	Pr>F	SEM	%CV
การกินได้พลังงานสุทธิ (NE_L intake)(Mcal/วัน)	21.04±0.22	20.41±0.18	20.67±0.20	0.730	0.56	7.67
พลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (NE_{LM})(Mcal/วัน)[4/]	7.56±0.09	7.65±0.09	7.83±0.07	0.284	0.18	6.93
พลังงานสุทธิเพื่อการผลิตน้ำนม (NE_{LL})(Mcal/วัน)[5/]	9.23±0.18	9.44±0.11	9.80±0.10	0.211	0.89	11.80
พลังงานสุทธิเพื่อการเพิ่มน้ำหนักตัว (NE_{LG})(Mcal/วัน)[6/]	0.68±0.34	0.68±0.34	0.58±0.31	0.311	0.39	53.67
พลังงานสุทธิสะสม (NE_{LR}) (Mcal/วัน)[7/]	17.47±0.47	17.77±0.40	17.04±0.33	0.344	1.21	19.63
ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Efficiency)	0.73±0.03	0.79±0.02	0.73±0.03	0.823	0.07	28.74

หมายเหตุ

[1/] กลุ่มการทดลองที่ 1 คืออาหารสูตรที่ 1(35%CRM) ที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

[2/] กลุ่มการทดลองที่ 2 คืออาหารสูตรที่ 2 (40%CRM) ที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

[3/] กลุ่มการทดลองที่ 3 คืออาหารสูตรที่ 3 (45%CRM) ที่มีหญ้าหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบ

[4/] NE_{LM}(Mcal/kgDM) = $0.08 \times (\text{Live Weight})^{0.75}$

[5/] NE_{LL}(Mcal/kg Milk) = kg milk/day x [(0.0929 xFat%) + (0.0547 x Crude Protein%) + 0.192]

[6/] NE_{LG}(Mcal/kg) = Reserve Energy x (0.65/0.75)

[7/] NE_{LR} = $NE_{LM}+NE_{LG}+NE_{LL}$

5.6 วิจารณ์ผลการทดลอง

5.6.1 องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารและการประเมินพลังงานโดยการคำนวณจากสมการ NRC (2001) ที่โคนมได้รับจากสูตรอาหารและหญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ

การประเมินพลังงานโดยการคำนวณจากสมการจากสมการ NRC (2001) ที่โคนมได้รับจากอาหารข้นสูตรทดลองที่ 1 อาหารข้นทดลองสูตรที่ 2 อาหารข้นทดลองสูตรที่ 3 และหญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ และ องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารที่ใช้ในการเลี้ยงโคนมทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 5.3 และ 5.4 กล่าวคือ พลังงาน TDN (%TDN), พลังงานย่อยได้ (DE_p), พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (ME_p) และ พลังงานสุทธิ (NE_{Lp}) ที่ได้จากอาหารข้นทดลองในแต่ละสูตร จะให้พลังงานแต่ละประเภทแตกต่างกัน ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากอาหารข้นทดลองในแต่ละสูตร มีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน แต่พบว่าองค์ประกอบทางเคมีในแต่ละสูตรมีค่าใกล้เคียงกัน และพบว่าปริมาณไขมันต่ำกว่าที่ NRC (2001) ได้แนะนำไว้ กล่าวคือปกติในสูตรอาหารควรมีไขมันประมาณ 3 – 4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเกิดจากปริมาณไขมันในกากมันสำปะหลังค่อนข้างต่ำ (0.15 เปอร์เซ็นต์) ทำให้สูตรอาหารมีปริมาณไขมันต่ำกว่าที่ NRC (2001) ได้แนะนำไว้ อย่างไรก็ตามเปอร์เซ็นต์ไขมันในอาหารรวมทั้ง 3 สูตร มีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากในการคำนวณสูตรอาหารคำนึงถึงค่าของโภชนะโปรตีนและพลังงานเป็นหลัก

5.6.2 ปริมาณการกินได้ของโคนม

ปริมาณการกินได้ของโคนมที่ได้รับจากอาหารข้นสูตรทดลองที่ 1 อาหารข้นทดลองสูตรที่ 2 อาหารข้นทดลองสูตรที่ 3 และ หญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ แสดงไว้ในตารางที่ 5.5 พบว่าปริมาณการกินได้วัตถุแห้ง, ปริมาณการกินได้โปรตีน และ ปริมาณการกินได้พลังงานสุทธิของของโคนมทั้ง 3 กลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) จากรายงานของ Wanapat et al., (2000) พบว่าในโครีดนมที่ให้ผลผลิตจะมีความต้องการพลังงานสูงเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ผลผลิตน้ำนม โดยเฉพาะอาหารประเภทพลังงาน มันสำปะหลังนับได้ว่าเป็นแหล่งของอาหารพลังงานที่สำคัญสำหรับจุลินทรีย์ที่จะนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานและพบว่ามีคุณสมบัติที่สามารถถูกย่อยสลายได้ของอาหารภายในกระเพาะหมัก นอกจากนี้อาหารที่สามารถย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักสูงจะส่งผลทำให้อัตราการกินได้สูงตามไปด้วย(Timminga, 1979) และจากรายงานของ Martin – Orue et al., (2000) พบว่า อาหารข้นที่มีแหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่สามารถถูกย่อยสลายได้เร็ว และมี แหล่งไนโตรเจนที่สามารถย่อยได้เร็ว ทำให้จุลินทรีย์สามารถใช้ประโยชน์ และเจริญเติบโตได้รวดเร็ว ส่งผลให้กระบวนการย่อยสลายอาหารเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ในสัตว์ที่ได้รับโปรตีนที่สามารถถูกย่อยสลายในกระเพาะหมักได้เร็วร่วมกับแหล่งของพลังงานในระดับสูงสามารถเพิ่มการสังเคราะห์จุลินทรีย์และสามารถเพิ่มการย่อยสลาย

ของอินทรีย์วัตถุอาหารประเภทแป้งได้สูงขึ้น นอกจากนี้ในอาหารที่มีแป้งที่สามารถย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักก็ไม่มีผลต่อการนำใช้ประโยชน์ของไนโตรเจน (Tedeschi et al., 2000) ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าอาหารข้นทดลองสูตรที่ 1 มีอัตราการย่อยสลายต่ำกว่า (Effective degradability of DM = 65.90) อาหารข้นทดลองสูตรที่ 2 (Effective degradability of DM = 66.10) และ อาหารข้นทดลองสูตรที่ 3 (Effective degradability of DM = 66.40) ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลทำให้อัตราการกินได้ของโคนมในกลุ่มการทดลองที่ 3 สูงที่สุด

5.6.3 ปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม

ปริมาณน้ำนม (กิโลกรัม/วัน) ปริมาณไขมันนม (กรัม/วัน) ปริมาณโปรตีนนม (กรัม/วัน) ปริมาณแล็คโตส (กรัม/วัน) ปริมาณของแข็งพร่องไขมัน (กรัม/วัน) ปริมาณของแข็งรวมในนม (กรัม/วัน) และ ปริมาณน้ำนมปรับไขมัน 4 เปอร์เซ็นต์ (กิโลกรัม/วัน) ของโคนมที่ได้รับจากอาหารข้นสูตรทดลองที่ 1 อาหารข้นทดลองสูตรที่ 2 อาหารข้นทดลองสูตรที่ 3 และ หญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ แสดงไว้ในตารางที่ 5.6 จากผลการทดลองพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง ปริมาณน้ำนมที่ได้จากโคนมในกลุ่มการทดลองที่ 3 สูงที่สุด (14.2, 14.1 และ 14.8 กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ) ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากการกินได้ของวัตถุแห้งและพลังงานสุทธิที่โคนมได้รับ Gaynor et al. (1995) พบว่าโคที่ได้รับพลังงานสูงจะมีปริมาณผลผลิตน้ำนมเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากโคที่ได้รับอาหารที่มีพลังงานมากขึ้นจะเกิดการย่อยสลายพลังงานในกระเพาะหมักมากขึ้น ทำให้สามารถผลิตกรดไขมันได้มากขึ้น และส่งผลให้การผลิตน้ำนมได้เพิ่มขึ้น

เปอร์เซ็นต์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมของโคนมที่ได้รับจากอาหารข้นสูตรทดลองที่ 1 อาหารข้นทดลองสูตรที่ 2 อาหารข้นทดลองสูตรที่ 3 และหญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ แสดงไว้ในตารางที่ 5.7 พบว่าเปอร์เซ็นต์ไขมันนม, เปอร์เซ็นต์โปรตีน, เปอร์เซ็นต์แล็คโต๊ส, เปอร์เซ็นต์ของแข็งพร่องไขมัน และ เปอร์เซ็นต์ของแข็งรวมในนม ที่ศึกษาไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง

5.6.4 น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง

น้ำหนักตัว (กิโลกรัม) และน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง (กรัม/วัน) ของโคนมที่ได้รับจากอาหารข้นสูตรทดลองที่ 1 อาหารข้นทดลองสูตรที่ 2 อาหารข้นทดลองสูตรที่ 3 และหญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ แสดงไว้ในตารางที่ 5.8 พบว่า น้ำหนักตัวของโคนมก่อนการทดลอง (429.9, 431.3 และ 447.8 กิโลกรัม ตามลำดับ), น้ำหนักตัวหลังสิ้นสุดการทดลอง (432.0, 445.5 และ 455.3กิโลกรัม ตามลำดับ) และ น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง (70, 79 และ 75 กรัม/วัน ตามลำดับ) ที่ศึกษาไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง ซึ่งจากการศึกษา

ของ เวชสิทธิ์ และ คณะ (2541) โดยใช้มันสำปะหลังเป็นแหล่งของพลังงานทดแทนข้าวโพดในลูกโคนมเพศผู้ที่ระดับ 25 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักที่ดีกว่าการใช้มันสำปะหลังทดแทนข้าวโพดที่ระดับ 50 และ 75 เปอร์เซ็นต์ โดยมีน้ำหนักสุดท้าย น้ำหนักเพิ่มทั้งหมด และน้ำหนักเพิ่มเฉลี่ยต่อวันสูงกว่าโคนมกลุ่มอื่นๆ แต่มีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ (P>0.05)

5.6.5 การได้รับโปรตีนจากอาหาร โปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{sup}) และโปรตีนที่ไม่ย่อยลลายได้ในกระเพาะหมัก (RUP_{sup})

ความต้องการโปรตีนย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{req}) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP_{req}) ที่สามารถคำนวณได้จากสมการของ NRC (2001) แสดงไว้ดังตารางที่ 5.9 พบว่าโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{sup}) ของโคนมในกลุ่มการทดลองที่ 1 (1436 กรัม/วัน), โคนมในกลุ่มการทดลองที่ 2 (1388 กรัม/วัน) และ โคนมในกลุ่มการทดลองที่ 3 (1402 กรัม/วัน) ได้รับ RDP_{sup} ไม่เพียงพอต่อความต้องการเท่ากับ 180, 119 และ 163 กรัม/วันตามลำดับ ซึ่งพบว่าในโคนมทั้ง3 กลุ่มการ ได้รับโปรตีนย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{req}) ต่ำกว่าความต้องการ อาจทำได้โดยการเพิ่มปริมาณกากถั่วเหลืองในสูตรอาหาร โปรตีนในกากถั่วเหลืองนั้นมีคุณสมบัติในการย่อยสลายในกระเพาะหมักค่อนข้างมาก โปรตีนในกากถั่วเหลืองจะถูกย่อยสลายได้ peptides, amino acid และ ammonia ผลพลอยได้จากการย่อยสลายนี้จะนับเป็น RDP_{sup} ฉะนั้นเมื่อนำเอามาเปรียบเทียบกับ RDP_{req} อาจทำให้โคได้รับโปรตีนย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{req}) เพียงพอต่อความต้องการ และในส่วนของโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RUP_{sup}) พบว่า โคนมในกลุ่มการทดลองที่ 1, โคนมในกลุ่มการทดลองที่ 2 และ โคนมกลุ่มการทดลองที่ 3 ได้รับ RUP_{sup} เท่ากับ 578, 825 และ 876 กรัม/วัน ตามลำดับ ซึ่งพบว่าโคนมในกลุ่มการทดลองที่ 1, กลุ่มการทดลองที่ 2 และกลุ่มการทดลองที่ 3 ได้รับ RUP_{sup} ไม่เพียงพอต่อความต้องการเท่ากับ 122, 362 และ 411 กรัม/วัน ตามลำดับ ซึ่งอาจแก้ไขได้โดยการใช้วัตถุดิบประเภทโปรตีนที่มีค่าการย่อยสลาย (degradability) ต่ำ อาทิ กากเมล็ดฝ้าย กากถั่วเขียว หรือเมล็ดถั่วเหลืองที่ผ่านความร้อน (heat treat soybean) เป็นต้น

5.6.6 การจำแนกพลังงานเพื่อกิจกรรมต่างๆ

การจำแนกพลังงานใช้ประโยชน์เพื่อกิจกรรมต่าง ๆ ของทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง แสดงไว้ในตารางที่ 5.11 พบว่าการกินได้พลังงานสุทธิ (NEL intake) (21.04, 20.41 และ 20.67 Mcal/kgDM), พลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (NEL_M) (7.56, 7.65 และ 7.83 Mcal/kgDM), พลังงานสุทธิเพื่อการผลิตน้ำนม (NEL_L) (9.23, 9.44 และ 9.80 Mcal/kgDM), พลังงานสุทธิเพื่อการเพิ่มน้ำหนักตัว (NEL_G) (0.68, 0.68 และ-0.58 Mcal/kgDM), พลังงานสุทธิสะสม (NEL_R) (17.47, 17.77 และ 17.04 Mcal/kgDM) และประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (0.73, 0.79 และ 0.73 Mcal/kgDM) ที่ได้จากทั้ง 3

กลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ซึ่งจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานจากทั้ง 3 กลุ่มการทดลองนั้นสูญเสียไปเท่ากับ 0.27, 0.21 และ 0.27 Mcal/kgDM ตามลำดับ ซึ่งพลังงานที่สูญเสียไปนั้นจะสูญเสียออกไปในรูปของมูล, ปัสสาวะ, ก๊าซจากการหมักย่อย และความร้อนนั่นเอง (วิศิษฐิพร, 2542)

