การศึกษาความต้องการพลังงานและโปรตีนของโคนมที่ให้นมปานกลาง

นางสาวรัชนีกร มูลปา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-7359-98-7

A SUTDY OF ENERGY AND PROTEIN REQUIREMENT OF MEDIUM YIELDING DAIRY COWS

Miss. RATCHANEEKORN MOONPA

The 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 2000

ISBN 974-7359-98-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาความต้องการพลังงานและโปรตีนของโคนมที่ให้นมปานกลาง

สภามหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....

(รศ.ดร. พงษ์ชาญ ณ ลำปาง)

ประธานกรรมการ

.....

(ผศ.ดร. วิศิษฐิพร สุขสมบัติ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

.....

(รศ.ดร. กนก ผลารักษ์)

กรรมการ

.....

(นสพ.ดร. บัญชร ลิขิตเดชาโรจน์)

กรรมการ

.....

(รศ. ดร.เกษม ปราบริปูตลุง)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

.....

(รศ.ดร. กนก ผลารักษ์)

คณบดีสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

รัชนีกร มูลปา : การศึกษาความต้องการพลังงานและโปรตีนของโคนมที่ให้นมปานกลาง
(A SUTDY OF ENERGY AND PROTEIN REQUIREMENT OF MEDIUM YIELDING DAIRY COWS)
อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. วิศิษฐิพร สุขสมบัติ, 105 หน้า. ISBN 974-7359-98-7

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงผลของการตอบสนองต่อการให้ผลผลิตน้ำนม น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง และการกินได้ เมื่อโคนมได้รับระดับพลังงานและโปรตีนที่แตกต่างกัน งานวิจัยนี้ได้แบ่งออกเป็น 2 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 ศึกษาความต้องการพลังงานและโปรตีนที่ระดับ 90 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ของ NRC (1988) และการทดลองที่ 2 ศึกษาความต้องการพลังงานและโปรตีนที่ระดับ 100 และ 110 เปอร์เซ็นต์ ของ NRC (1988) ในแต่ละการทดลองใช้โครีดนมลูกผสมโฮสไตลน์ฟรีเชียน (Holstein Friesian) สายเลือดประมาณ 87.5 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 24 ตัว แบ่งเป็น 4 กลุ่มการทดลอง จัดกลุ่มการทดลองแบบ Stratified Random Balance Group ตามปริมาณน้ำนม อายุและน้ำหนัก โดยโคที่ใช้ในการวิจัยนี้มีปริมาณน้ำนมเฉลี่ย 15.2 $\pm$ 0.5 กิโลกรัมต่อวัน, อายุเฉลี่ย 5.9 $\pm$ 2.8 เดือน และน้ำหนักตัวเฉลี่ย 432 $\pm$ 6.8 กิโลกรัม จัดแผนการทดลองแบบ 2 x 2 Factorial โดยมีปัจจัย A เป็นโภชนะพลังงาน และปัจจัย B เป็นโภชนะโปรตีน ผลการทดลองพบว่าระดับพลังงานที่ 110%NRC (1988) มีแนวโน้มทำให้ผลผลิตน้ำนมลดลง ส่วนระดับโปรตีนที่ 100 และ 110%NRC (1988) มีแนวโน้มทำให้ผลผลิตน้ำนมลดลงเช่นกัน ดังนั้นความต้องการพลังงานของโคนมที่ให้นมปานกลางอยู่ในช่วง 100-110%NRC (1988) และความต้องการโปรตีนของโคนมให้นมปานอยู่ในช่วง 90-100%NRC (1988)

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ ลายมือชื่อนักศึกษา _____
ปีการศึกษา 2544 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____
ลายมือชื่ออาจารย์ทีปรึกษาร่วม _____
ลายมือชื่ออาจารย์ทีปรึกษาร่วม _____

RATCHANEEKORN MOONPA : A SUTDY OF ENERGY AND PROTEIN REQUIREMENT IN MEDIUM YIELDING DAIRY COWS.
THESIS ADVISOR : ASSISR. PROF WISITIPORN SUKSOMBAT, Ph.D. 106 PP. ISBN 974-7359-98-7

The objective of the present study is to investigate the response of energy and protein level on milk production, body weight, weight change and feed intake in medium yielding dairy cows fed with 6%NaOH treated bagasse based diet. The present research divided in to 2 experiments. The first experiment was conducted to study the 90% and 100% of energy and protein requirement recommended by NRC (1988) and the second experiment was conducted to study the 100% and 110% of energy and protein requirement recommended by NRC (1988). In each experiment, twenty-four Holstein-Friesian (HF) crossbred cows were stratified random balanced group in to four groups. The cows in this research have an average of 15.2 $\pm$ 0.5 kg milk /day, 5.9 $\pm$ 2.8 year old, and 432 $\pm$ 6.8 kg body weight. The experiment was allotted into a 2 x 2 factorial arrangement, which factor A was energy level and factor B was protein level. The result showed that milk production of cows on energy level 110%NRC tended to decrease and those milk production of cows on protein level 100% and 110%NRC tended to decrease. Therefore energy requirement of medium producing dairy cows should be slightly higher than recommended by NRC (1988) (100-110%NRC). Protein requirement of medium producing dairy cows should be slightly lower than recommended by NRC (1988) (90-100%NRC).

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ ลายมือชื่อนักศึกษา _____
ปีการศึกษา 2544 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____
ลายมือชื่ออาจารย์ทีปรึกษาร่วม _____
ลายมือชื่ออาจารย์ทีปรึกษาร่วม _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิศิษฐิพร สุขสมบัติ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาและแนวคิดที่เป็นประโยชน์ทั้งในด้านวิชาการและการดำเนินการวิจัย ตลอดจนคำแนะนำในการเขียนและการตรวจแก้วิทยานิพนธ์ และสนับสนุนค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการวิจัยนี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. พงษ์ชาญ ณ ลำปาง และอาจารย์นายสัตวแพทย์ ดร. บัญชร ลิขิตเดชาโรจน์ กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำและตรวจแก้วิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. กนก ผลารักษ์ อาจารย์สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และผู้จัดการฟาร์มมหาวิทยาลัย ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือต่างๆ ในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความอนุเคราะห์โคนมและสถานที่ในการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณพี่ๆ บุคลากรประจำอาคารเครื่องมือ 3 ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ในการทำการวิจัยนี้

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ และน้องๆ ทุกคนโดยเฉพาะ คุณ เกียรติศักดิ์ ศรีพันธบุตร ที่ให้ความช่วยเหลือในงานวิจัยและเป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้าตลอดมา

งานวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ผ่านทางผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิศิษฐิพร สุขสมบัติ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และพี่ๆ ทุกคนที่ให้การเลี้ยงดูอบรม ส่งเสริมการศึกษาเป็นอย่างดี และให้กำลังใจข้าพเจ้าเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

รัชนีกร มูลปา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญภาพ	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	3
1.3 สมมุติฐานการวิจัย	3
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.6 คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย	4
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ความหมายของโภชนะ	5
2.2 ความต้องการโภชนะในสัตว์	5
2.3 พลังงาน	6
2.3.1 หน่วยของพลังงาน	6
2.3.2 ประเภทของพลังงานในอาหารสัตว์	7
2.3.3 ขั้นตอนของพลังงาน	8
2.3.4 ความต้องการโภชนะพลังงานในโคนม	10
2.3.5 เมธาโบลิซึมของพลังงานในอาหารสัตว์	10
2.3.6 แหล่งอาหารสัตว์ที่ใช้เป็นพลังงาน	11
2.3.7 การประเมินค่าพลังงานในอาหาร	14
2.3.8 การวัดและการคำนวณ ME content ในอาหารสัตว์	15
2.3.9 การใช้ประโยชน์ของพลังงานในอาหาร	16
2.3.10 การประเมินค่าพลังงานที่นำเสนอใหม่	17
2.3.11 สมการคำนวณค่า TDN	20

สารบัญต่อ

	หน้า
2.3.12 การปรับค่าพลังงานจากไขมัน	20
2.3.13 การคำนวณค่า NE_L จาก TDN, ME และ NDF	20
2.4 โปรตีน	21
2.4.1 ความต้องการโภชนะโปรตีนในโคนม	21
2.4.2 การย่อยและการดูดซึมโปรตีนในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง	22
2.4.3 ระบบการประเมินค่าโปรตีนในอาหารและความต้องการโปรตีนในสัตว์เคี้ยวเอื้อง	23
2.4.4 การประเมินค่าโปรตีนในอาหาร	25
2.4.5 การประเมินความต้องการโปรตีนในโคนม	26
2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและโปรตีนในอาหาร	27
2.6 ปัจจัยที่ควบคุมการกินได้ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง	29
2.6.1 Metabolic factors	29
2.6.2 Physical factors	29
2.6.3 ปัจจัยทางพฤติกรรมการกินอาหารของ grazing cattle	31
2.6.4 ปัจจัยที่เกิดจากตัวสัตว์	31
2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยได้ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง	31
2.8 ปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตและองค์ประกอบในน้ำนม	33
2.8.1 ปัจจัยทางสรีรวิทยา	34
2.8.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม	35
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	39
3.1 วัตถุประสงค์	39
3.2 วิธีการวิจัย	39
3.3 แผนการทดลอง	40
3.4 การวิเคราะห์และเก็บตัวอย่าง	40
3.4.1 ตัวอย่างจากการให้ผลผลิตและอาหาร	40
3.4.2 ตัวอย่างจากการย่อยสลายโภชนะของอาหาร	41
3.5 การบันทึกข้อมูล	41
3.5.1 ข้อมูลการให้ผลผลิต	41

สารบัญต่อ

		หน้า
	3.5.2 ข้อมูลการย่อยสลายของโภชนะ	41
	3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล	42
	3.7 สถานที่ทำการวิจัย	42
	3.8 ระยะเวลาทำการทดลอง	42
บทที่ 4	**การศึกษาความต้องการพลังงานและโปรตีนที่ระดับ90% และ 100%NRC**	43
	4.1 วัตถุประสงค์	44
	4.2 อุปกรณ์และวิธีการวิจัย	44
	4.2.1 การศึกษาผลตอบสนองด้านผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบในน้ำนม การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวและการกินได้ของโคให้นมปานกลาง	44
	4.2.2 การศึกษาการย่อยสลายของโภชนะในอาหารจากโคเจาะกระเพาะ	47
	4.3 การวิเคราะห์สถิติ	49
	4.4 ผลการทดลอง	49
	4.4.1 การกินได้ของพลังงานและโปรตีนรวม	49
	4.4.2 ผลผลิตน้ำนม	50
	4.4.3 องค์ประกอบในน้ำนม	50
	4.4.4 น้ำหนักตัว	51
	4.4.5 ผลต่อการย่อยสลายโภชนะ	52
	4.5 วิจารณ์ผลการทดลอง	53
	4.6 สรุปผลการทดลอง	56
บทที่ 5	**การศึกษาความต้องการพลังงานและโปรตีนที่ระดับ100% และ 110%NRC**	57
	5.1 วัตถุประสงค์	57
	5.2 อุปกรณ์และวิธีการวิจัย	57
	5.2.1 การศึกษาผลตอบสนองด้านผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบในน้ำนม การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวและการกินได้ของโคให้นมปานกลาง	57
	5.2.2 การศึกษาการย่อยสลายของโภชนะในอาหารจากโคเจาะกระเพาะ	59
	5.3 การวิเคราะห์สถิติ	60
	5.4 ผลการทดลอง	61
	5.4.1 การกินได้ของพลังงานและโปรตีนรวม	61

สารบัญต่อ

	หน้า
5.4.2 ผลผลิตน้ำนม	61
5.4.3 องค์ประกอบในน้ำนม	62
5.4.4 น้ำหนักตัว	62
5.4.5 ผลต่อการย่อยสลายโภชนะ	64
5.5 วิจารณ์ผลการทดลอง	64
5.6 สรุปผลการทดลอง	67
บทที่ 6 วิจารณ์ผลการวิจัย	69
6.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารรวม	69
6.2 การกินได้ของโภชนะ	69
6.3 ผลผลิตน้ำนม	70
6.4 การใช้โภชนะโปรตีนจากอาหาร	71
6.5 พลังงานที่ใช้เพื่อกิจกรรมต่างๆ	72
บทที่ 7 สรุปผลการวิจัย	77
รายการอ้างอิง	79
ภาคผนวก	86
ภาคผนวก ก	86
ภาคผนวก ข	100
ประวัติผู้เขียน	105