5.6 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการใช้กากมันสำปะหลังเป็นแหล่งพลังงานในอาหารข้นต่อปริมาณน้ำนม ส่วนประกอบของน้ำนม น้ำหนักตัวเปลี่ยนแปลงของโครีดนมในช่วงกลางระยะให้นม ของโคนมลูกผสมพันธุ์โฮสไตน์ฟรีเชียน (Crossbred Holstein Friesian) ระดับเลือดไม่ต่ำกว่า 87.5% และอยู่ในช่วงกลางของการให้นม (Mid lactation) พบว่าการกินได้ของโคนมที่ได้รับจากอาหารข้นสูตรทดลองที่ 1 อาหารข้นทดลองสูตรที่ 2 อาหารข้นทดลองสูตรที่ 3 และ หญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ มีการกินได้วัตถุแห้ง, การกินได้โปรตีน และ การกินได้พลังงานสุทธิของของโคนมทั้ง 3 กลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปริมาณน้ำนม (กิโลกรัม/วัน) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ เปอร์เซ็นต์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมของโคนมที่ได้รับจากอาหารข้นสูตรทดลองที่ 1 (35%CRM) อาหารข้นทดลองสูตรที่ 2 (40%CRM) อาหารข้นทดลองสูตรที่ 3 (45%CRM) และหญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบที่ศึกษาไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และความต้องการโปรตีนย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{req}) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP_{req}) ต่ำกว่าความต้องการ อาจทำได้โดยการเพิ่มปริมาณวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติเป็น Bypass protein เช่น กากถั่วเหลือง ซึ่งโปรตีนในกากถั่วเหลืองมีคุณสมบัติในการย่อยสลายในกระเพาะหมักค่อนข้างมาก นอกจากนี้การแก้ไขความต้องการโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP_{req})ให้เพียงพอต่อความต้องการได้โดยการใช้วัตถุดิบประเภทโปรตีนที่มีค่าการย่อยสลาย (degradability) ต่ำ อาทิ กากเมล็ดฝ้าย กากถั่วเขียว หรือ เมล็ดถั่วเหลืองที่ผ่านความร้อน (heat treat soybean) เป็นต้น ดังนั้นการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารข้นจึงสามารถใช้ได้ในระดับที่สูงสุด คือ ระดับ 45 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งกากมันสำปะหลังนั้นมีโปรตีนที่ค่อนข้างต่ำ ทำให้การนำไปใช้นั้นควรคำนึงถึงแหล่งโปรตีนในสูตรอาหารควบคู่ไปด้วย

5.7 การศึกษาการย่อยสลายในกระเพาะหมักของอาหารผสมทั้ง 3 สูตร และศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงระดับ pH ของกระเพาะหมักของโคนม

5.8.1 อุปกรณ์และวิธีการ

5.8.1.1 ศึกษาการย่อยสลายในกระเพาะหมักของอาหารผสมทั้ง 3 สูตร

โดยนำตัวอย่างอาหารผสมทั้ง 3 สูตรที่บดไว้และถุงไนล่อนที่ใช้ในการทดลองไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 – 2 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น ชั่งตัวอย่างอาหารผสมทั้ง 3 สูตร ประมาณ 5 – 6 กรัม ใส่ลงในถุงไนล่อนที่ทำการชั่งและบันทึกน้ำหนักไว้แล้ว หลังจากนั้นนำถุงไนล่อนที่ใส่ตัวอย่างอาหารทั้ง 3 สูตรมาผูกติดกับสายพลาสติกยาวประมาณ 90 เซนติเมตร นำไปบ่มในกระเพาะหมัก โดยให้สายพลาสติกอยู่ในส่วนที่ลึกที่สุดของกระเพาะหมัก โดยให้แต่ละถุงมีระยะเวลาการบ่มอยู่ในกระเพาะหมักต่างกันดังนี้คือ 0, 2, 4, 6, 12, 24 และ 48 ชั่วโมงส่วนอาหารหยาบบ่มไว้ที่ 0, 6, 12, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมงโดยในแต่ละอาหารในแต่ละสูตรทำจำนวน 3 ซ้ำ โดยใช้โคเจาะกระเพาะ 3 ตัวต่อกลุ่มการทดลอง และให้ถุงที่ใส่ในโคแต่ละตัวเป็น 1 ซ้ำ โคเจาะกระเพาะหมักเป็นโคนมเพศเมียลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชียน (Holstein Friesian, HF) สายเลือดผสมประมาณ 87.5% เลี้ยงแบบขังคอกเดี่ยวมีน้ำสะอาดให้กินตลอดเวลาโดยแบ่งโคออกเป็น 3 กลุ่มการทดลองดังนี้

กลุ่มการทดลองที่ 1 โคเจาะกระเพาะได้รับอาหารข้นสูตร 1 (35%CRM) ร่วมกับหญ้าหมักจำนวน3 ตัว

กลุ่มการทดลองที่ 2 โคเจาะกระเพาะได้รับอาหารข้นสูตร 2 (40%CRM) ร่วมกับหญ้าหมักจำนวน3 ตัว

กลุ่มการทดลองที่ 3 โคเจาะกระเพาะได้รับอาหารข้นสูตร 3 (45%CRM) ร่วมกับหญ้าหมักจำนวน3 ตัว

เมื่อบ่มถุงไนล่อนในกระเพาะหมักได้ตามเวลาที่กำหนดแล้ว นำถุงทั้งหมดออกจากกระเพาะหมัก นำมาล้างเพื่อเอาเศษอาหารที่ติดจากกระเพาะหมักออก จากนั้นนำไปบ่มแข็งเพื่อหยุดการทำงานของจุลินทรีย์ เมื่อได้ตัวอย่างครบตามเวลาแล้ว นำถุงไนล่อนมาล้างด้วยน้ำประปาให้สะอาดอีกครั้งจนกระทั่งน้ำที่ใช้ล้างใส หลังจากนั้นนำถุงไนล่อนทั้งหมดมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 ชั่วโมง และนำไปชั่งเพื่อวิเคราะห์ปริมาณหาวัตถุแห้ง และนำอาหารที่เหลือจากการย่อยสลายในถุงไนล่อนไปวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน โดยรวมตัวอย่างจากโคตัวที่ 1, 2 และ 3 เข้าด้วยกัน จากนั้นนำค่าสัดส่วนที่สูญหายไปในระยะเวลาต่างๆ ของวัตถุแห้งและไนโตรเจน มาคำนวณหาอัตราการย่อยสลายของอาหารผสมสำเร็จรูปและอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก

การคำนวณค่าปริมาณการย่อยสลายโปรตีนของอาหารผสมสำเร็จรูปและอาหารผสมสำเร็จรูปหมัก ในกระเพาะหมัก ที่ทิ้งไว้ในช่วงระยะเวลาต่างๆ กันมาคำนวณอัตราการย่อยสลายโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป NEWAY EXCEL (Chen, 1996) ตามสมการดังนี้คือ

$$dg = \frac{a + bc}{(c + k)}$$

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)

$$RDP = CP * dg$$

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

5.8.2 วิธีการทดลองและการเก็บข้อมูล

5.8.2.1 การวิเคราะห์ของเหลวในกระเพาะหมัก (Rumen fluid)

การเก็บตัวอย่างของเหลวในกระเพาะหมัก (Collection of rumen fluid samples) ใช้เครื่องมือเก็บตัวอย่างสุ่มดูดเอาของเหลวในกระเพาะหมักออกมาประมาณ 100-150 มิลลิลิตร/ตัว โดยจะเก็บชั่วโมงที่ 0, 1, 3, 5 และ 7 ตัวอย่างของเหลวในกระเพาะที่เก็บได้ต้องรีบเก็บรักษาในสภาวะและใช้วิธีการที่เหมาะสม (อุณหภูมิ –20 องศาเซลเซียส) สำหรับนำไปวิเคราะห์ผลทางเคมีต่าง ๆ จากนั้นนำเข้าตู้แช่แข็ง เพื่อรอการวิเคราะห์กรดไขมันระเหยได้

5.8.2.2 การวัดระดับความเป็นกรดด่าง (Rumen pH)

วัดการเปลี่ยนแปลงระดับ pH ของกระเพาะหมักของโคนม โดยเก็บตัวอย่างของเหลวจากกระเพาะหมัก (Rumen fluid) ของโคเจาะกระเพาะ ชั่วโมงที่ 0 (ก่อนการให้อาหารข้นและอาหารหยาบ), 1, 2, 3, 5 และ 7 ชั่วโมงหลังจากการให้อาหาร มาวัดหาความเป็นกรดด่างโดยใช้เครื่อง pH/Temperature meter การเก็บตัวอย่างของเหลวจะเก็บวันสุดท้ายที่ศึกษาการย่อยสลายของอาหาร

5.8.2.3 การเก็บตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์หา Volatile fatty acids (VFA_S)

ใช้หลอดทดลองชนิดมีฝาจุกขนาด 25 ml บรรจุด้วย Protein precipitant (Metaphosphoric acid/Formic acid 18.75 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) ต่อ 25 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตร/ปริมาตร)) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร การเก็บตัวอย่าง 1 ตัวอย่าง ต้องทำ 2 ซ้ำ ซ้ำที่หนึ่งเติม Internal standard (Isocaproic acid 0.52 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตร/ปริมาตร)) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร พร้อมด้วยของเหลวในกระเพาะหมักปริมาตร 5 มิลลิลิตร (Control sample) นำหลอดตัวอย่างไปปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ที่ 1895 รอบ/เวลา เป็นเวลา 15 นาที เทเอาเฉพาะส่วนของเหลวใส ๆ (Supernatant) ลงในขวดขนาด 25 มิลลิลิตร ปิดด้วยฝาจุกเกลียว เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ –20 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำไปวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันระเหยได้ ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatographic (HPLC) (Pecina et al., 1984)

5.8.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลทั้งหมดนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) โดยวางแผนการทดลองแบบ 3x3 Latin square design (Steel and Torries, 1980), เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) และวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS (SAS, 1988)

5.8.4 สถานที่ทำการทดลอง

ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, อาคารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 3 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

5.8.5 ระยะเวลาทำการทดลอง

เริ่มการทดลองตั้งแต่วันที่ ธันวาคม พ.ศ. 2546 ถึง มกราคม พ.ศ. 2547

5.8.6 ผลการทดลอง

5.8.6.1 การย่อยสลายวัตถุแห้ง, การย่อยสลายโปรตีน, อัตราการย่อยสลายได้วัตถุแห้งและอัตราการย่อยสลายได้โปรตีนของอาหารข้นสูตรทดลอง และ หญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ

จากการศึกษาการย่อยสลายวัตถุแห้ง, การย่อยสลายโปรตีน, อัตราการย่อยสลายได้วัตถุแห้งและอัตราการย่อยสลายได้โปรตีนของอาหารข้นสูตรทดลอง และ หญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบแสดงไว้ในตารางที่ 5.12 และตารางที่ 5.13 พบว่า เมื่อมีระยะเวลาอยู่ในกระเพาะหมักนานขึ้น อาหารข้นสูตรทดลองทั้ง 3 สูตร และ หญ้าหมักจะมีอัตราการย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักเพิ่มขึ้นตามเวลา โดยอาหารข้นทดลองสูตรที่ 3 มีอัตราการย่อยสลายได้วัตถุแห้ง (dgDM = 66.40) และอาหารข้นทดลองสูตรที่ 1 อัตราการย่อยสลายได้โปรตีนสูงที่สุด (dgCP = 69.60)

ตารางที่ 5.12 แสดงการย่อยสลายได้วัตถุแห้ง และอัตราการย่อยสลายได้วัตถุแห้งของหญ้าหมักและอาหารผสม 3 สูตร (Mean±SE)

วัตถุดิบ	วัตถุแห้ง									dgDM[/1]
	0 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง	12 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง	48 ชั่วโมง	72 ชั่วโมง	
หญ้าหมัก	27.28±0.85	-	33.22±0.24	-	40.79±0.62	47.53±0.31	55.79±0.79	60.21±0.41	69.35±0.07	42.70
35% CRM	39.70±0.26	47.52±0.18	59.26±0.02	66.34±0.13	-	72.90±0.16	74.11±0.04	80.26±0.09	-	65.90
40% CRM	39.78±0.15	47.83±0.03	58.87±0.12	68.85±0.09	-	73.29±0.13	75.99±0.14	79.49±0.13	-	66.10
45% CRM	41.07±0.11	50.10±0.51	60.12±0.52	67.49±0.09	-	73.12±0.06	75.91±0.26	79.38±0.06	-	66.40

หมายเหตุ /1 Effective degradability of DM

ตารางที่ 5.13 แสดงการย่อยสลายได้โปรตีน และอัตราการย่อยสลายได้โปรตีนของหญ้าหมักและอาหารผสม 3 สูตร (Mean±SE)

วัตถุดิบ	โปรตีน									dgCP[/1]
	0 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง	12 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง	48 ชั่วโมง	72 ชั่วโมง	
หญ้าหมัก	32.04±0.85	-	35.07±1.92	-	46.68±1.09	56.72±0.14	64.03±0.73	69.02±0.05	78.59±0.31	48.80
35% CRM	41.85±0.12	51.65±1.23	61.25±0.75	71.26±0.35	-	77.20±0.10	80.20±0.07	84.68±0.35	-	69.60
40% CRM	40.00±0.37	52.15±1.23	61.94±0.82	71.49±0.59	-	75.89±0.16	80.52±0.64	82.97±0.56	-	69.40
45% CRM	40.21±0.18	49.12±0.16	62.32±0.03	70.78±0.38	-	76.68±0.39	77.45±0.24	82.92±0.36	-	68.40

หมายเหตุ /1 Effective degradability of CP

ตารางที่ 5.14 แสดงเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายวัตถุแห้งและการย่อยสลายโปรตีนของหญ้าหมักและอาหารผสม 3 สูตร

Disappearance (%)	**หญ้าหมัก**	**35%CRM**	**40%CRM**	**45%CRM**
DM disappearance (%)				
A	27.28	39.70	39.78	41.07
B	40.42	35.20	35.52	36.33
c	0.051	0.236	0.263	0.225
A+B	67.70	74.90	75.30	77.40
Effective degradability (%)*	42.70	65.90	66.10	66.40
CP disappearance (%)				
A	32.04	41.85	40.00	40.21
B	42.56	40.45	41.40	39.59
c	0.075	0.212	0.221	0.283
A+B	74.60	82.30	81.40	79.80
Effective degradability (%)*	48.80	69.60	69.40	68.40

หมายเหตุ

*Outflow rate (fraction/h) = 0.08

5.8.6.2 ระดับความเป็นกรดด่าง (Rumen pH) ภายในกระเพาะหมัก

ระดับความเป็นกรด-ด่าง (Rumen pH) ภายในกระเพาะหมัก ตามระยะเวลาต่าง ๆ ภายหลังจากการให้อาหารโคเจาะกระเพาะตามกลุ่มการทดลอง แสดงไว้ดังตารางที่ 5.15 พบว่าเมื่อโคกินอาหารตามกลุ่มการทดลองในแต่ละกลุ่ม จะมีระดับ pH ที่วัดได้จากน้ำย่อยภายในกระเพาะหมักลดลงตามชั่วโมงที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อถึงชั่วโมงที่ 5 ระดับ pH ภายในกระเพาะหมักจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเป็นลำดับ และเมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่า ในชั่วโมงที่ 0, 1, 2, 3, 5 และ 7 นั้นระดับของค่า pH ภายในกระเพาะหมัก ของทั้ง 3 กลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

5.8.6.3 ปริมาณ Volatile fatty acids (VFA_S) ของ Rumen fluid

ปริมาณ VFA_S ของ Rumen fluid ภายหลังจากการให้อาหารโคเจาะกระเพาะตามกลุ่มการทดลอง แสดงไว้ดังตารางที่ 5.16 ซึ่งจะแสดงถึงปริมาณของ Acetate, Propionate และอัตราส่วนระหว่าง Acetate:Propionate จะเห็นได้ว่า ปริมาณของ Acetate, Propionate และอัตราส่วนระหว่าง Acetate: Propionate ที่วิเคราะห์ได้จากน้ำย่อยภายในกระเพาะหมักของโคที่ได้รับอาหารทั้ง 3 กลุ่มการทดลองนั้น พบว่าปริมาณของ Acetate , Propionate ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และอัตราส่วนระหว่าง Acetate: Propionate มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ ($P>0.05$) และเมื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) พบว่าอัตราส่วนระหว่าง Acetate:Propionate ที่วัดได้จากโคในกลุ่มการทดลองที่ 1 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) จากกลุ่มการทดลองที่ 2 แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) กับกลุ่มการทดลองที่ 3

ตารางที่ 5.15 แสดงระดับความเป็นกรดด่าง (Rumen pH) ภายในกระเพาะหมัก ตามระยะเวลาต่าง ๆ ภายหลังจากการให้อาหารโคเจาะกระเพาะ

ชั่วโมง	Period 1			Period 2			Period 3			SEM	%CV	Pr>F		
	สูตร 1[/1]	สูตร 2[/2]	สูตร 3[/3]	สูตร1	สูตร2	สูตร3	สูตร1	สูตร2	สูตร3			Treatment	Period	Cow
0	6.64	6.87	6.64	6.59	6.70	6.67	6.82	6.54	6.75	0.05	1.78	0.798	0.310	0.954
1	6.55	6.87	6.53	6.43	6.78	6.58	6.57	6.44	6.60	0.23	1.62	0.537	0.231	0.317
2	6.52	6.66	6.44	6.33	6.69	6.45	6.03	6.74	6.82	0.10	3.05	0.961	0.380	0.242
3	6.41	6.21	6.11	6.06	6.11	6.08	6.22	6.12	6.11	0.03	1.10	0.193	0.314	0.275
5	6.36	6.49	6.49	6.25	6.33	6.37	6.32	6.12	6.49	0.05	1.67	0.373	0.455	0.355
7	6.77	6.88	6.51	6.68	6.75	6.78	6.58	6.54	6.65	0.05	1.62	0.365	0.323	0.724

หมายเหตุ [/1] 35%CRM

[/2] 40%CRM

[/3] 45%CRM

ตารางที่ 5.16 แสดงปริมาณ VFA_S ของ Rumen fluid ภายหลังจากการให้อาหารโคเจาะกระเพาะตามกลุ่มการทดลอง

VFA_s	Period 1			Period 2			Period 3			Mean			SEM	%CV	Pr>F		
(mmol/100ml)	สูตร 1/1	สูตร 2/2	สูตร 3/3	สูตร1	สูตร2	สูตร3	สูตร1	สูตร2	สูตร3	สูตร1	สูตร2	สูตร3			Treatment	Period	Cow
Butyrate	10.54	10.05	9.65	12.01	11.72	10.97	11.11	11.01	10.55	11.22	10.93	10.39	0.82	1.85	0.063	0.030	0.933
Acetate	71.53	70.25	69.02	73.34	71.75	67.21	72.14	72.38	70.53	72.34	71.46	68.92	0.50	1.22	0.159	0.898	0.618
Propionate	25.15	24.43	30.12	25.32	24.43	30.12	26.16	27.18	31.26	25.54	26.15	30.28	0.57	3.66	0.071	0.864	0.709
A:P	2.84	2.62	2.34	2.90	2.94	2.23	2.76	2.66	2.26	2.83[a]	2.74[a]	2.28[b]	0.05	3.67	0.023	0.830	0.071

หมายเหตุ [a, b] หมายถึง อักษรในแนวนอนเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P< 0.05$)

[/1] 35%CRM

[/2] 40%CRM

[/3] 45%CRM

5.8.7 วิจารณ์ผลการทดลอง

5.8.7.1 การย่อยสลายวัตถุแห้ง, การย่อยสลายโปรตีน, อัตราการย่อยสลายได้วัตถุแห้งและอัตราการย่อยสลายได้โปรตีนของอาหารข้นสูตรทดลอง และ หญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ

จากการศึกษาการย่อยสลายวัตถุแห้ง, การย่อยสลายโปรตีน, อัตราการย่อยสลายได้วัตถุแห้งและอัตราการย่อยสลายได้โปรตีนของอาหารข้นสูตรทดลอง และ หญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบแสดงไว้ในตารางที่ 5.12 และตารางที่ 5.13 พบว่า เมื่อมีระยะเวลาอยู่ในกระเพาะหมักนานขึ้น อาหารข้นสูตรทดลองทั้ง 3 สูตร และ หญ้าหมักจะมีอัตราการย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักเพิ่มขึ้นตามเวลา โดยอาหารข้นทดลองสูตรที่ 3 มีอัตราการย่อยสลายได้วัตถุแห้งสูงสุด (dgDM = 66.40) เนื่องมาจากมันสำปะหลังมีคุณสมบัติที่สามารถถูกย่อยสลายได้เร็วในกระเพาะรูเมน (Wanapat et al., 2000) ซึ่งในอาหารข้นทดลองสูตรที่ 3 ประกอบด้วยกากมันสำปะหลังในระดับสูงที่สุด และอาหารข้นทดลองสูตรที่ 1 อัตราการย่อยสลายได้โปรตีนสูงที่สุด (dgCP = 69.60) ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์ได้จากอาหารข้นทดลองสูตรที่ 1 สูงกว่า อาหารข้นทดลองสูตรที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

5.8.7.2 ระดับความเป็นกรด-ด่าง (Rumen pH) ภายในกระเพาะหมัก

ระดับความเป็นกรด-ด่าง (Rumen pH) ภายในกระเพาะหมัก ตามระยะเวลาต่าง ๆ ภายหลังจากการให้อาหารโคเจาะกระเพาะตามกลุ่มการทดลอง แสดงไว้ดังตารางที่ 5.14 พบว่า เมื่อโคกินอาหารตามกลุ่มการทดลองในแต่ละกลุ่มจะมีระดับ pH ภายในกระเพาะหมักลดลงตามชั่วโมงที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อถึงชั่วโมงที่ 5 ระดับ pH ภายในกระเพาะหมักจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเป็นลำดับ จากรายงานของ Merten and Loften (1980) เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งในสูตรอาหารไปมีผลในการลดการทำงานของ cellulolytic bacteria เมื่ออยู่ในสภาวะการเป็นกรดอันเนื่องมาจากการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตอย่างรวดเร็ว

5.8.7.3 ปริมาณ Volatile fatty acids (VFA_S) ของ Rumen fluid

ปริมาณ VFA_S ของ Rumen fluid ภายหลังจากการให้อาหารโคเจาะกระเพาะตามกลุ่มการทดลองแสดงไว้ดังตารางที่ 5.16 ซึ่งจะแสดงถึงปริมาณของ Acetate, Propionate และอัตราส่วนระหว่าง Acetate: Propionate และจากปริมาณของ Acetate, Propionate และอัตราส่วนระหว่าง Acetate:Propionate สามารถที่จะบ่งบอกถึงการเกิดโรค Rumen acidosis ได้ จากรายงานของ Hutjens (1996) พบว่า ในร่างกายโคที่เป็นปกตินั้นจะมีการผลิต Acetate:Propionate ในอัตราส่วนที่มากกว่า 2.2 : 1 แต่ถ้าผลิต Acetate:Propionate ในอัตราส่วนที่ต่ำกว่านี้จะส่งผลทำให้โคเกิดโรค

Rumen acidosis ได้ ซึ่งจะเห็นได้ว่า โคในกลุ่มการทดลองที่ 1 (2.83) โคในกลุ่มการทดลองที่ 2 (2.74) และ โคในกลุ่มการทดลองที่ 3 (2.28) นั้นมีอัตราส่วนระหว่าง Acetate:Propionate มากกว่า 2.2 : 1 จะแสดงให้เห็นว่าโคทั้ง 3 กลุ่มการทดลองจะไม่เกิดโรค Rumen acidosis ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณของ Acetate และ Propionate นั้นให้ผลสอดคล้องกับระดับของค่า pH ที่วัดได้ภายในกระเพาะหมัก ซึ่ง Garrett et al. (1999) พบว่า เมื่อระดับของค่า pH ภายในกระเพาะหมักลดต่ำกว่า 5.9 ก็จะส่งผลทำให้อัตราส่วนระหว่าง Acetate:Propionate ลดต่ำกว่า 2.2 : 1 ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากเมื่อระดับของค่า pH ภายในกระเพาะรูเมนลดลง ก็จะส่งผลทำให้การผลิต Acetate และ Propionate เปลี่ยนแปลงไป โดยจะผลิต propionate เพิ่มมากขึ้นกว่าปกติ (Hutjens, 1996)

5.8.8 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าอาหารผสมที่มีกากมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบ 35%CRM, 40%CRM และ 45%CRM ตามลำดับพบว่าไม่ส่งผลทำให้ความเป็นกรด-ด่าง ในกระเพาะหมักเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้พบว่าการใช้อาหารผสมทั้ง 3 สูตรการทดลองไม่ส่งผลต่ออัตราส่วนระหว่าง Acetate:Propionate ดังนั้นการใช้กากมันสำปะหลังเป็นแหล่งพลังงานในอาหารข้นสำหรับโคนมจึงไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของโคนม

บทที่ 6
สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการใช้กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานในอาหารข้นต่อการให้ผลผลิตของโคนมลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเชียนโดยทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี การประเมินคุณค่าทางพลังงาน และ การศึกษาการย่อยสลายในกระเพาะหมักของกากมันสำปะหลัง การศึกษาระดับสูงสุดของการใช้กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานในอาหารข้นต่อการให้ผลผลิตของโคนม และ การศึกษาระดับเชิงพานิชย์ของการใช้กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานในอาหารข้นต่อการให้ผลผลิตของโคนม รวมถึงการเปลี่ยนแปลงระดับความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมักของโคนม

1. การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี การประเมินคุณค่าทางพลังงาน และ การศึกษาการย่อยสลายในกระเพาะหมักของกากมันสำปะหลัง

กากมันสำปะหลังมีองค์ประกอบทางเคมีพวก โปรตีน และ ไขมัน ต่ำ ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีนั้นขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการผลิตของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังและอายุของมันสำปะหลัง หรืออาจมีการปนเปื้อนของดินในขณะตากกากมันสำปะหลัง รวมถึงการใส่ปุ๋ยทั้งปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยวิทยาศาสตร์ ความอุดมสมบูรณ์ของดินของพื้นที่ในการทำเขตกรรม ฤดูกาลในการปลูกมันสำปะหลัง นอกจากนี้กรรมวิธีกระบวนการสกัดแป้งออกก็ยังส่งผลถึงองค์ประกอบทางโภชนะของกากมันสำปะหลังอีกด้วย และจากการใช้ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีประเมินค่าพลังงานของวัตถุดิบอาหารสัตว์ประเภทต่างๆ พบว่ากากมันสำปะหลังมีโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมดต่ำที่สุดซึ่งวัตถุดิบแหล่งพลังงานในอาหารโคนมที่มีโภชนะที่ย่อยได้ใกล้เคียงกับกากมันสำปะหลังได้แก่ กากมะพร้าว และ กากปาล์ม เป็นต้น นอกเหนือไปจากนี้จากการศึกษาการย่อยสลายของวัตถุแห้งของวัตถุดิบอาหารสัตว์แต่ละชนิด พบว่า กากมันสำปะหลังมีการย่อยสลายของวัตถุแห้งที่เวลาต่างๆ สูงกว่าข้าวโพด และมีประสิทธิภาพการย่อยสลายของวัตถุแห้ง (Effective degradability of DM, dgDM) สูงกว่าข้าวโพด เนื่องจากกากมันสำปะหลังมีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ง่ายสูง ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นประโยชน์ในอาหารสัตว์ทดแทนข้าวโพดได้ดี แต่มีปริมาณโปรตีนต่ำ ดังนั้นในสูตรอาหารจึงควรมีโปรตีนจากแหล่งอื่นร่วมด้วย เช่น โปรตีนจากกากถั่วเหลือง เป็นต้น

2. การศึกษาระดับสูงสุดของการใช้กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานในอาหารข้นต่อการให้ผลผลิตของโคนมและการเปลี่ยนแปลงระดับความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมัก

ปริมาณน้ำนม, องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม, การกินได้ของโคนม และ น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลงของทั้ง 3 กลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้โปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{sup}) และ โปรตีนที่ไม่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RUP_{sup}) ของทั้ง 3 กลุ่มการทดลองให้ผลไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่พบว่าไม่เพียงพอต่อความต้องการของโคนมทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง ดังนั้นการใช้กากมันสำปะหลังเป็นแหล่งพลังงานในสูตรอาหารสามารถใช้ได้ในระดับสูงสุด คือ 45 เปอร์เซ็นต์ของสูตรอาหาร แต่กากมันสำปะหลังมีโปรตีนค่อนข้างต่ำซึ่งการนำมาใช้ควรได้รับการเสริมแหล่งโปรตีนในสูตรอาหารควบคู่ไปด้วยซึ่งแหล่งโปรตีน เช่น กากถั่วเหลือง นอกจากนี้การใช้กากมันสำปะหลังเป็นองค์ประกอบใน สูตรอาหารไม่มีผลกระทบต่อระดับความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมัก และ ยังไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราส่วน Acetate:Propionate ในกระเพาะหมักของโคนม ดังนั้นการใช้กากมันสำปะหลังเป็นแหล่งพลังงานในอาหารข้นสำหรับโคนมจึงไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของโคนม