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	แสดงผลการเพิ่มระดับโปรตีนต่อประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของพลังงาน	28
ตารางที่ 2.2	แสดงผลระยะห่างในการรีดนมต่อผลผลิตน้ำนม	36
ตารางที่ 4.1	แสดงคุณสมบัติของโคในแต่ละกลุ่ม	44
ตารางที่ 4.2	องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่นำมาประกอบสูตรอาหาร	45
ตารางที่ 4.3	องค์ประกอบทางเคมีของอาหารรวมที่ใช้ในการทดลองที่ 1	46
ตารางที่ 4.4	แสดงผลการกินได้ของวัตถุแห้ง พลังงานและโปรตีนรวมของโคนมในการทดลองที่ 1	49
ตารางที่ 4.5	แสดงผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบในน้ำนม	50
ตารางที่ 4.6	แสดงผลองค์ประกอบที่สำคัญในน้ำนม	51
ตารางที่ 4.7	แสดงผลน้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง	52
ตารางที่ 5.1	แสดงคุณสมบัติของโคในแต่ละกลุ่ม	58
ตารางที่ 5.2	องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่นำมาประกอบสูตรอาหาร	59
ตารางที่ 5.3	องค์ประกอบทางเคมีของอาหารรวมที่ใช้ในการทดลองที่ 2	60
ตารางที่ 5.4	แสดงผลการกินได้ของวัตถุแห้ง พลังงานและโปรตีนรวมของโคนมในการทดลองที่ 2	61
ตารางที่ 5.5	แสดงผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบในน้ำนม	62
ตารางที่ 5.6	แสดงผลองค์ประกอบที่สำคัญในน้ำนม	63
ตารางที่ 5.7	แสดงผลน้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง	
ตารางที่ 6.1	แสดงการได้รับและความต้องการโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักและโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมักในการทดลองที่ 1	71
ตารางที่ 6.2	แสดงการได้รับและความต้องการโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักและโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมักในการทดลองที่ 2	72
ตารางที่ 6.3	แสดงการใช้พลังงานเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ ในการทดลองที่ 1	73
ตารางที่ 6.4	แสดงการใช้พลังงานเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ ในการทดลองที่ 2	74
ตารางที่ 6.5	แสดงค่าคงที่ที่ใช้ในสมการทำนายค่า NE_M ที่ได้จากการทดลอง	75
ตารางที่ 6.6	สมการ Multiple regression ระหว่าง ปริมาณน้ำนม (กิโลกรัมต่อวัน) หรือ NE_L กับ NEL, RDP และ UDP	76

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 2.1	แสดงขั้นตอนการสูญเสียพลังงานประเภทต่างๆ	8
ภาพที่ 2.2	แสดงสัดส่วนโดยประมาณของพลังงานที่สูญเสียและที่ใช้เพื่อกิจกรรมต่างๆ ในโคนม	9
ภาพที่ 2.3	แสดงขบวนการหมักอาหารคาร์โบไฮเดรตโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักของสัตว์เคี้ยวเอื้อง	12

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

การจัดการด้านอาหารเพื่อให้โคนมให้ผลผลิตน้ำนมสูงๆนั้น ต้องแน่ใจว่าอาหารที่ให้แก่โคนมประกอบไปด้วยโภชนะต่างๆ อาทิ พลังงาน โปรตีน แร่ธาตุและไวตามินที่เพียงพอกับความต้องการ อย่างไรก็ตามโภชนะหลักที่สำคัญที่โคนมมีความต้องการในปริมาณมากคือพลังงานและโปรตีน ส่วนแร่ธาตุและไวตามินนั้นสัตว์มีความต้องการในปริมาณที่น้อยและส่วนใหญ่สามารถเสริมในอาหารได้ในรูปของแร่ธาตุหรือไวตามินผสมสำเร็จรูป อาหารหลักที่ใช้เลี้ยงโคนมได้แก่พืชอาหารสัตว์ เมล็ดธัญพืช และผลพลอยได้ทางการเกษตร อาหารสัตว์เหล่านี้จะให้คุณค่าทางพลังงานและโปรตีนที่แตกต่างกัน และมีความผันแปรในอาหารชนิดเดียวกันค่อนข้างมาก ถ้าสามารถทราบคุณค่าทางโภชนะที่แท้จริงของอาหารสัตว์นี้ได้ การคำนวณการให้อาหารแก่โคนมให้เพียงพอกับความต้องการสามารถทำได้แม่นยำยิ่งขึ้น อีกทั้งยังเป็นการช่วยลดต้นทุนในด้านอาหารได้อีกด้วย

ปัจจุบันนักวิชาการด้านอาหารสัตว์ใช้ข้อมูลมาตรฐานการให้อาหารจากประเทศที่พัฒนาแล้ว อาทิ ประเทศสหรัฐอเมริกา (National Research Council; NRC, 1988) และสหราชอาณาจักร (Agricultural Research Council; ARC, 1980; 1984) เป็นต้น โดยปกติแล้วคุณค่าทางโภชนะของอาหารสัตว์จะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของพืชอาหารสัตว์นั้นๆ สภาพภูมิอากาศ สภาพการเจริญเติบโต และอื่นๆ ดังนั้นอาหารสัตว์ที่ปลูกอยู่ในประเทศไทยย่อมมีคุณค่าทางโภชนะแตกต่างจากอาหารสัตว์ที่ปลูกในเขตอื่นๆ ของโลก อาหารสัตว์ในเขตร้อนมักจะมีโปรตีนและการย่อยได้โปรตีนและพลังงานต่ำกว่าอาหารสัตว์ในเขตอบอุ่น (Minson, 1980) ฉะนั้นการอ้างอิงข้อมูลทางโภชนะซึ่งส่วนใหญ่ได้ทำการวิเคราะห์และรวบรวมในเขตอบอุ่น (ARC, 1980; 1984 และ NRC, 1988) มาใช้ในการคำนวณการให้อาหารโคนมในเมืองไทย อาจเป็นเหตุให้สูตรอาหารนั้นไม่ตรงกับความต้องการที่แท้จริงของโคนมในประเทศ ซึ่งอาจเป็นผลให้ผลผลิตต่ำกว่าที่คาดไว้หรือเกิดการสูญเสียทางเศรษฐกิจในส่วนที่เกินและส่วนที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ได้

ในการที่จะทราบถึงความต้องการโภชนะในอาหารนั้น ก่อนอื่นต้องทราบถึงพลังงานในอาหารที่โคสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ จึงจะสามารถคำนวณการให้อาหารได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม แต่ในการวิเคราะห์หาค่าพลังงานนั้นเป็นประจำต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายสูง โดยทั่วไปแล้วจะใช้วิธีการประเมินค่าพลังงานที่สัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จากอาหารชนิดต่างๆ การ