3. การศึกษาระดับเชิงพาณิชย์ของการใช้กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานในอาหารข้นต่อการให้ผลผลิตของโคนมและการเปลี่ยนแปลงระดับความเป็นกรด-ด่างในกระเพาหมัก การกินได้ของโคนมไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปริมาณน้ำนม (กิโลกรัม/วัน) เปอร์เซ็นต์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม ที่ศึกษาไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และความต้องการโปรตีนย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{req}) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลาย ในกระเพาะหมัก (RUP_{req}) ต่ำกว่าความต้องการ อาจทำได้โดยการเพิ่มปริมาณกากถั่วเหลืองในสูตรอาหาร โปรตีนในกากถั่วเหลืองนั้นมีคุณสมบัติในการย่อยสลายในกระเพาะหมักค่อนข้างมาก นอกจากนี้การแก้ไขความต้องการโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP_{req}) ให้เพียงพอต่อความต้องการได้โดยการใช้วัตถุดิบประเภทโปรตีนที่มีค่าการย่อยสลาย (degradability) ต่ำ อาทิ กากเมล็ดฝ้าย กากถั่วเขียว หรือ เมล็ดถั่วเหลืองที่ผ่านความร้อน (heat treat soybean) เป็นต้น ดังนั้นการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารข้นจึงสามารถใช้ได้ในระดับที่สูงสุด คือ ระดับ 45 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งกากมันสำปะหลังนั้นมีโปรตีนที่ค่อนข้างต่ำ ทำให้การนำไปใช้นั้นควรคำนึงถึงแหล่งโปรตีนในสูตรอาหารควบคู่ไปด้วย นอกจากนี้อาหารข้นที่มีกากมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบไม่มีผลกระทบต่อระดับความเป็นกรดด่างในกระเพาะหมัก และ ไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราส่วน Acetate:Propionate ในกระเพาะหมักของโคนม ดังนั้นการใช้กากมันสำปะหลังเป็นแหล่งพลังงานในอาหารข้นสำหรับโคนมจึงไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของโคนม

ข้อเสนอแนะ

การใช้กากมันสำปะหลังเป็นองค์ประกอบในสูตรอาหารนั้นพบว่ากากมันสำปะหลังมีโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมดต่ำกว่าข้าวโพด และ รำข้าว ซึ่งเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ประเภทพลังงานเช่นเดียวกัน ดังนั้นในสูตรอาหารจึงควรใช้ ข้าวโพด และ รำข้าว เป็นแหล่งของพลังงานในสูตรอาหารร่วมด้วย ซึ่งน่าจะมีส่วนช่วยให้โคนมได้รับพลังงานที่ย่อยได้ทั้งหมดสูงกว่าจะใช้กากมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียวในสูตรอาหาร และเนื่องจากกากมันสำปะหลังมีไขมันเป็นองค์ประกอบค่อนข้างต่ำมาก ดังนั้นการใช้รำข้าวซึ่งมีองค์ประกอบของไขมันสูงในสูตรอาหารนอกจากจะเป็นแหล่งพลังงานแล้วยังมีส่วนช่วยในการหล่อลื่นเครื่องผสมอาหารอีกด้วย และพบว่าองค์ประกอบทางเคมี โดยเฉพาะโปรตีนของกากมันสำปะหลังค่อนข้างต่ำ ดังนั้นในประกอบสูตรอาหารจึงต้องใช้วัตถุดิบที่มีโปรตีนสูงเป็นแหล่งโปรตีน ซึ่งวัตถุดิบที่มีโปรตีนสูง ได้แก่ กากถั่วเหลือง กากเมล็ดฝ้าย กากถั่วลิสง กากงา เป็นต้น นอกจากนี้คุณสมบัติทางกายภาพของกากมันสำปะหลังมีลักษณะฟ่ามจึงทำให้เกิดการสูญเสีย ดังนั้นการประกอบสูตรอาหารโดยการใช้กากน้ำตาลร่วมด้วยจะทำให้กากมันสำปะหลังมีความฟ่ามลดลง และลดการสูญเสียในขณะที่โคนมกินอาหาร

รายการอ้างอิง

กรมปศุสัตว์. 2546. ปริมาณน้ำนมดิบในประเทศ. URL. http://www.dld.go.th.

เจริญศักดิ์ โรจนฤทธิพิเชษฐ์. 2519. มันสำปะหลัง. ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพ.

ชวนิศนดากร วรวรรณ, ม.ร.ว. 2500. หลักการอาหารสัตว์. หนังสือประกอบการบรรยาย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชวนิศนดากร วรวรรณ. 2534. การเลี้ยงโคนม. สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพาณิชย์.

บรรพต เที่ยวประดิษฐ์. 2504. การทดลองใช้กากมันสำปะหลังแทนรำละเอียดในอาหารไก่ไข่. วิทยานิพนธ์กสิกรรมและสัตวบาลมหาบัณฑิต. คณะกสิกรรมและสัตวบาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บุญญฤทธิ์ มุ่งจองกลาง. 2544. การศึกษาการนำผลพลอยได้ทางการเกษตรมาผลิตเป็นอาหารหยาบหมักเพื่อใช้เป็นอาหารหยาบสำหรับเลี้ยงโคนมในช่วงฤดูแล้งในประเทศไทย.วิทยานิพนธ์วิทยาศาตร์มหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ประภาพร ตั้งธนธานิช. 2538. เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชาสรีระวิทยาระบบทางเดินอาหารและลำไส้. ภาควิชาสสรีระวิทยา. คณะสัตวแพทยศาสตร์.มหาวิทยาลัยขอนแก่น

พีระพจน์ นิติพจน์ และ กฤตพล สมมาตย์. 2544. การประเมินคุณค่าทางโภชนะอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องของผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง อาหารพลังงาน และอาหารหยาบในหลอดทดลอง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาสัตวศาตร์ คณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

เยาวมาลย์ ค้าเจริญ และ สาโรช ค้าเจริญ. 2543. คุณสมบัติทางกายภาพ และ ทางเคมีของข้าวโพดเทียบกับการผลิตข้าวโพดวิทยาศาสตร์จากมันสำปะหลัง. สาส์นไก่และการเกษตร. 48(8) : 44 – 51.

วิศิษฐิพร สุขสมบัติ. 2538. เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชาการผลิตโคนม. สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์. สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

วิศิษฐิพร สุขสมบัติ. 2539. เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชาโภชนะศาสตรสัตว์เคี้ยวเอื้อง. สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์. สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

วิศิษฐิพร สุขสมบัติ. 2542. เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชาโภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์. สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

เวชสิทธิ์ โทบุราน, สุทธิพงศ์ อุริยะพงศ์สรรค์, ฉลอง วชิราภากร และ รักพงษ์ เพชรคำ. 2541. ระดับการใช้มันสำปะหลังในอาหารข้นเสริมสำหรับการผลิตเนื้อ คุณภาพดีจากลูกโคนมเพศผู้. วารสารสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 1 (8) : 28-37.

สาโรช ค้าเจริญ. 2542. อาหารและการให้อาหารสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 13-114 น.

สมเจต ใจภักดี. 2530. การศึกษาวิธีการหมักมันสำปะหลังและการนำมันสำปะหลังมาใช้ในอาหารไก่กระทง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. สาขาสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สุรพงษ์ เจริญรัก. 2525. อุตสาหกรรมมันสำปะหลัง. เอกสารวิชาการเล่มที่ 7 มันสำปะหลัง. งานทะเบียนและประมวลสถิติ. กองแผนงานและวิชาการ. กรมวิชาการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2544. ข่าวเศรษฐกิจการเกษตร. สำนักเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์การเกษตร. 47 : 523 – 553.

อุทัย คันโท. 2537. การใช้มันสำปะหลังเปรียบเทียบข้าวโพดเอ้กทรูดในสุกรหลังหย่านม. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเลี้ยงสุกรแห่งชาติ หมาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

อุทัย คันโธ, สุกัญญา จัตตุพรพงษ์ และ ไพฑูรย์ มูลจิตร. 2545. การส่งเสริมพัฒนาการผลิตและการตลาดมันเส้นสะอาด. ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Agricultural Research Council. 1980. The Nutrient Requirement of Ruminant Livestock. Commonwealth Agricultural Bureaux. (p.351). The Gresham Press, Surrey.

Agricultural Research Council. 1984. The Nutrient Requirement of Ruminant Livestock. (Supplement). Commonwealth Agricultural Bureaux. The Gresham Press, Surrey.

Allen, M. S. 2000. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. Journal of dairy science. 83:1958-1624.

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

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

Beauchemin, K.A. 2000. Managing rumen fermentation in barley-based diets:balance between high production and acidosis. URL.Http://www.afns.ualberta.ca

Chen, X.B. 1996. An Excel Application Programme for Processing Feed Digestibility Data. User Manual, Rowett Research Institute, Bucksburn, Aberdeen, UK.

Chinh, B. V., L. V. Ly, N. H. Tao and D. V. Minh. 1992. Using "C" Molasses and ensiled cassava leaves for fattening pigs. Results of research 1958-1990. Agricultural Publishing House. p. 46.

Canale, A., M. E. Valente and A. Ciotti. 1984. Determination of volatile carboxylic acid (C1- C5i) and lactic acid extracts of silage by high performance liquid chromatography. Journal of the Science of Food and Agriculture. 35 : 1178-1182.

Claypool, D.W., M.C. Pangborn and H.P. Adams. 1980. Effect dietary of protein on high producing dairy cows in early lactation. Journal of dairy science. 63:833.

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

Cooke, R. D. and E. N. Maduagwu. 1978. The effect of simple processing on the cyanide content of cassava chips. Journal of Food Technology. 13 : 229-306.

Crampton, E.W., L.E. Lloy and V.G. Mackay. 1957. The calorie value of TDN. Journal of animal science. 16:541-552.

Nhi, D. L., M. V. Sanh and L. V. Ly. 2001. Supplement cassava root meal and cassava processed leaves to diet based on natural grasses, maize stover and rice straw for fattening young swamp buffaloes. Paper presented at National workshop on swamp buffalo development. National Institute of Animal Husbandry, Hanoi.

Dhiman, T. R., J. Klrinmans, N. J. Tessmann, H. D. Radloff and L. D. Satter. 1995. Digestion and energy balance in lactating dairy cows fed varying ratios of alfalfa silage and grain. Journal of Dairy Science. 78: 330.

Egan, A.R. and R.J. Moir. 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. Australian Journal of Agricultural Research. 16:437-449.

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.

Forbes, J.M. 1986. The Voluntary Food Intake of Farm Animal. Butterworths. London.

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

Garrett, E.F., M.N. Pereira, K.V. Nordlund, L.E. Armentano, W.J. Goodger and G.R. Oetzel. 1999. Diagnostic methods for the detection of subacute ruminal acidosis in dairy cows. Journal of Dairy Science. 82 :1170-1178.

Gaynor, P.J., D.R. Waldo, A.V. Capuca, R.A. Erdman and L.W. Douglass. 1995. Effects of prepubertal growth rate and diet onlipid metabolism in lactating hostein cows. Journal of Dairy Science. 78:1534-1543.

Goering, H. K. and P. J. Van Soest. 1970. Forage Fibre Analysis. A RS./USDA Agric. Handbook, Washington.

Gomaz, G., M. Valdivieso, D. Dela Cuesta and T. S. Salcedo. 1984. Effect of variety and plant age on the cyanide content of whole root cassava chips and its reduction by sundrying. Animal Feed Science and Technology. 11 : 1161-1166.

Hibbard, B., J. P. Peter, S. T. Chester, J. A. Robinson, S. F. Kotarski, W. J. Croom and W. M. Hagler. 1995. The effect of slaframine on salivary output and subacute and acute acidosis in growing beef steers. Journal Animal Science. 73:516-525.

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

Hurley, W. L. 1998. Nutritional Factors affecting milk yield and composition. URL. Http://www.classes.aces.uiuc.edu

Hutjens, M. F. 1996. Rumen acidosis. URL.Http://dairynet.outreach.uiuc.edo

IMC AGRICO. 1996. Feed ingradient analysis table & recommendations 1996.

Khajarern, J., S. Khajarern, K. Bunsiddhi and P. Sakiya. 1979. Determination of basic chemical parameters of cassava root products of different origin, processing technology and quality. pp 13-32. In KKU-IDRC cassava/Nutrition Project 1978 Annual Report, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand.

Khang, Z., K. C. Chon and K. C. Nah. 2000. Cassava, a total substitute for cereals in livestock and poultry ratios. Ruminant Nutrition : selected articles from World Animal Review, FAO. 155-160 p.

Leng, R. A. 1978. Glucose metabolise in cattle on sugar cane based diets : a comparison of rice poshings and cassava root meal. Tropical Animal Production. 3 : 12.

Lim, L. A. 1967. Ruminal and post-ruminal utilization of nitrogen and starch from sorghum, corn and barley based diets by beff steers. Journal Animal Science. 62 : 521-530.

Losada, H. and R. Alderete. 1977. Effect of cassava root meal and urea level on the performance of steers grazed on poor quality pasture with free access to molasses. Tropical Animal Production. 4 : 47 – 50.

McDonald, P., R. A.Edwards, J. F. D. Greenhalgh and C. A. Mogran. 1995. Animal nutrition. Singapore:Longman Scientific & Technical.

MacLeod, G. K. and A. S. Wood. 1972. Influence of amount and degree of saturation of dietary fat on yield and quality of milk. Journal of Animal Science. 55: 439.

Martin, J., A. F. Nunes, J. L. Andre and A. Vaz Portugal. 1993. The post-production system for cassava. URL. http://www.fao.org

Martin, O., S. M. Balcells, J. Vicente and F. Castrillo. 2000. Influence of dietary rumen degradable protein supply on rumen characteristic and carbohydrate fermentation in beff cattle offered high-grain diets. Animal Feed Science and Technology. 88 : 59-77.

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

Merten, D. R. and J. R. Loften. 1980. The effect of starch on forage fiber digestion kenetics in vitro. Journal of Dairy Science. 63 : 1437 – 1445.

Moe, P. W., H. F. Tyrrell, and W. P. Flatt. 1971. Energetics of body tissue metabolizable. Journal of Dairy Science. 54 :548 – 559

Moe, P. W. and H. F. Tyrrell. 1972. The net energy value of feeds for lactation. Journal of Dairy Science. 55 :945-985.

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

National Research Council. 1988. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 6th Ed. National Academic Press. Washington D. C. 157 p.