ประเมินค่าทางพลังงานส่วนใหญ่มักจะใช้การประเมินจากส่วนประกอบทางเคมีของอาหาร หรือค่าการย่อยได้ของโภชนะต่างๆ เช่น โปรตีนหยาบ (Crude protein, CP) เยื่อใย (Crude fiber, CF) เยื่อใยที่ไม่ละลายในดีเทอเจนที่เป็นกลาง (Neutral detergent fiber, NDF) เยื่อใยที่ไม่ละลายในดีเธอเจนที่เป็นกรด (Acid detergent fiber, ADF) และลิกนิน (Acid detergent lignin, ADL) แต่อย่างไรก็ตามวิธีการเหล่านี้ต้องได้รับการปรับค่าก่อนนำมาใช้ วิธีการปรับคือการใช้ค่าที่วัดได้โดยวิธี *in vivo* กับค่าที่ประมาณได้จากสมการ ส่วนการประเมินค่าโปรตีนของอาหารสัตว์ในระยะเริ่มแรกใช้การประเมินจากค่าโปรตีนรวมในอาหาร (Dietary crude protein) ในระยะต่อมาจะใช้การประเมินจากโปรตีนย่อยได้ (Digestible protein) อย่างไรก็ตามในปัจจุบันได้มีการนำวิธีการประเมินจากส่วนของโปรตีนที่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก (Rumen degradable protein) และที่ไหลผ่านกระเพาะ-หมัก (Bypass protein) มาใช้ หรือแม้กระทั่งนำส่วนของโปรตีนใช้ประโยชน์ (Metabolisable protein) และกรดอะมิโน (Amino acids) มาใช้ในการประเมิน การย่อยได้ของโปรตีนในอาหารสัตว์ในเขตอบอุ่น (Temperate) ค่อนข้างจะคงที่ ผันแปรอยู่ระหว่าง 90-95% ยกเว้นกรณีของอาหารสัตว์ที่ผ่านขบวนการให้ความร้อน เช่น พืชแห้ง (Hay) พืชหมัก (Silage) และผลพลอยได้จากพืชทางการเกษตร (By-products) การย่อยได้ของโปรตีนในอาหารสัตว์คุณภาพต่ำซึ่งมักจะมีโปรตีนเป็นส่วนประกอบอยู่น้อยก็มักจะต่ำด้วย ความต้องการโปรตีนรวมในระบบ NRC จะขึ้นอยู่กับค่าการย่อยได้ของโปรตีนหยาบในอาหารนั้นๆ ซึ่งอาจจะไม่เหมือนกับอาหารสัตว์คุณภาพต่ำในเขตร้อน ดังนั้นข้อมูลรายละเอียดต่าง ๆ เกี่ยวกับการย่อยได้ การละลายได้ และการย่อยสลายของโปรตีนในวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ใช้อยู่ในประเทศไทยเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งในการที่จะคำนวณการให้อาหารสัตว์จะได้ถูกต้อง แม่นยำ และเหมาะสมกับความต้องการของโคนมในเมืองไทย

จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าข้อมูลที่ใช้เป็นมาตรฐานความต้องการโภชนะต่างๆ ของโคนมในประเทศ ตามที่ NRC (1988) แนะนำ อาจจะไม่เหมาะสมกับความต้องการที่แท้จริงของโคนมได้ โดยจะมีผลทำให้เกิดการสูญเสียทางเศรษฐกิจได้ถ้าความต้องการโภชนะของโคนมในเมืองไทยมากกว่าหรือน้อยกว่าที่ NRC (1988) แนะนำ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการทำวิจัยครั้งนี้ เพื่อศึกษาความต้องการโภชนะในรูปพลังงานและโปรตีนของโคนมที่ให้นมปานกลางในประเทศไทยที่แตกต่างจาก NRC (1988) แนะนำ ทั้งต่ำกว่า และสูงกว่า NRC (1988) แนะนำ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยผลการทดลองที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการพัฒนาการประเมินค่าความต้องการโภชนะในอาหารสัตว์ของโคนมในเมืองไทยได้

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาถึงผลของความต้องการพลังงานและโปรตีนที่ระดับ 90% และ 100%NRC ในโคนมที่ให้นมปานกลาง

1.2.2 เพื่อศึกษาถึงผลของความต้องการพลังงานและโปรตีนที่ระดับ 100% และ 110%NRC ในโคนมที่ให้นมปานกลาง

1.2.3 เพื่อศึกษาถึงปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ระหว่างพลังงานและโปรตีนที่ระดับ 90% 100% และ 110%NRC ที่ตอบสนองด้านการให้นม องค์ประกอบในน้ำนม การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวและการกินได้ของโคนมที่ให้นมปานกลาง

1.2.4 เพื่อประเมินความต้องการพลังงานและโปรตีนที่เหมาะสมกับโคที่ให้นมปานกลาง

1.3 สมมุติฐานการวิจัย

1.3.1 ความต้องการพลังงานของโคที่ให้นมปานกลางไม่เท่ากับ NRC (1988) แนะนำ

1.3.2 ความต้องการโปรตีนของโคที่ให้นมปานกลางไม่เท่ากับ NRC (1988) แนะนำ

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นศึกษาถึงการประเมินความต้องการพลังงานและโปรตีนของโคที่ให้นมปานกลางโดยอาศัยการสร้างสมการเพื่อทำนายค่าต่างๆที่เหมาะสมสำหรับโคนมในประเทศไทย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบการกินได้และการย่อยสลายได้ของโภชนะในอาหารในรูปพลังงานและโปรตีนที่ 90%, 100% และ 110%NRC (1988)

1.5.2 ทำให้ได้ข้อมูลการกินได้จริง (Feeding trials) ของโคที่ให้นมปานกลาง เพื่อนำไปประเมินความต้องการโภชนะได้

1.5.3 ทราบผลการตอบสนองด้านการให้ผลผลิตของโคนมต่อความต้องการโภชนะในอาหารที่ 90% 100% และ 110%NRC (1988)

1.5.4 ทำให้ได้ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับความต้องการพลังงานและโปรตีนของโคที่ให้นม-ปานกลางในประเทศไทย

1.5.5 ทำให้ทราบผลการประเมินความต้องการพลังงานและโปรตีนของโคนมในประเทศไทย ซึ่งจะช่วยในการพัฒนาการประกอบสูตรอาหารและการให้อาหารโคนมให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

1.6 คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย

Metabolisable energy, Net energy, Total digestible nutrient, Digestible energy, Rumen degradable protein, Undegradable protein และ Medium yielding dairy cows (14-16 kg./cow/day)

บทที่ 2
วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายของโภชนะ

โภชนะหรือสารอาหาร คือ สารเคมีหรือกลุ่มของสารเคมีที่เป็นส่วนประกอบของอาหารสัตว์ ที่ให้ประโยชน์หรือคุณค่าทางอาหารแก่สัตว์ (เสาวนิต, 2537) โภชนะที่สัตว์ต้องการนั้นจำเป็นต้องมีในอาหารสัตว์ในปริมาณที่เพียงพอ ในอัตราที่เหมาะสมกับโภชนะส่วนอื่น ๆ และควรอยู่ในรูปที่สัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดี เพื่อที่จะทำให้สัตว์มีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด ให้ผลผลิตและการสืบพันธุ์ที่เหมาะสม รวมทั้งให้ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากอาหารได้ดีที่สุด แบ่งออกเป็น 6 ประเภท ดังนี้ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน ไวตามิน แร่ธาตุ และน้ำ

2.2 ความต้องการโภชนะในสัตว์

ความต้องการโภชนะในสัตว์ขึ้นอยู่กับชนิด เพศ พันธุ์ อายุ น้ำหนัก อัตราการเจริญเติบโต ระดับการผลิต และสภาวะทางสรีรวิทยาของสัตว์ (พานิช, 2535) โภชนะหลักที่สำคัญ คือ พลังงานและโปรตีน ซึ่งจะกล่าวถึงในรายละเอียดต่อไป ส่วนไวตามิน แร่ธาตุ และน้ำ ก็จำเป็นขาดไม่ได้เช่นกัน