National Reseach Council. 1996. Nutrients Requirements of Dairy Cattle. 7th Ed. National academy press. Washington D.C.

National Reseach Council. 2001. Nutrients Requirements of Dairy Cattle. 7th Ed. National academy press. Washington D.C. 340 p.

Nocek, J. E. 1997. Bovine acidosis:implications on laminitis. Journal of Dairy Science. 80 :1005-1028.

Ørskov, E. R., F. N. Deb Hovell, and F. Mould. 1980. The use nylon bag technique for the evaluation of feedstuffs. Tropical Animal Production. 5 : 195-213.

Ørskov, E. R. and I. McDonald. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. Journal of Agricultural Science. 92 : 499-503.

Palmquist, D. L. 1991. Influence of source and amount of dietary fat on digestibility in lactating cows. Journal of Dairy Science. 74 : 1354-1360.

Pecina, J.R, J.B. Russel and C.M.J. Yang. 1984. The importance of pH in the regulation of ruminal acetate to propionate ration and methane methane production in vitro. Journal of Dairy Science. 81:3222-3230.

Preston, R. L. 2002. Typical composition of commonly used feeds for sheep and cattle. URL. http://www.vcn.vnn.

Ravelo, G., A. Fernandez, M. Bobadilla, N. A. MacLeod, T. R. Preston and R. A. Leng. 1978. Glucose metabolise in cattle on sugar cane based diets : a comparison of rice polishings and cassava root meal. Tropical Animal Production. 1 : 66 – 71.

Reas, B. P. 1996. A study on the comparative digestibility of cassava, maize, sorghum and barley in growing pigs. Master of Veterinarry Studies Thesis, University of Queenland, Australia.

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

Sandage, J. L. and V. Davis. 1964. Prussic Acid. Agriculture and Natural Resources. Universiry of Arkansas. [On-line]. Available: http://www.uaex.edu.

Seal, C. J. and D. S. Parker. 1994. Effect of intraruminal propionic acid infusion on metabolism of mesenteric - and portal-drained viscera in growing steers fed a forage diet: i. Volatile fatty acids, glucose, and lactate. Journal of Animal Science. 72 :1325 - 1334.

Silvestre, R., N. A. MacLeod and T. R. Preston. 1997. Effect of meat meal, dried cassava root and groundnut oil in diets based on sugar cane cane/urea or molasses/urea. Tropical Animal Production. 2 : 151 - 158.

Smith, G. H. and F. H. Dodd. 1966. Effect of milking throughout pregnancy on milk yield in the succeeding lactation. Journal of Dairy Science. 46: 204.

Statistical Analysis System. 1988. SAS User' Guide: Statistics. NC: SAS Institute.

Steel, R. G. D. and J. H. Torries. 1980. Principles and procedures of statistics : a biometeric approach (2 nd Ed). McGrowHill : New York.

Stone, W. C. 2000. The effect of subclinical rumen acidosis on milk components. URL. Http://www.ansci.cornell.edu

Swift, B.W. 1957. The caloric value of TDN. Journal of Animal Science. 16:1055-1059.

Tamminga, S. 1979. Protein degradation in the forestomach of ruminants. Journal of Animal Science. 74:2696.

Tedeschi, L. D., D. G. Fox and J. B. Russell. 2000. Accounting for the effect5 of a ruminal nitrogen deficiency within the structure of the cornell net carbohydrate and protein system. Journal of Animal Science. 78 : 1648-1658.

Tewe, O. O. and E. A. Lyayi. 1989. Cyanogenic glycosides. In Toxicants of plant origin, Vol. 2, Glycosides. Ed. Cheeke, P. R. CRS Press, p. 1-10.

The Pennsylvania State University. 2001. Carbohydrate nutrition for lactating dairy cattle. URL.Http://www.das.psu.edu

Twehues, J. and D.M. Amaral. 2000. Subacute acidosis. URL. Http://www.uky.edu

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

Tyrrell, J. F. and P. W. Moe. 1975. Effect of intake on digestive efficiency. Journal of Dairy Science. 58 : 1151-1163.

Wanapat, M. 2000. Rumen manipulation to increase the efficiency use of local feed resources and productivity of ruminants in topics. Asian-Aus. Journal of Animal Science. 13(Suppl.), 59-67.

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

Weiss, W. P., H. R. Conrad and N.R.S. Pierre. 1992. A theoretically-based model for predicting total digestive nutrient value of forages and concentrates. Animal Feed Science and Technology. 39 : 95-110.

ภาคผนวก ก

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

1.1 พลังงานของหญ้าหมัก

<u>พลังงานจาก NFC</u>

Truly digestible NFC (tdNFC) = $0.98(100-[NDF_N+CP+EE+Ash])xPAF$

= $0.98(100-[53.15+6.07+2.23+11.47])$

= 26.53 %

<u>หมายเหตุ</u> ค่า PAF มิได้นำมาคำนวณทั้งนี้เนื่องจากวัตถุดิบมิได้ผ่านกระบวนการให้ความร้อนหรืออบด้วยไอน้ำ

<u>พลังงานจากโปรตีน</u>

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

= $6.07 \times exp^{[-1.2 \times (4.32/6.52)]}$

= 3.88 %

<u>พลังงานจากไขมัน</u>

True digestible FA (tdFA) = EE – 1.0

= 2.23 – 1.0

= 1.23 %

<u>พลังงานจาก NDF</u>

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

True digestible NDF (tdNDF) = $0.75x(53.15-5.43) [1-(5.43/(53.15)^{0.667})]$

= 28.26 %

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

= 26.53 + 3.88 + (1.23 x 2.25) + 28.26 – 7

= 54.43 %

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

= [(26.53/100) x 4.2] + [(28.26/100) x 4.2] + [(3.88/100) x 5.6] + [(1.23/100) x 9.4] – 0.3

= 2.33 Mcal/kg

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

= [(54.43 – [(0.18 x 54.43) – 10.3)] x 2)] / 54.43

	=	1.01
DE_p(Mcal/kg)	=	DE_{1X} x Discount
	=	2.33 x 1.00
	=	2.33 Mcal/kg
ME_p(Mcal/kg)	=	1.01 x DE (Mcal/kg) – 0.45
	=	(1.01 x 2.33) – 0.45
	=	1.95 Mcal/kg
NE_{LP} (Mcal/kg)	=	[0.703 x ME_p(Mcal/kg)] – 0.19
	=	(0.703 x 1.95) – 0.19
	=	1.18 Mcal/kg

1.2 พลังงานของกากมันสำปะหลัง

<u>พลังงานจาก NFC</u>

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

= 0.98(100-[37.21+2.53+0.20+3.76]) x 1

= 55.17 %

<u>หมายเหตุ</u> ค่า PAF มีค่าเท่ากับ 1

<u>พลังงานจากโปรตีน</u>

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

= [1- (0.4 x (0.38/2.53))] x 2.53

= 2.38 %

<u>พลังงานจากไขมัน</u>

True digestible FA (tdFA) = EE – 1.0

แต่ถ้าในกรณีที่ EE < 1, FA จะมีค่าเท่ากับ 0

<u>พลังงานจาก NDF</u>

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

True digestible NDF (tdNDF) = 0.75x(37.21-3.90) [1-(3.90/37.21)$^{0.667}$)]

= 19.50 %

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

= 55.17 + 2.38 + 0 + 19.50 – 7

= 70.06 %

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

= [(55.17/100) x 4.2] + [(19.50/100) x 4.2] + [(2.38/100) x 5.6] – 0.3

= 2.96 Mcal/kg

$$\text{Discount} = [(TDN_{1X} - [(0.18 \times TDN_{1X}) - 10.3)] \times \text{Intake})]/TDN_{1X}$$
$$= [(70.06 - [(0.18 \times 70.06) - 10.3)] \times 2)] / 70.06$$
$$= 0.93$$

$$DE_p(\text{Mcal/kg}) = DE_{1X} \times \text{Discount}$$
$$= 2.96 \times 0.93$$
$$= 2.77 \text{ Mcal/kg}$$

$$ME_p(\text{Mcal/kg}) = 1.01 \times DE \text{ (Mcal/kg)} - 0.45$$
$$= (1.01 \times 2.77) - 0.45$$
$$= 2.35 \text{ Mcal/kg}$$

$$NE_{LP} \text{ (Mcal/kg)} = [0.703 \times ME_p(\text{Mcal/kg})] - 0.19$$
$$= (0.703 \times 2.35) - 0.19$$
$$= 1.46 \text{ Mcal/kg}$$

1.3 พลังงานของรำข้าว

<u>พลังงานจาก NFC</u>

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

= $0.98(100-[22.82+12.13+17.33+13.94])\ x\ 1$

= 33.11 %

<u>หมายเหตุ</u> ค่า PAF มีค่าเท่ากับ 1

<u>พลังงานจากโปรตีน</u>

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

= $[1- (0.4\ x\ (4.58/12.13))]\ x\ 12.13$

= 10.30 %

<u>พลังงานจากไขมัน</u>

True digestible FA (tdFA) = EE – 1.0

= 17.33 – 1.0

= 16.33 %

<u>พลังงานจาก NDF</u>

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

True digestible NDF (tdNDF) = $0.75x(22.82-6.90)\ [1-(6.90/(22.82)^{0.667})]$

= 5.35 %

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

= 33.11 + 10.30 + (16.33 x 2.25) + 5.35 – 7

= 78.59 %

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

= [(33.11/100) x 4.2] + [(5.35/100) x 4.2] + [(10.30/100) x 5.6] + [(16.33/100) x 9.4] – 0.3

= 3.42 Mcal/kg

$$\text{Discount} = [(TDN_{1X} - [(0.18 \times TDN_{1X}) - 10.3)] \times \text{Intake})]/TDN_{1X}$$
$$= [(78.49 - [(0.18 \times 78.49) - 10.3)] \times 2)] / 78.49$$
$$= 0.90$$

$$DE_p(\text{Mcal/kg}) = DE_{1X} \times \text{Discount}$$
$$= 3.42 \times 0.90$$
$$= 3.09 \text{ Mcal/kg}$$

$$ME_p(\text{Mcal/kg}) = 1.01 \times DE \text{ (Mcal/kg)} - 0.45$$
$$= (1.01 \times 3.09) - 0.45$$
$$= 2.67 \text{ Mcal/kg}$$

$$NE_{LP} \text{ (Mcal/kg)} = [0.703 \times ME_p(\text{Mcal/kg})] - 0.19$$
$$= (0.703 \times 2.67) - 0.19$$
$$= 1.68 \text{ Mcal/kg}$$

1.4 พลังงานของกากถั่วเหลือง

พลังงานจาก NFC

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

= 0.98(100-[8.54+48.48+1.74+6.67]) x 1

= 33.88 %

หมายเหตุ ค่า PAF มีค่าเท่ากับ 1

พลังงานจากโปรตีน

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

= [1- (0.4 x (5.11/48.48))] x 48.48

= 46.44 %

พลังงานจากไขมัน

True digestible FA (tdFA) = EE – 1.0

แต่ถ้าในกรณีที่ EE < 1, FA จะมีค่าเท่ากับ 0

พลังงานจาก NDF

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

True digestible NDF (tdNDF) = 0.75x(8.54-1.32) [1-(1.32/(8.54)$^{0.667}$)]

= 4.36 %

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

= 33.88 + 46.44 + 0 + 4.36 – 7

= 77.68 %

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

= [(33.88/100) x 4.2] + [(4.36/100) x 4.2] + [(46.44/100) x 5.6] – 0.3

= 3.90 Mcal/kg

$$\text{Discount} = [(TDN_{1X} - [(0.18 \times TDN_{1X}) - 10.3)] \times \text{Intake})]/TDN_{1X}$$
$$= [(77.68 - [(0.18 \times 77.68) - 10.3)] \times 2)] / 77.68$$
$$= 0.90$$

$$DE_p(\text{Mcal/kg}) = DE_{1X} \times \text{Discount}$$
$$= 3.90 \times 0.90$$
$$= 3.53 \text{ Mcal/kg}$$

$$ME_p(\text{Mcal/kg}) = 1.01 \times DE \text{ (Mcal/kg)} - 0.45$$
$$= (1.01 \times 3.53) - 0.45$$
$$= 3.12 \text{ Mcal/kg}$$

$$NE_{LP} \text{ (Mcal/kg)} = [0.703 \times ME_p(\text{Mcal/kg})] - 0.19$$
$$= (0.703 \times 3.12) - 0.19$$
$$= 2.00 \text{ Mcal/kg}$$

2. การคำนวณพลังงานในอาหารข้น (Energy from feed) (NRC, 2001)

<u>พลังงานจาก NFC</u>

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

= 0.98(100-[19.45+21.58+1.44+6.03]) x 1

= 50.47 %

<u>หมายเหตุ</u> ค่า PAF มีค่าเท่ากับ 1

<u>พลังงานจากโปรตีน</u>

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

= [1- (0.4 x (4.46/21.58))] x 21.58

= 19.80 %

<u>พลังงานจากไขมัน</u>

True digestible FA (tdFA) = EE – 1.0

= 1.44– 1.0

= 0.44 %

<u>พลังงานจาก NDF</u>

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

True digestible NDF (tdNDF) = 0.75x(19.45-2.97) [1-(2.97/(19.45)$^{0.667}$)]

= 9.61 %

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

= 50.47 + 19.80 + (0.44 x 2.25) + 6.91 – 7

= 73.86 %

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

= [(50.47/100) x 4.2] + [(9.61/100) x 4.2] + [(19.80/100) x 5.6] + [(0.44/100) x 9.4] – 0.3

= 3.37 Mcal/kg

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

= [(73.86 – [(0.18 x 73.86) – 10.3)] x 2)] / 73.86

= 0.91

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

= 3.37 x 0.91

= 3.09 Mcal/kg

ME_p(Mcal/kg) = 1.01 x DE (Mcal/kg) – 0.45

= (1.01 x 3.09) – 0.45

= 2.68 Mcal/kg

NE_{LP} (Mcal/kg) = [0.703 x ME_p(Mcal/kg)] – 0.19

= (0.703 x 2.68) – 0.19

= 1.69 Mcal/kg

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

โครีดนมได้รับหญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบร่วมกับอาหารข้น

โครีดนมมีน้ำหนักเฉลี่ย 428.06 kgLW ให้นมเฉลี่ยวันละ 15.51 kg น้ำนมมีไขมัน 3.41% และโปรตีน 2.94% โครีดนมมีน้ำหนักตัวลดลงวันละ 0.20 กิโลกรัม มีค่า BCS 3.5

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

NE_{LM}(Mcal/kg) = 0.08 x (Live Weight)$^{0.75}$

= 0.08 x (428.06)$^{0.75}$

= 7.52 Mcal/day

NE_{LGain} (Mcal/kg) = Reserve Energy x (0.64/0.75)

NE_{LLoss} (Mcal/kg = Reserve Energy x 0.82

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

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

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

BCS(9) = ((Dairy BCS – 1) x 2) + 1

= ((3.5 – 1) x 2) + 1

= 6

Proportion of empty body fat = 0.037683 x 6

= 0.23

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

= 0.16

Reserve Energy = (0.226098 x 9.4) + (0.1608288 x 5.5)

= 3.02

NE_{LG}(Mcal/kg) = 1.31 Mcal/day

NE_{LL}(Mcal/kg) = (0.0929 xFat%) + (0.0547 x Crude Protein%) + 0.192

= [(0.0929 x 3.41) + (0.0547 x 2.94) + 0.192] x 15.51 (kg milk/d)

= 10.29 Mcal/day

NE_{LR} = 7.52 + 1.31 + 10.29

= 19.13 Mcal/day

ดังนั้นโครีดนม ซึ่งได้รับหญ้าหมักร่วมกับอาหารข้น จะมีความต้องการพลังงานในรูปของ NE ทั้งหมดเท่ากับ 19.13 Mcal/day

4. ความต้องการโปรตีน (Protein Requirement) ของโครีดนม (NRC, 2001)

โครีดนมได้รับหญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบร่วมกับอาหารข้น

โครีดนมมีน้ำหนักเฉลี่ย 428.06 kgLW ให้นมเฉลี่ยวันละ 15.51 kg น้ำนมมีไขมัน 3.41% และโปรตีน 2.94% โครีดนมมีน้ำหนักตัวลดลงวันละ 0.20 กิโลกรัม มีค่า BCS 3.5

$MP_R = MP_M + MP_G + MP_L$

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

MP_u = UPN/0.67

UPN(g/d) = 2.75 x (Live weight)$^{0.5}$

MP_u = [2.75 x (428.06$^{0.5}$)]/0.67

= 84.82

MP_{sh} = SPN/0.67

SPN = 0.2 x (Live weight)$^{0.6}$

MP_{sh} = [0.2 x (428.06$^{0.6}$)]/0.67

= 11.31

MP_{MFP} = MFP – (bacteria + bacterialdebris in Cecum, large intestine + keratinized Cell + others)

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

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

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

= 0.4 x 1.9 x 15.12 x 6.25

= 71.82

Bact MP(g/d) = 0.64 MCP

MCP = 0.85 gRDP_{req}

RDP_{req}(หญ้าหมัก) = 0.15294 x $TDN_{Act\ ual}$

TDN_{Act} Total (หญ้าหมัก) = DMI(kg) x %TDN x 1000

RDP_{req}(หญ้าหมัก) = 0.15294 x (7.90 kg x 0.5232x 1000)

= 633.04 g/d

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

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

RDP_{req}(อาหารข้น) = 0.15294 x (7..22 kg x 0.7401 x 1000)

= 817.29 g/d

RDP_{req} = RDP_{req}(หญ้าหมัก) + RDP_{req}(อาหารข้น)

= 633.04 + 817.29

= 1449.10 g/d

MCP = 0.85 x 1449.10

= 1231.99

MP_{Bact}(g/d) = 1231.99 x 0.64

= 788.47

MP_{End} (g/d) = 0.4 x (1.9 x 15.12 x 6.25)

= 71.82

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

= [(15.12 x 30) – 0.50((788.47/0.8) – 788.47)] + 71.82/0.67

= 453.60

MP_{M}(g/d) = MP_{u} + MP_{sh} + MP_{MFP}

= 84.82 + 11.31 + 453.60

= 558.36 g/d

MP_{G}(g/d) = NP_{g}/EffMP_NP_{g}

NP_{g}(g/d) = SWG x (268 – (29.4 x (RE/SWG)))

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

EQEBW = 0.891 x EQSBW

EQSBW = SBW x (478/MSBW)

SBW = Shrunk body weight

= 0.96 x BW

= 0.96 x 428.06 kgLW

= 410.94 kgLW

MSBW	=	Mature shrunk body weight
	=	500 kgLW (โคนมลูกผสม Holstein friesian ในประเทศไทย)
EQSBW	=	410.94 x (478/500)
	=	392.86 kgLW
EQEBW	=	0.891 x 392.86
	=	350.04 kgLW
EQEBG	=	0.956 x SWG
	=	0.956 x 0.27
	=	0.26 kgLW
RE (Mcal/d)	=	$0.0635 \times 350.04^{0.75} \times 0.26^{1.097}$
	=	1.16 Mcal/d
NP_g	=	0.27 x (268 – (29.4 x (1.16/0.27)))
	=	38.03 g/d
$EffMP_NP_g$	=	(83.4 – (0.114 x EQSBW))/100
	=	(83.4 – (0.114 x 392.86))/100
	=	0.39
MP_G(g/d)	=	38.03/0.39
	=	96.31 g/d
MP_L (g/d)	=	(Yprotn/0.67) x 1000
Yprotn (kg/d)	=	Milk production (kg/d) x (Milk true protein/100)
	=	15.51 (kg/d) x (2.94/100)
	=	0.45 kg/d
MP_L (g/d)	=	(0.45/0.67) x 1000
	=	671.15 g/d
MP_R (g/d)	=	558.36 + 96.31 + 671.15
	=	1325.82 g/d
MP_{req}	=	$MP_{Bact} + MP_{RUP} + MP_{Endo}$
MP_{RUP}	=	MP_{req} – (MPBact + MPEnd)
	=	1325.82 – (788.47 + 71.82)

		=	465.53 g/d
	$0.8RUP_{req}$	=	total digest RUP
	0.66 x total digest RUP	=	MP_{RUP}
	total digest RUP	=	465.53/0.66
		=	705.34
	total digest RUP	=	$0.8RUP_{req}$
	RUP_{req}	=	705.34/0.8
		=	881.68
	CP_{req}	=	$RDP_{req} + RUP_{req}$
		=	1449.10 + 881.68
		=	2331.08 g
ซึ่งในอาหาร	RDP_{sup}(หญ้าหมัก)	=	Total DMFed x 1000 x Diet CP x CP_RDP
		=	363.52 g/d
	RDP_{sup}(อาหารข้น)	=	Total DMFed x 1000 x Diet CP x CP_RDP
		=	1027.24 g/d
	RDP_{sup}	=	RDP_{sup}(หญ้าหมัก) + RDP_{sup}(อาหารข้น)
		=	363.52 + 1027.24
		=	1390.76 g/d
	CPTotal(หญ้าหมัก)	=	Total DMFed x 1000 x Diet CP
		=	519.32 g/d
	CPTotal(อาหารข้น)	=	Total DMFed x 1000 x Diet CP
		=	1556.42 g/d
	CPTotal	=	CPTotal(หญ้าหมัก) + CPTotal (อาหารข้น)
		=	519.32 + 1556.42
		=	2075.74 g/d
	RUP_{sup}	=	CPTotal - RDP_{sup}
		=	2075.74 – 1390.76
		=	684.98 g/d

ดังนั้นเมื่อคำนวณความต้องการโปรตีนจากตัวโคเพื่อใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ และคำนวณโปรตีนในอาหารแล้วพบว่า ความต้องการโปรตีนของโค Crude Protein เท่ากับ 2331.08 กรัม/วัน, RDP เท่ากับ 1449.10 กรัม/วัน และ RUP เท่ากับ 881.68 กรัม/วัน ส่วนโปรตีนในอาหาร Crude Protein เท่ากับ 2075.74 กรัม/วัน, RDP เท่ากับ 1390.76 กรัม/วัน และ RUP เท่ากับ 684.98 กรัม/วัน ซึ่งโคในกลุ่มการทดลองที่ 1 ได้รับ Crude Protein ขาดเท่ากับ 255.34 กรัม/วัน, RDP ขาดเท่ากับ 58.64 กรัม/วัน และ RUP ขาดเท่ากับ 196.70 กรัม/วัน

<u>ตารางที่ 1</u> แสดงราคาของสูตรอาหาร (บทที่ 4 และ บทที่ 5)

วัตถุดิบ	**ราคา/กิโลกรัม**	**สูตรอาหารบทที่ 4**			**สูตรอาหารบทที่ 5**		
		กก.	**กก.**	**กก.**	**กก.**	**กก.**	**กก.**
กากมันสำปะหลัง	2.50	350	400	450	350	400	450
ข้าวโพดบด	5.50	300	250	200	255	205	155
รำข้าว	5.00	-	-	-	100	100	100
กากถั่วเหลือง	11.50	340	340	340	160	160	160
กากน้ำตาล	2.50	-	-	-	100	100	100
ยูเรีย	8.00	-	-	-	25	25	25
แร่ธาตุ	12.00	5	5	5	5	5	5
พรีมิกซ์	25.00	5	5	5	5	5	5
รวม		1000	1000	1000	1000	1000	1000
ต้นทุนทั้งหมด/กก.		7.37	7.22	7.07	6.00	5.85	5.70

ตารางที่ 2 แสดงส่วนประกอบของแร่ธาตุที่ใช้ในสูตรอาหาร(บทที่ 4 และ บทที่ 5)

แร่ธาตุ	ปริมาณ(กรัม/กิโลกรัม)
Cupper	1.400
Manganese	10.500
Zinc	8.500
Cobalt	0.060
Iodine	0.003
Selenium	0.060
Magnesium	0.008
Sodium	150.000
Chloride	117.308
Phosphorus	20.880

ตารางที่ 3 แสดงส่วนประกอบของพรีมิกซ์ที่ใช้ในสูตรอาหาร(บทที่ 4 และ บทที่ 5)

แร่ธาตุ	ปริมาณ(กรัม/กิโลกรัม)
Vitamin A	2.00 MIU
Vitamin D3	0.40 MIU
Vitamin E	5.60
Copper	1.40
Manganese	10.50
Zinc	8.50
Cobalt	0.06
Selenium	0.06

หมายเหตุ : MIU = Million International Unit

ภาคผนวก ข

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการทดลองแบบ Simple comparison

$$X_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$$

เมื่อกำหนดให้ X คือ ค่าสังเกตแต่ละค่า

μ คือ ค่าเฉลี่ยของประชากร

α_i คือ ผลของทรีทเมนต์ที่ 1

ε_{ij} คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าสังเกตที่ j ในทรีตเมนต์ i

i คือ $1,2,3,\ldots,k$ (ให้ k เป็นจำนวนทรีตเมนต์)

j คือ $1,2,3,\ldots,n$ (ให้ n เป็นจำนวนค่าสังเกตในแต่ละทรีตเมนต์)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการทดลองแบบลาตินสแควร์

$$X_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$$

เมื่อกำหนดให้ X คือ ค่าสังเกตแต่ละค่า

μ คือ ค่าเฉลี่ยของประชากร

α_i คือ ผลของทรีทเมนต์ที่ 1

ε_{ij} คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าสังเกตที่ j ในทรีตเมนต์ i

i คือ $1,2,3,\ldots,k$ (ให้ k เป็นจำนวนทรีตเมนต์)

j คือ $1,2,3,\ldots,n$ (ให้ n เป็นจำนวนค่าสังเกตในแต่ละทรีตเมนต์)

ตารางวิเคราะห์วาเรียนซ์

<u>ตารางที่ 1</u> แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของการกินได้ของโคนมที่ได้รับอาหารข้นสูตรทดลองและหญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ (บทที่ 4)

Source	df	SS	MS	F_{value}	Pr>F
การกินได้วัตถุแห้งอาหารหยาบ (กก./ตัว/วัน)					
Treatment	2	3.48	1.74	0.91^{ns}	0.4190
Error	21	40.35	1.92		
Total	23	43.84			
		R^2= 0.0795	C.V.= 17.16%		
การกินได้วัตถุแห้งรวม (กก./ตัว/วัน)					
Treatment	2	3.54	1.77	0.92^{ns}	0.4131
Error	21	40.40	1.92		
Total	23	43.95			
		R^2= 0.0807	C.V.= 9.05%		
การกินได้โปรตีนอาหารหยาบ (กรัม/ตัว/วัน)					
Treatment	2	14189.04	7094.52	0.91^{ns}	0.4180
Error	21	163789.64	7799.50		
Total	23	177978.69			
		R^2= 0.0797	C.V.= 17.16%		
การกินได้โปรตีนอาหารรวม (กรัม/ตัว/วัน)					
Treatment	2	11659.41	5829.70	0.75^{ns}	0.4858
Error	21	163788.43	7799.44		
Total	23	175447.85			
		R^2= 0.0664	C.V.= 4.29%		

<u>ตารางที่ 1</u>(ต่อ) แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของการกินได้ของโคนมที่ได้รับอาหารข้นสูตรทดลองและหญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ (บทที่ 4)

Source	df	SS	MS	F_{value}	Pr>F
การกินได้พลังงานอาหารหยาบ (กก./ตัว/วัน)					
Treatment	2	503.41	251.70	0.91^{ns}	0.4180
Error	21	5812.29	276.77		
Total	23	6315.71			
		R^2= 0.0797	C.V.= 17.1636%		
การกินได้พลังงานรวม (กก./ตัว/วัน)					
Treatment	2	337.30	168.65	0.61^{ns}	0.5539
Error	21	5827.97	277.52		
Total	23	6165.27			
		R^2= 0.0547	C.V.= 7.64%		

<u>หมายเหตุ</u> ns = non significance

<u>ตารางที่ 2</u> แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนมของโคนมที่ได้รับอาหารข้นสูตรทดลองและหญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ(บทที่ 4)

Source	df	SS	MS	F_{value}	Pr>F
ปริมาณน้ำนม					
Treatment	2	1.59	0.79	0.11^{ns}	0.8930
Error	21	147.01	7.00		
Total	23	148.61			
		R^2= 0.0107	C.V.= 16.80%		
4% FCM					
Treatment	2	1.13	0.56	0.14^{ns}	0.8703
Error	21	85.14	4.05		
Total	23	86.08			
		R^2= 0.0131	C.V.= 14.03%		
ปริมาณไขมัน (กรัม/วัน)					
Treatment	2	3323.62	1661.81	0.33^{ns}	0.7235
Error	21	106154.63	5054.98		
Total	23	109478.25			
		R^2= 0.0303	C.V.= 13.25%		
ปริมาณโปรตีน (กรัม/วัน)					
Treatment	2	281.97	140.98	0.06^{ns}	0.9458
Error	21	52989.85	2523.32		
Total	23	53271.83			
		R^2= 0.0052	C.V.= 11.29%		
ปริมาณแล๊คโต๊ส (กรัม/วัน)					
Treatment	2	2303.86	1151.93	0.08^{ns}	0.9226
Error	21	299233.45	14249.21		
Total	23	301537.32			
		R^2= 0.0076	C.V.= 16.83%		