(1) ความต้องโภชนะเพื่อการดำรงชีพ (Maintenance requirement) คือ ความต้องการโภชนะเพื่อการมีชีวิตอยู่ โดยไม่มีการเพิ่มหรือลดของน้ำหนักตัว และใช้เพื่อผลิตความร้อนหรือพลังงานในการทำงานของระบบต่าง ๆ เช่น การหายใจ การสูบฉีดโลหิต การขับถ่าย เป็นต้น ในการเคลื่อนไหวที่จำเป็นและการซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอต่าง ๆ โภชนะที่ต้องการมากที่สุดคือ พลังงาน รองลงมา คือ โปรตีนเพื่อซ่อมแซมเนื้อเยื่อต่างๆ แร่ธาตุเพื่อทดแทนส่วนที่แปรรูปหรือสูญหายไป ไวตามินเพื่อเร่งปฏิกิริยาต่างๆ ในร่างกาย และน้ำเพื่อดำรงชีวิตดังกล่าว

(2) ความต้องการโภชนะเพื่อการเจริญเติบโต (Growth requirement) การเจริญเติบโตในสัตว์เกี่ยวข้องกับการเพิ่มจำนวนและขนาดของเซลล์ เช่น การเจริญเติบโตของกระดูก อวัยวะ กล้ามเนื้อต่าง ๆ เป็นต้น โภชนะที่สัตว์ต้องการมาก คือ โปรตีนจะต้องมีในปริมาณที่มากเพียงพอและมีกรดอะมิโนที่จำเป็นครบถ้วน นอกจากนั้นต้องใช้พลังงานเพื่อที่จะได้ใช้โปรตีนอย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนไวตามิน แร่ธาตุและน้ำก็ต้องเพียงพอกับการเจริญเติบโต

(3) ความต้องการโภชนะเพื่อการสืบพันธุ์ (Reproductive requirement) สัตว์ที่จะสืบพันธุ์จะต้องการอาหารเพื่อการผลิตไข่ การผลิตน้ำเชื้อ และเลี้ยงลูกอ่อนที่อยู่ในท้อง สัตว์อุ้มท้องถ้าขาดอาหารทันทีทันใดอาจทำให้เกิดการแท้งได้ ดังนั้นจึงต้องมีโภชนะพลังงาน โปรตีน ไวตามิน แร่ธาตุให้ครบถ้วน

(4) ความต้องการโภชนะเพื่อการผลิตน้ำนม (Lactation requirement) สัตว์จะมีความต้องการโภชนะเพื่อการผลิตน้ำนมมากกว่าการดำรงชีพ การเจริญเติบโต และการสืบพันธุ์ โภชนะที่ต้องการมากได้แก่ โปรตีน พลังงาน เพื่อสร้างโปรตีน น้ำตาลและไขมันในนม

(5) ความต้องการโภชนะเพื่อการทำงาน (Work requirement) งานที่ได้จากการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อ ในการเคลื่อนไหวของร่างกายจะต้องใช้โภชนะเพิ่มขึ้น เช่น โคนมที่กินหญ้าในทุ่ง-หญ้าจะต้องใช้โภชนะจากอาหารเพิ่มขึ้น 40 เปอร์เซ็นต์ โภชนะเพื่อการทำงานได้แก่ คาร์โบไฮเดรต และไขมันเป็นส่วนใหญ่ แต่ก็ต้องมีแรธาตุ ไวตามินอยู่พอประมาณ

2.3 พลังงาน

พลังงานเป็นโภชนะที่สะสมอยู่ใน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีนของอาหาร โดยพืชจะเป็นตัวสะสมพลังงานเอาไว้ด้วยการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) เมื่อสัตว์กินพืชเข้าไปก็จะได้สารประกอบที่มีส่วนประกอบของคาร์บอนและไฮโดรเจนในรูปที่สามารถนำไปเผาผลาญให้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และให้พลังงานต่อสัตว์ได้

2.3.1 หน่วยของพลังงาน

พลังงานสามารถเปลี่ยนแปลงได้หลายรูปแบบ แต่โดยทั่วไปเมธาโบลิซึมของสัตว์จะเกี่ยวข้องกับพลังงานเคมี (Chemical energy) และวัดออกมาในรูปความร้อนมีหน่วยเป็นแคลอรี (Calorie หรือ cal) โดยพลังงานความร้อน 1 แคลอรี มีค่าเท่ากับปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำ 1 กรัม มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศาเซลเซียส คือ มีอุณหภูมิสูงขึ้นจาก 14.5 °ซ เป็น 15.5 °ซ (Church, 1979) เนื่องจากแคลอรีมีค่าน้อย จึงนิยมใช้ค่าเป็นกิโลแคลอรี (Kilocalorie, Kcal) และเมกะแคลอรี (Megacalorie, Mcal) โดย

$$1\ \text{Kcal} = 1000\ \text{cal}$$

$$1\ \text{Mcal} = 1000\ \text{Kcal} = 10^{6}\ \text{cal}$$

หน่วยจูล (Joule, J) เป็นหน่วยที่วัดโดยใช้กระแสไฟฟ้า นิยมในประเทศอังกฤษ การคำนวณการเปลี่ยนหน่วยนี้อาศัยค่า

1 cal = 4.184 J

1 J = 0.233 cal

2.3.2 ประเภทของพลังงานในอาหารสัตว์

พลังงานที่สะสมอยู่ในร่างกายสัตว์ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งหมดและพลังงานยังต้องผ่านกระบวนการต่าง ๆ ของร่างกายเสียก่อน ดังนั้นจึงจำแนกชนิดของพลังงานในอาหารสัตว์ตามหลักการกระจายของพลังงานในกระบวนการต่างๆ ของร่างกาย ดังแสดงในภาพ 2.1

(1) พลังงานทั้งหมด (Gross energy, GE) คือ พลังงานทั้งหมดที่สะสมอยู่ในอาหาร หรือพลังงานความร้อนที่ได้ทั้งหมดจากการเผาผลาญของอาหารสัตว์ที่กินเข้าไป วัดได้จากการเผาผลาญอาหารภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน โดยใช้เครื่อง bomb calorimeter โดยทั่วไปค่าพลังงานเผาผลาญเฉลี่ยในอาหารสัตว์มีดังนี้ คาร์โบไฮเดรต 4.1 โปรตีน 5.65 และไขมัน 9.45 Kcal/g

(2) พลังงานที่ย่อยได้ (Digestible energy, DE) เป็นพลังงานส่วนใหญ่ของอาหารที่ถูกย่อยได้ หาค่าได้จากพลังงานทั้งหมด (GE) ที่สัตว์กินเข้าไป ลบด้วยพลังงานที่ออกมาในมูล (Fecal energy, FE) แต่ค่า DE ที่วัดได้ไม่ใช่พลังงานอย่างแท้จริงของอาหารเพราะ FE ประกอบด้วย อาหารที่ย่อยไม่ได้จากจุลินทรีย์ และเนื้อเยื่อจากร่างกายสัตว์ ดังนั้น DE คำนวณได้จาก