<u>ตารางที่ 2</u>(ต่อ) แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนมของโคนมที่ได้รับอาหารข้นสูตรทดลองและหญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ (บทที่ 4)

Source	df	SS	MS	F_{value}	Pr>F
ปริมาณของแข็งพร่องไขมัน (กรัม/วัน)					
Treatment	2	1564.14	782.07	0.02^{ns}	0.9780
Error	21	737923.73	35139.22		
Total	23	739487.87			
		R^2= 0.0021	C.V.= 14.83%		
ปริมาณของแข็งรวมในนม (กรัม/วัน)					
Treatment	2	9214.38	4607.19	0.07^{ns}	0.9298
Error	21	1324344.82	63064.03		
Total	23	1333559.20			
		R^2= 0.0069	C.V.= 13.68%		

<u>หมายเหตุ</u> ns = non significance

ตารางที่ 3 แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ขององค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมของโคนม (บทที่ 4)

Source	df	SS	MS	F_{value}	Pr>F
เปอร์เซ็นต์ไขมัน					
Treatment	2	0.27	0.13	0.92^{ns}	0.4143
Error	21	3.10	0.14		
Total	23	3.38			
		R^2= 0.0804	C.V.= 11.13 %		
เปอร์เซ็นต์โปรตีน					
Treatment	2	0.15	0.07	0.95^{ns}	0.4010
Error	21	1.68	0.08		
Total	23	1.83			
		R^2= 0.0833	C.V.= 9.87%		
เปอร์เซ็นต์แล๊คโต๊ส					
Treatment	2	0.09	0.04	0.91^{ns}	0.4171
Error	21	1.08	0.05		
Total	23	1.18			
		R^2= 0.0799	C.V.= 5.05%		
เปอร์เซ็นต์แข็งพร่องไขมัน					
Treatment	2	0.40	0.20	1.44^{ns}	0.2591
Error	21	2.95	0.14		
Total	23	3.36			
		R^2= 0.1206	C.V.= 4.52%		
เปอร์เซ็นต์ของแข็งรวมในนม					
Treatment	2	1.19	0.59	1.19^{ns}	0.3226
Error	21	10.52	0.50		
Total	23	11.71			
		R^2= 0.1021	C.V.= 6.02%		

หมายเหตุ ns = non significance

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของน้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง (บทที่ 4)

Source	df	SS	MS	F_{value}	Pr>F
น้ำหนักตัวก่อนการทดลอง (กิโลกรัม)					
Treatment	2	10.33	5.16	0.00^{ns}	0.9971
Error	21	36967.62	1760.36		
Total	23	36977.95			
		R^2= 0.0002	C.V.= 9.93%		
น้ำหนักตัวหลังการทดลอง (กิโลกรัม)					
Treatment	2	7.75	3.87	0.00^{ns}	0.9977
Error	21	35431.87	1687.23		
Total	23	35439.62			
		R^2= 0.0002	C.V.= 9.45%		
น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง (กรัม/วัน)					
Treatment	2	717.57	358.78	0.01^{ns}	0.9939
Error	21	1228553.50	58502.54		
Total	23	1229271.57			
		R^2= 0.0005	C.V.= 119.27%		

หมายเหตุ ns = non significance

<u>ตารางที่ 5</u> ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของการได้รับโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{sup}) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RUP_{sup}) (กรัม/ตัว/วัน) ของโคนม (บทที่ 4)

Source	df	SS	MS	F_{value}	Pr>F
RDP_{sup} (g/d)					
Treatment	2	1799.44	899.72	0.21^{ns}	0.8145
Error	21	91192.49	4342.49		
Total	23	92991.93			
		R^2= 0.0193	C.V.= 4.70%		
RUP_{sup} (g/d)					
Treatment	2	4252.67	2126.33	2.67^{ns}	0.0930
Error	21	16749.72	797.60		
Total	23	21002.40			
		R^2= 0.2024	C.V.= 4.05%		

<u>หมายเหตุ</u> ns = non significance

<u>ตารางที่ 6</u> ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของความต้องการโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP) (กรัม/ตัว/วัน) ของโคนม (บทที่ 4)

Source	df	SS	MS	F_{value}	Pr>F
RDP_{req} (g/d)					
Treatment	2	4537.67	2268.83	0.18 ^{ns}	0.8332
Error	21	258778.18	12322.87		
Total	23	263315.85			
		R^2= 0.0172	C.V.= 7.64%		
RDP_{sup} (g/d)					
Treatment	2	1799.44	899.72	0.21 ^{ns}	0.8145
Error	21	91192.49	4342.49		
Total	23	632228.72			
		R^2= 0.0193	C.V.= 4.70%		
ส่วนต่าง RDP					
Treatment	2	2687.43	1343.71	0.66 ^{ns}	0.5279
Error	21	42834.83	2039.75		
Total	23	45522.27			
		R^2= 0.0590	C.V.= -89.28%		
MPbact (g/d)					
Treatment	2	3278.44	1639.22	0.18 ^{ns}	0.8332
Error	21	186969.36	8903.30		
Total	23	190247.81			
		R^2= 0.0172	C.V.= 7.64%		
MP_R (g/d)					
Treatment	2	2360.50	1180.25	0.07 ^{ns}	0.9321
Error	21	351481.97	16737.23		
Total	23	353842.47			
		R^2= 0.0066	C.V.= 9.79%		

<u>ตารางที่ 6</u> (ต่อ) ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของความต้องการโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP) (กรัม/ตัว/วัน) ของโคนม (บทที่ 4)

Source	df	SS	MS	F_{value}	Pr>F
RUP_{req} (g/d)					
Treatment	2	1970.45	985.22	0.03^{ns}	0.9678
Error	21	630257.67	30012.27		
Total	23				
		R^2= 0.0031	C.V.= 19.93%		
RUP_{sup} (g/d)					
Treatment	2	4252.67	2126.33	2.67^{ns}	0.0930
Error	21	16749.72	797.60		
Total	23				
		R^2= 0.2024	C.V.= 4.05%		
ส่วนต่าง RUP (g/d)					
Treatment	2	9461.03	4730.51	0.17^{ns}	0.8442
Error	21	581633.90	27696.85		
Total	23	591094.94			
		R^2= 0.0160	C.V.= -96.38%		

<u>หมายเหตุ</u> ns = non significance (P>0.05)

* = significance (P<0.05)

** = highly significance (P<0.01)

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของการจำแนกพลังงานเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ (Mcal/วัน) (บทที่ 4)

Source	df	SS	MS	F_{value}	Pr>F
NE_{Lp} intake(Mcal/kgDM)					
Treatment					
Error	2	1.62	0.81	0.32 ^{ns}	0.7322
	21	53.79	2.56		
Total	23	55.41			
		R^2= 0.0292	C.V.= 7.46%		
NE_{LM} (Mcal/kgDM)					
Treatment	2	0.07	0.03	0.26 ^{ns}	0.7781
Error	21	1.31	0.14		
Total	23	1.39			
		R^2= 0.05	C.V.= 5.25%		
NE_{LG} (Mcal/kgDM)					
Treatment	2	4.25	2.12	1.00 ^{ns}	0.4053
Error	21	19.12	2.12		
Total	23	23.37			
		R^2= 0.1818	C.V.= 67.51%		
NE_{LL} (Mcal/kgDM)					
Treatment	2	0.15	0.07	0.04 ^{ns}	0.9653
Error	21	19.20	2.13		
Total	23	19.35			
		R^2= 0.0078	C.V.= 13.83%		
NE_{LR} (Mcal/kgDM)					
Treatment	2	6.95	3.47	1.00 ^{ns}	0.4044
Error	21	31.19	3.46		
Total	23	38.14			
		R^2= 0.1822	C.V.= 9.30%		

<u>ตารางที่ 7</u> (ต่อ) ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของการจำแนกพลังงานเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ (Mcal/วัน) (บทที่ 4)

Source	df	SS	MS	F_{value}	Pr>F
ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน					
Treatment	2	0.02	0.01	0.52^{ns}	0.6005
Error	21	0.59	0.02		
Total	23	0.62			
		R^2= 0.0471	C.V.= 19.03%		

<u>หมายเหตุ</u> ns = non significance ** = highly significance (P<0.01)

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของระดับความเป็นกรด-ด่าง (Rumen pH) ภายในกระเพาะหมัก ตามระยะเวลาต่าง ๆ ภายหลังจาการให้อาหารโคเจาะกระเพาะตามกลุ่มการทดลอง (บทที่ 4)

Source	df	SS	MS	F_{value}	Pr>F
ชั่วโมงที่ 0					
Periods	2	0.28	0.14	1.26^{ns}	0.4416
Cows	2	1.30	0.65	5.71^{ns}	0.1490
Treatment	2	0.005	0.002	0.02^{ns}	0.9767
Error	2	0.22	0.11		
Total	8	1.82			
		R^2= 0.8749	C.V.= 5.14%		
ชั่วโมงที่ 1					
Periods	2	0.42	0.21	25.70^{ns}	0.0375
Cows	2	1.67	0.83	101.06^{ns}	0.0098
Treatment	2	0.01	0.005	0.64^{ns}	0.6102
Error	2	0.01	0.008		
Total	8	2.13			
		R^2= 0.9922	C.V.= 1.39%		
ชั่วโมงที่ 2					
Periods	2	0.61	0.30	5.92^{ns}	0.1446
Cows	2	1.43	0.71	13.91^{ns}	0.0671
Treatment	2	0.04	0.02	0.40^{ns}	0.7141
Error	2	0.10	0.05		
Total	8	2.19			
		R^2= 0.9528	C.V.= 3.57%		

<u>ตารางที่ 8</u> (ต่อ) ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของระดับความเป็นกรด-ด่าง (Rumen pH) ภายในกระเพาะหมัก ตามระยะเวลาต่าง ๆ ภายหลังจากการให้อาหารโคเจาะกระเพาะตามกลุ่มการทดลอง (บทที่ 4) (ต่อ)

Source	df	SS	MS	F_{value}	Pr>F
ชั่วโมงที่ 3					
Periods	2	0.41	0.20	10.03 ^{ns}	0.0907
Cows	2	1.29	0.64	31.32 ^{ns}	0.0309
Treatment	2	0.02	0.01	0.58 ^{ns}	0.6317
Error	2	0.04	0.02		
Total	8	1.76			
		R^2= 0.9767	C.V.= 2.29%		
ชั่วโมงที่ 5					
Periods	2	0.68	0.34	4.67 ^{ns}	0.1765
Cows	2	0.60	0.30	4.15 ^{ns}	0.1942
Treatment	2	0.03	0.01	0.22 ^{ns}	0.8210
Error	2	0.14	0.07		
Total	8	1.47			
		R^2= 0.9003	C.V.= 4.10%		
ชั่วโมงที่ 7					
Periods	2	0.22	0.11	1.77 ^{ns}	0.3615
Cows	2	0.87	0.43	6.92 ^{ns}	0.1262
Treatment	2	0.13	0.06	1.10 ^{ns}	0.4764
Error	2	0.12	0.06		
Total	8	1.35			
		R^2= 0.9073	C.V.= 3.73%		

<u>หมายเหตุ</u> ns = non significance (P>0.05)

* = significance (P<0.05)

<u>ตารางที่ 9</u> ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของปริมาณ VFA_S ของ Rumen fluid ภายหลังจากการให้อาหารโคเจาะกระเพาะตามกลุ่มการทดลอง (บทที่ 4)

Source	df	SS	MS	F_{value}	Pr>F
Acetate					
Periods	2	0.47	0.23	0.13^{ns}	0.8873
Cows	2	3.80	1.90	1.02^{ns}	0.4952
Treatment	2	37.62	18.81	10.07^{ns}	0.0904
Error	2	3.73	1.86		
Total	8	65.64			
		R^2= 0.9181	C.V.= 2.12%		
Propionate					
Periods	2	0.58	0.29	0.16^{ns}	0.8642
Cows	2	1.53	0.76	0.41^{ns}	0.7093
Treatment	2	48.53	24.26	12.96^{ns}	0.0716
Error	2	3.74	1.87		
Total	8	54.40			
		R^2= 0.9311	C.V.= 5.41%		
Acetate:Propionate					
Periods	2	0.01	0.006	0.16^{ns}	0.8610
Cows	2	0.03	0.01	0.44^{ns}	0.6948
Treatment	2	0.92	0.46	11.20^{ns}	0.0819
Error	2	0.08	0.04		
Total	8	1.05			
		R^2= 0.9219	C.V.= 7.88%		

<u>หมายเหตุ</u> ns = non significance (P>0.05)

* = significance (P<0.05)

<u>ตารางที่ 10</u> แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของการกินได้ของโคนมที่ได้รับอาหารข้นสูตรทดลองและหญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ (บทที่ 5)

Source	df	SS	MS	F_{value}	Pr>F
การกินได้วัตถุแห้งอาหารหยาบ (กก./ตัว/วัน)					
Treatment	2	1.30	0.62	0.29^{ns}	0.7491
Error	21	46.83	2.23		
Total	23	48.14			
		R^2= 0.0271	C.V.= 17.55%		
การกินได้วัตถุแห้งรวม (กก./ตัว/วัน)					
Treatment	2	1.60	0.80	0.36^{ns}	0.7026
Error	21	46.86	2.23		
Total	23	48.46			
		R^2= 0.0330	C.V.= 9.60%		
การกินได้โปรตีนอาหารหยาบ (กรัม/ตัว/วัน)					
Treatment	2	6863.50	3431.75	0.29^{ns}	0.7512
Error	21	248518.33	11834.20		
Total	23	255381.84			
		R^2= 0.0268	C.V.= 17.56%		
การกินได้โปรตีนอาหารรวม (กรัม/ตัว/วัน)					
Treatment	2	7416.64	3708.32	0.31^{ns}	0.7343
Error	21	248516.13	11834.10		
Total	23	255932.77			
		R^2= 0.0289	C.V.= 5.09 %		

<u>ตารางที่ 10</u>(ต่อ) แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของการกินได้ของโคนมที่ได้รับอาหารข้นสูตรทดลองและหญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ (บทที่ 5)

Source	df	SS	MS	F_{value}	Pr>F
การกินได้พลังงานอาหารหยาบ (กก./ตัว/วัน)					
Treatment	2	1.68	0.84	0.29^{ns}	0.7513
Error	21	70.98	2.90		
Total	23	62.66			
		R^2= 0.0268	C.V.= 17.56%		
การกินได้พลังงานรวม (กก./ตัว/วัน)					
Treatment	2	0.49	0.24	0.09^{ns}	0.9183
Error	21	60.94	2.90		
Total	23	61.44			
		R^2= 0.0080	C.V.= 7.97 %		