DE = GE - FE

(3) พลังงานการใช้ประโยชน์ได้ (Metabolizable energy, ME) มีค่าเท่ากับพลังงานทั้งหมดหักลบด้วย พลังงานในมูล (FE) พลังงานในปัสสาวะ (Urinary energy, UE) พลังงานในรูป ก๊าซที่เกิดจากขบวนการย่อยอาหารของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน (Gaseous product of digestion, GPD) โดยส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทน ดังนั้น ME จังหาได้จาก

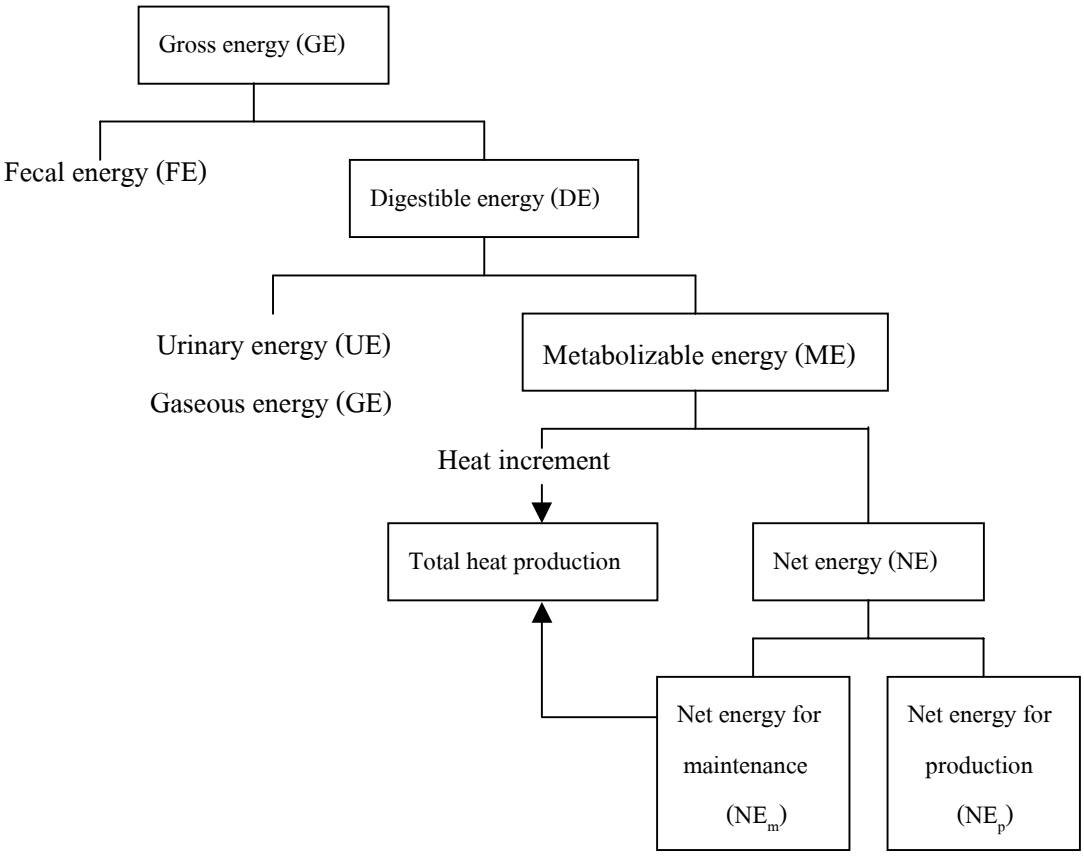
ME = GE – FE - UE – GPD

(4) พลังงานสุทธิ (Net energy, NE) เป็นพลังงานสุทธิที่สัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการดำรงชีพ (Net energy for maintenance, NE_m) และนำไปใช้เพื่อสร้างผลผลิต (Net energy for

production, NE_p) เช่น การเจริญเติบโต การเพิ่มน้ำหนักตัว การอุ้มท้อง การให้นม การสร้างขน และหนัง เป็นต้น ซึ่ง NE มีค่าเท่ากับ ME - พลังงานที่สูญเสียไปในรูปความร้อน (Heat increment, HI)