<u>หมายเหตุ</u> ns = non significance

<u>ตารางที่ 11</u> แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนมของโคนมที่ได้รับอาหารข้นสูตรทดลองและหญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ(บทที่ 5)

Source	df	SS	MS	F_{value}	Pr>F
ปริมาณน้ำนม					
Treatment	2	2.48	1.24	0.30 ^{ns}	0.7422
Error	21	86.15	4.10		
Total	23	88.63			
		R^2= 0.0279	C.V.= 14.11%		
4% FCM					
Treatment	2	3.56	1.78	0.60 ^{ns}	0.5566
Error	21	62.17	2.96		
Total	23	65.74			
		R^2= 0.0542	C.V.= 13.12%		
ปริมาณไขมัน (กรัม/วัน)					
Treatment	2	7872.96	3936.48	0.88 ^{ns}	0.4278
Error	21	93470.94	4450.99		
Total	23	101343.91			
		R^2= 0.0776	C.V.= 13.57%		
ปริมาณโปรตีน (กรัม/วัน)					
Treatment	2	159.09	79.54	0.04 ^{ns}	0.9630
Error	21	44212.69	2105.36		
Total	23	44371.78			
		R^2= 0.0035	C.V.= 11.61%		
ปริมาณแล๊คโต๊ส (กรัม/วัน)					
Treatment	2	8560.69	4280.34	0.46 ^{ns}	0.6346
Error	21	193442.52	9211.54		
Total	23	202003.21			
		R^2= 0.0423	C.V.= 14.76%		

<u>ตารางที่ 11</u> (ต่อ) แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนมของโคนมที่ได้รับอาหารข้นสูตรทดลองและหญ้าหมักเป็นแหล่งของอาหารหยาบ (บทที่ 5)

Source	df	SS	MS	F_{value}	Pr>F
ปริมาณของแข็งพร่องไขมัน (กรัม/วัน)					
Treatment	2	3549.25	1774.62	0.08^{ns}	0.9273
Error	21	491812.25	23419.63		
Total	23	495361.51			
		R^2= 0.0071	C.V.= 13.19%		
ปริมาณของแข็งรวมในนม (กรัม/วัน)					
Treatment	2	36992.51	18496.25	0.43^{ns}	0.6562
Error	21	903528.83	43025.18		
Total	23	940521.35			
		R^2= 0.0393	C.V.= 12.70%		

<u>หมายเหตุ</u> ns = non significance

ตารางที่ 12 แสดงการวิเคราะห์วาเรียนซ์ขององค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมของโคนม (บทที่ 5)

Source	df	SS	MS	F_{value}	Pr>F
เปอร์เซ็นต์ไขมัน					
Treatment	2	0.14	0.07	0.75^{ns}	0.4849
Error	21	2.05	0.09		
Total	23				
		R^2= 0.0666	C.V.= 9.08%		
เปอร์เซ็นต์โปรตีน					
Treatment	2	0.09	0.04	1.59^{ns}	0.2272
Error	21	0.62	0.02		
Total	23	0.72			
		R^2= 0.1316	C.V.= 6.24%		
เปอร์เซ็นต์แล๊คโต๊ส					
Treatment	2	0.67	0.33	6.72^{ns}	0.1155
Error	21	1.05	0.05		
Total	23	1.72			
		R^2= 0.3902	C.V.= 4.95%		
เปอร์เซ็นต์แข็งพร่องไขมัน					
Treatment	2	0.27	0.13	1.90^{ns}	0.1740
Error	21	1.49	0.07		
Total	23	1.76			
		R^2= 0.1534	C.V.= 3.29%		
เปอร์เซ็นต์ของแข็งรวมในนม					
Treatment	2	0.003	0.001	0.01^{ns}	0.9928
Error	21	5.16	0.24		
Total	23	5.16			
		R^2= 0.0006	C.V.= 4.34%		

หมายเหตุ ns = non significance

ตารางที่ 13 ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของน้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง (บทที่ 5)

Source	df	SS	MS	F_{value}	Pr>F
น้ำหนักตัวก่อนการทดลอง (กิโลกรัม)					
Treatment	2	1583.68	791.54	0.31^{ns}	0.7366
Error	21	53583.87	25551.61		
Total	23	55166.95			
		R^2= 0.0286	C.V.= 11.57%		
น้ำหนักตัวหลังการทดลอง (กิโลกรัม)					
Treatment	2	2181.00	1090.50	0.32^{ns}	0.7268
Error	21	70675.50	3365.50		
Total	23	72856.50			
		R^2= 0.0299	C.V.= 13.05%		
น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง (กรัม/วัน)					
Treatment	2	277.80	138.90	0.01^{ns}	0.9933
Error	21	435836.41	20754.11		
Total	23	436114.22			
		R^2= 0.0006	C.V.= 192.08%		

หมายเหตุ ns = non significance

<u>ตารางที่ 14</u> ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของการได้รับโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP_{sup}) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RUP_{sup}) (กรัม/ตัว/วัน) ของโคนม (บทที่ 5)

Source	df	SS	MS	F_{value}	Pr>F
RDP_{sup} (g/d)					
Treatment	2	3750.58	1875.29	16.47*	0.0001
Error	21	2391.25	113.86		
Total	23	6141.84			
		R^2= 0.6106	C.V.= 0.85%		
RUP_{sup} (g/d)					
Treatment	2	798.81	399.40	19.10*	0.0001
Error	21	439.23	20.91		
Total	23	1238.25			
		R^2= 0.6452	C.V.= 0.80%		

<u>หมายเหตุ</u> ns = non significance

* = significance (P<0.05)

<u>ตารางที่ 15</u> ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของความต้องการโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP) (กรัม/ตัว/วัน) ของโคนม (บทที่ 5)

Source	df	SS	MS	F_{value}	Pr>F
RDP_{req} (g/d)					
Treatment	2	5874.63	2937.31	0.25^{ns}	0.7839
Error	21	105646.41	11738.49		
Total	23	111521.04			
		R^2= 0.0526	C.V.= 9.06%		
RDP_{sup} (g/d)					
Treatment	2	3750.58	1875.29	16.47*	0.0001
Error	21	2391.25	113.86		
Total	23	6141.84			
		R^2= 0.6106	C.V.= 0.85%		
ส่วนต่าง RDP					
Treatment	2	16035.89	8017.94	0.66^{ns}	0.5290
Error	21	256485.69	12213.60		
Total	23	272521.59			
		R^2= 0.0588	C.V.= -71.73%		
MPbact (g/d)					
Treatment	2	7018.46	3509.23	0.40^{ns}	0.6773
Error	21	185665.92	8841.23		
Total	23	192684.38			
		R^2= 0.0364	C.V.= 7.85%		
MP_R (g/d)					
Treatment	2	8130.59	4065.29	0.25^{ns}	0.7839
Error	21	146222.32	16246.92		
Total	23	154352.91			
		R^2= 0.0526	C.V.= 9.06%		

<u>ตารางที่ 15</u> (ต่อ) ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของความต้องการโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RUP) (กรัม/ตัว/วัน) ของโคนม (บทที่ 5)

Source	df	SS	MS	F_{value}	Pr>F
RUP_{req} (g/d)					
Treatment	2	407503.69	203751.84	4.51*	0.0235
Error	21	949610.89	45219.56		
Total	23	1357114.58			
		R^2= 0.3002	C.V.= 28.00%		
RUP_{sup} (g/d)					
Treatment	2	798.81	399.40	19.10*	0.0001
Error	21	439.23	20.91		
Total	23	1238.25			
		R^2= 0.6452	C.V.= 0.80%		
ส่วนต่าง RUP (g/d)					
Treatment	2	376544.49	188272.24	4.17*	0.0298
Error	21	947790.72	45132.89		
Total	23	1324335.21			
		R^2= 0.2843	C.V.= -110.21%		

<u>หมายเหตุ</u> ns = non significance (P>0.05)

* = significance (P<0.05)

** = highly significance (P<0.01)

ตารางที่ 16 ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของการจำแนกพลังงานเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ(Mcal/วัน)(บทที่ 5)

Source	df	SS	MS	F_{value}	Pr>F
NE_{Lp} intake(Mcal/kgDM)					
Treatment	2	1.60	0.80	0.32 ^{ns}	0.7305
Error	21	53.01	2.52		
Total	23	54.62			
		R^2= 0.0294	C.V.= 7.67%		
NE_{LM} (Mcal/kgDM)					
Treatment	2	0.80	0.40	1.45 ^{ns}	0.2848
Error	21	2.51	0.27		
Total	23	3.32			
		R^2= 0.2435	C.V.= 6.93%		
NE_{LG} (Mcal/kgDM)					
Treatment	2	17.00	8.50	1.33 ^{ns}	0.3111
Error	21	57.38	6.37		
Total	23	74.38			
		R^2=	C.V.= %		
NE_{LL} (Mcal/kgDM)					
Treatment	2	4.60	2.30	1.86 ^{ns}	0.2110
Error	21	11.14	1.23		
Total	23	15.74			
		R^2= 0.2922	C.V.= 11.80%		
NE_{LR} (Mcal/kgDM)					
Treatment	2	28.46	14.23	1.20 ^{ns}	0.3443
Error	21	106.46	11.82		
Total	23	134.92			
		R^2= 0.2109	C.V.= 19.63%		

<u>ตารางที่ 16</u> (ต่อ) ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของการจำแนกพลังงานเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ (Mcal/วัน) (บทที่ 5)

Source	df	SS	MS	F_{value}	Pr>F
ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน					
Treatment	2	0.01	0.009	0.20^{ns}	0.8239
Error	21	0.97	0.04		
Total	23	0.99			
		R^2= 0.0182	C.V.= 28.74%		

<u>หมายเหตุ</u> ns = non significance ** = highly significance (P<0.01)

<u>ตารางที่ 17</u> ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของระดับความเป็นกรด-ด่าง (Rumen pH) ภายในกระเพาะหมัก ตามระยะเวลาต่าง ๆ ภายหลังจาการให้อาหารโคเจาะกระเพาะตามกลุ่มการทดลอง (บทที่ 5)

Source	df	SS	MS	F_{value}	Pr>F
ชั่วโมงที่ 0					
Periods	2	0.06	0.03	2.22^{ns}	0.3104
Cows	2	0.001	0.0006	0.05^{ns}	0.9541
Treatment	2	0.007	0.003	0.25^{ns}	0.7980
Error	2	0.02	0.01		
Total	8	0.10			
		R^2= 0.7161	C.V.= 1.78%		
ชั่วโมงที่ 1					
Periods	2	0.07	0.03	3.31^{ns}	0.2319
Cows	2	0.04	0.02	2.15^{ns}	0.3178
Treatment	2	0.01	0.009	0.86^{ns}	0.5370
Error	2	0.02	0.16		
Total	8	0.16			
		R^2= 0.8633	C.V.= 1.62%		
ชั่วโมงที่ 2					
Periods	2	0.12	0.06	1.63^{ns}	0.3808
Cows	2	0.24	0.12	3.13^{ns}	0.2424
Treatment	2	0.003	0.001	0.04^{ns}	0.9618
Error	2	0.07	0.03		
Total	8	0.46			
		R^2= 0.8273	C.V.= 3.05%		

<u>ตารางที่ 17</u> (ต่อ) ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของระดับความเป็นกรด-ด่าง (Rumen pH) ภายในกระเพาะหมัก ตามระยะเวลาต่าง ๆ ภายหลังจากการให้อาหารโคเจาะกระเพาะตามกลุ่มการทดลอง (บทที่ 5)

Source	df	SS	MS	F_{value}	Pr>F
ชั่วโมงที่ 3					
Periods	2	0.02	0.01	2.18^{ns}	0.3146
Cows	2	0.02	0.01	2.63^{ns}	0.2758
Treatment	2	0.03	0.01	4.16^{ns}	0.1936
Error	2	0.009	0.004		
Total	8	0.09			
		R^2= 0.8997	C.V.= 1.10%		
ชั่วโมงที่ 5					
Periods	2	0.02	0.01	1.18^{ns}	0.4553
Cows	2	0.04	0.02	1.82^{ns}	0.3552
Treatment	2	0.03	0.01	1.67^{ns}	0.3739
Error	2	0.02	0.01		
Total	8				
		R^2=0.8235	C.V.= 1.67%		
ชั่วโมงที่ 7					
Periods	2	0.04	0.02	2.09^{ns}	0.3239
Cows	2	0.008	0.004	0.38^{ns}	0.7245
Treatment	2	0.04	0.02	1.74^{ns}	0.3654
Error	2	0.02	0.01		
Total	8	0.12			
		R^2= 0.8078	C.V.= 1.62%		

<u>หมายเหตุ</u> ns = non significance (P>0.05)

* = significance (P<0.05)

<u>ตารางที่ 18</u> ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของปริมาณ VFA_S ของ Rumen fluid ภายหลังจากการให้อาหารโคเจาะกระเพาะตามกลุ่มการทดลอง (บทที่ 5)

Source	df	SS	MS	F_{value}	Pr>F
Acetate					
Periods	2	0.43	0.21	0.20^{ns}	0.8309
Cows	2	5.15	2.57	2.42^{ns}	0.2925
Treatment	2	28.27	14.13	13.27^{ns}	0.0701
Error	2	2.13	1.06		
Total	8	35.99			
		R^2= 0.9407	C.V.= 1.59%		
Propionate					
Periods	2	0.87	0.43	0.44^{ns}	0.6962
Cows	2	3.85	1.92	1.93^{ns}	0.3417
Treatment	2	39.89	19.94	19.92 *	0.0478
Error	2	2.02	1.00		
Total	8	46.63			
		R^2= 0.9570	C.V.= 4.11%		
Acetate:Propionate					
Periods	2	0.03	0.01	0.77^{ns}	0.5635
Cows	2	0.07	0.03	1.83^{ns}	0.3529
Treatment	2	0.75	0.37	17.45*	0.0542
Error	2	0.04	0.21		
Total	8	0.91			
		R^2= 0.9525	C.V.= 5.47%		

<u>หมายเหตุ</u> ns = non significance (P>0.05)

* = significance (P<0.05)

ประวัติผู้เขียน

นางสาวปิตุนาถ หนูเสน เกิดเมื่อวันที่ 25 สิงหาคม 2523 ที่จังหวัดชุมพร ศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาเมื่อปี พ.ศ. 2545 และ เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ปี พ.ศ. 2545