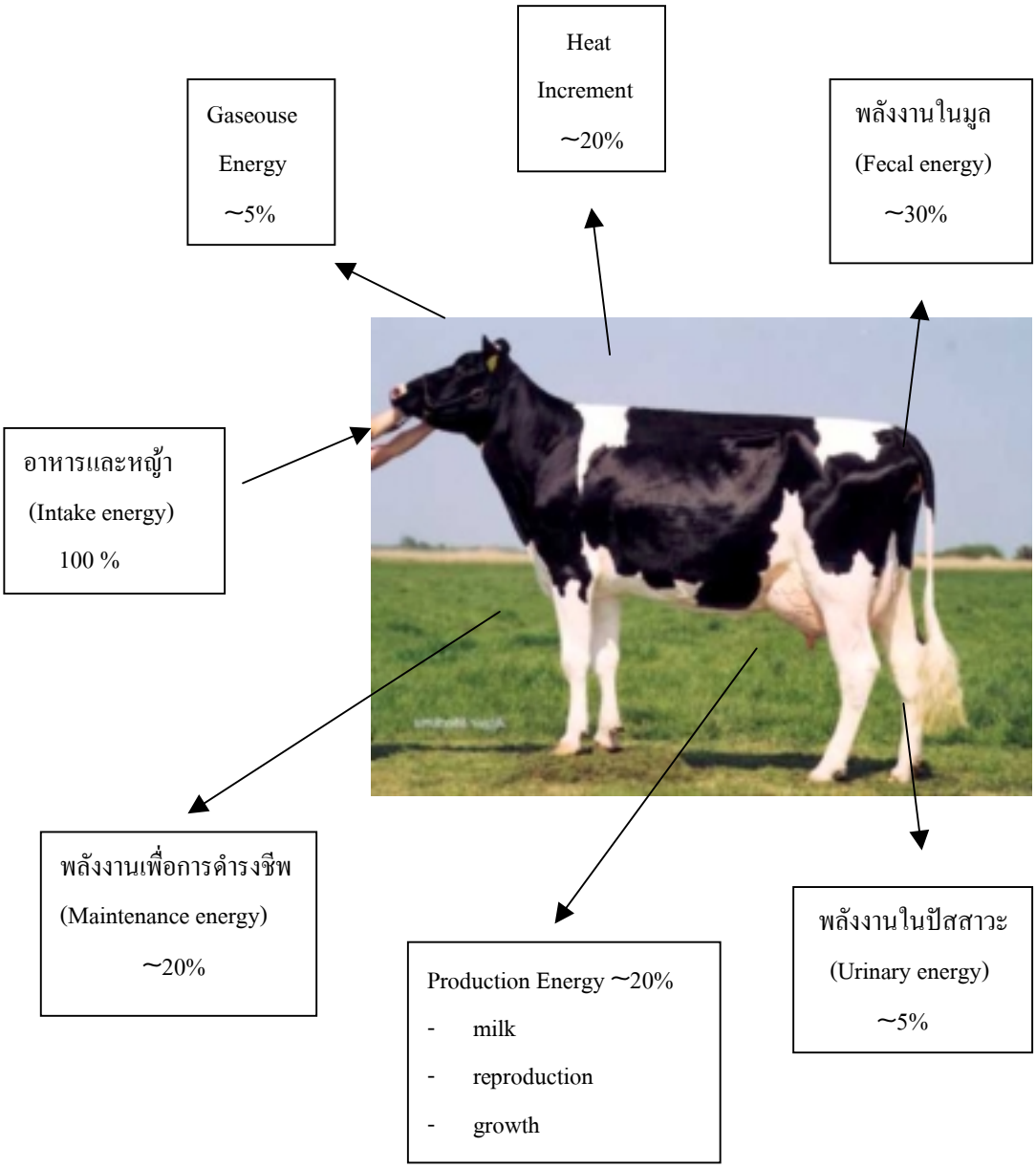
2.3.3 ขั้นตอนของพลังงาน

ขั้นตอนของพลังงานมีกระบวนการต่าง ๆ เช่น การย่อย การดูดซึม และการเมธาโบไลซ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในร่างกายต้องเกี่ยวข้องกับพลังงานทั้งสิ้น ดังนั้นความเข้าใจเรื่องพลังงานจึงเป็นพื้นฐานสำคัญในการศึกษาเรื่องนี้ เมื่อสัตว์กินอาหารเข้าไป ก่อนที่สัตว์จะนำไปใช้ประโยชน์ได้ จะมีพลังงานที่สัตว์กินเข้าไปบางส่วนสูญเสียไปในรูปของมูล ปัสสาวะ ก๊าซจากการหมักย่อย และความร้อน พลังงานที่เหลือเรียกว่า พลังงานสุทธิ ที่สัตว์ใช้ในการดำรงชีพ และการให้ผลผลิต



ภาพที่ 2.1 แสดงขั้นตอนการสูญเสียพลังงานประเภทต่าง ๆ (บุญล้อม, 2541)

ในอาหารโคทั่วไปมีการสูญเสียพลังงานในมูลประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ พลังงานสูญเสียในปัสสาวะประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ และพลังงานในรูปความร้อนประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ เหลือเป็นพลังงานสุทธิประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ ของพลังงานที่กินเข้าไปทั้งหมด ดังในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 แสดงสัดส่วนโดยประมาณของพลังงานที่สูญเสียและที่ใช้เพื่อกิจกรรมต่างๆ ในโคนม (บุญล้อม, 2541)

2.3.4 ความต้องการโภชนะพลังงานในโคนม

(1) ความต้องพลังงานเพื่อการดำรงชีพ โคต้องการพลังงานเพื่อการรักษาอุณหภูมิของร่างกาย โดยธรรมชาติแล้วอุณหภูมิร่างกายสัตว์เลือดอุ่นจะสูงกว่าภายนอก ความร้อนดังกล่าวอาจเกิดการออกซิเดชั่นในกล้ามเนื้อในขณะที่ร่างกายเกิดการบีบตัวหรือเกร็ง

(2) ความต้องการพลังงานเพื่อการเจริญเติบโต พลังงานที่ใช้ในการเจริญเติบโตปกติจะใช้มากกว่าการดำรงชีพ โดยสัตว์จะใช้พลังงานในการเจริญเติบโตที่เหลือจากพลังงานในการดำรงชีพแล้วเท่านั้น

(3) ความต้องการพลังงานเพื่อการสืบพันธุ์ โคที่กำลังตั้งท้องจะมีความต้องการพลังงานมากขึ้น

(4) ความต้องการพลังงานเพื่อการผลิตน้ำนม ในโคนมที่ให้ไขมันนมสูงจะมีความต้องการพลังงานมากกว่าโคปกติ เช่น ในโคที่ให้ไขมันนม 3 เปอร์เซ็นต์ ต้องการพลังงานในรูป TDN 0.31 กิโลกรัมต่อน้ำนม 1 กิโลกรัม แต่ในโคที่ให้ไขมันนม 5 เปอร์เซ็นต์ จะต้องการพลังงานในรูป TDN 0.41 กิโลกรัมต่อน้ำนม 1 กิโลกรัม

ผลของการได้รับพลังงานมากหรือน้อยเกินความต้องการ ชวนิศนดากร (2534) กล่าวว่าโคที่ได้รับพลังงานไม่เพียงพอกับความต้องการ ในโคเล็กจะทำให้การเจริญเติบโตช้าลง ส่วนในโคที่โตแล้วก็จะซูบผอมลง การเป็นสัดจะช้ากว่าปกติ ในโคที่ให้นมพบว่าการให้นมลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนโคที่ได้รับพลังงานมากเกินความต้องการจะทำให้โคอ้วนและสะสมไขมันไว้มากขึ้นทำให้ประสิทธิภาพการสืบพันธุ์ลดลง

2.3.5 เมธาโบลิซึมของพลังงานในสัตว์

พลังงานที่สัตว์ได้จากอาหารนั้นได้มาจากโภชนะในอาหาร 3 ประเภท คือ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน ซึ่งต้องผ่านกระบวนการเมธาโบลิซึมต่างๆ ในตัวสัตว์ สัตว์ต้องการพลังงานเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในร่างกายแตกต่างกันไป คือ

1. ใช้พลังงานเปลี่ยนไปเป็นความร้อนสำหรับรักษาอุณหภูมิของร่างกาย

2. ใช้เป็นพลังงานสำหรับการทำงาน เช่นการเจริญเติบโต การสร้างผลผลิต การทำกิจกรรมต่าง ๆ เป็นต้น

3. ใช้พลังงานเก็บสะสมในเนื้อเยื่อของร่างกายสัตว์ พลังงานที่เกินความต้องการในหน้าที่ตามปกติจะถูกสะสมในรูปไขมัน เพราะเมื่อมีเมธาโบลิซึมของไขมันมากเกินไป สัตว์จะไม่สามารถขับถ่ายพลังงานออกนอกร่างกายได้ จึงต้องเก็บไว้ภายในร่างกาย

2.3.6 แหล่งอาหารสัตว์ที่ใช้เป็นพลังงาน

พลังงานจากอาหารสัตว์ที่ได้มาจากแหล่งโภชนะต่างๆ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน

(1) พลังงานจากเมธาโบลิซึมของคาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรต เป็นแหล่งอาหารพลังงานที่สำคัญของสัตว์เคี้ยวเอื้อง นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก (Rumen) อีกด้วย ในพืชมีคาร์โบไฮเดรตอยู่ประมาณ 75% คาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่ที่พบจะอยู่ในรูป สารประกอบน้ำตาล (Polysaccharides) ได้แก่ เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ลิกนิน (Lignin) และเพคติน (Pectin) น้ำตาลเชิงเดี่ยวที่พบในเนื้อเซลล์ ได้แก่ กลูโคส ฟรุคโตส และซูโคส น้ำตาลเหล่านี้ไม่จำเป็นต้องถูกย่อยสลายในกระเพาะหมักก่อนที่จะใช้ประโยชน์ และน้ำตาลเชิงซ้อนซึ่งสะสมในเนื้อเซลล์ น้ำตาลเหล่านี้เป็นแหล่งพลังงานสะสมมีการเคลื่อนย้ายอย่างรวดเร็วและนำไปใช้ประโยชน์ได้ พลังงานสะสมเหล่านี้จะอยู่ในรูปแป้ง (Starch) มีประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ ในเมล็ดธัญพืช และ 30 เปอร์เซ็นต์ ในผลไม้และพืชประเภทหัว โดยในแป้งประกอบด้วย แอมไมโลส (Amylose) และแอมไมโลเพคติน (Amylopectin) โดยเปอร์เซ็นต์ของแป้งขึ้นอยู่กับสัดส่วนของทั้ง 2 ส่วนประกอบ (เมธา, 2533)

การย่อยคาร์โบไฮเดรตของสัตว์เคี้ยวเอื้อง

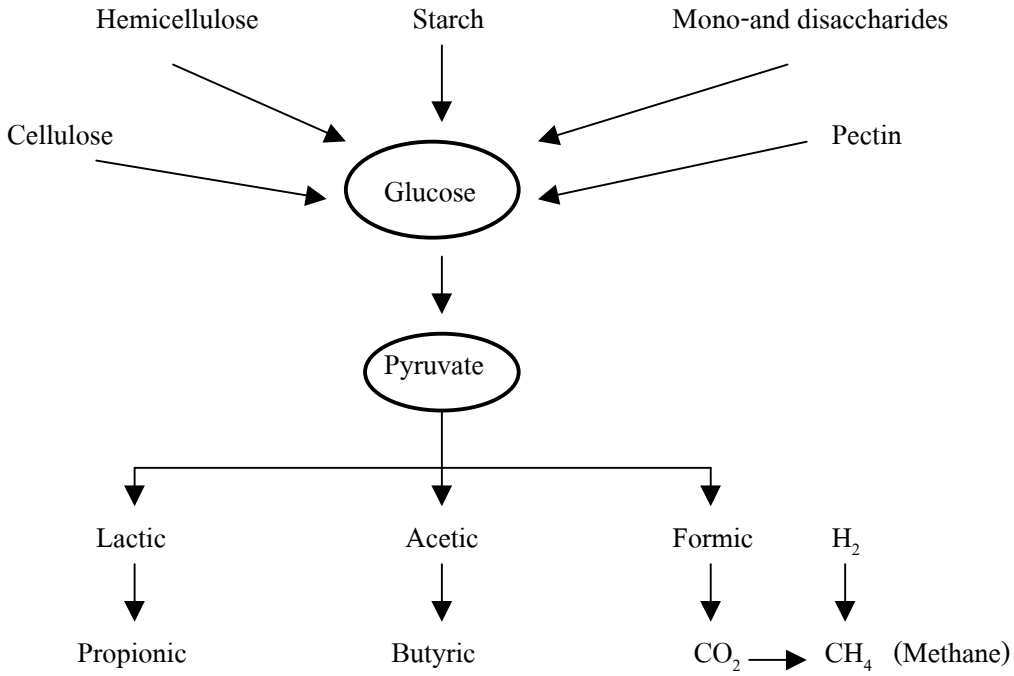
การย่อยคาร์โบไฮเดรตสุดท้ายจะได้กลูโคสเสมอ ดังแสดงในภาพที่ 2.3 อย่างไรก็ตามกลูโคสก็จะปรากฏอยู่เพียงชั่วคราวและพร้อมที่จะเปลี่ยนไปเป็นกรดไขมันที่ระเหยได้ โดยผ่านทาง pyruvate จากนั้นแบคทีเรียจะสังเคราะห์ก๊าซมีเทน (CH_4) จากกรดฟอร์มิก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ อัตราส่วนของกรดไขมันที่ระเหยได้ที่ถูกผลิตขึ้นนั้นจะ แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดอาหาร โดยทั่วไปถ้ากินหญ้าแห้งอย่างเดียวจะได้กรดอะซีติกมากที่สุด คือ 65 เปอร์เซ็นต์ โพรพิโอนิก 20 เปอร์เซ็นต์ บิวทีริค 12 เปอร์เซ็นต์ และอื่น ๆ อีก 1 เปอร์เซ็นต์ ถ้าโคกินอาหารที่มีธัญพืชมากขึ้น 70 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้สัดส่วนระหว่างกรดอะซิติกและโพรพิโอนิกเป็น 40 ต่อ 37 เปอร์เซ็นต์

การดูดซึมคาร์โบไฮเดรตเข้าสู่ร่างกาย

คาร์โบไฮเดรตเมื่อถูกย่อยจนเป็นโมเลกุลที่เล็กที่สุดแล้วน้ำตาลโมโนแซ็กคาร์ไรด์ (Monosaccharides) เช่น กลูโคส (Glucose) ก็จะถูกดูดซึมผ่านผนังลำไส้ เล็กเข้าสู่ร่างกาย ดังนี้

(1) การดูดซึมผ่านผนังลำไส้โดยวิธีการแพร่ (Simple diffusion) เป็นการดูดซึมแบบไม่ใช้พลังงาน เมื่อคาร์โบไฮเดรตแตกตัวเป็นโมโนแซ็กคาร์ไรด์แล้ว ก็จะซึมผ่านผนังลำไส้เข้าสู่กระแสโลหิตเลย น้ำตาลที่ดูดซึมด้วยวิธีนี้ได้แก่ แมนโนส (Mannose) ไซโลส (Xylose) และ เอราบิโนส (Arabinose)

(2) การดูดซึมผ่านผนังลำไส้โดยวิธีการ phosphorylation เป็นการดูดซึมของน้ำตาลกลูโคส หรือโมโนแซ็กคาร์ไรด์อื่น ๆ เช่น กาแล็กโตส (Galactose)



ภาพที่ 2.3 แสดงขบวนการหมักอาหารคาร์โบไฮเดรต โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้อง (Maynard et al., 1981 อ้างถึงใน ศรีสกุล และ รณชัย, 2539)

ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง เมื่อคาร์โบไฮเดรตถูกหมักโดยจุลินทรีย์ จนได้กรดไขมันระเหยได้ จะถูกดูดซึมโดยผนังรูเมน เรติคูลัม (Reticolum) และโอมาซัม (Omasum) รวมไปถึงบริเวณลำไส้ใหญ่ด้วย การดูดซึมบริเวณรูเมนนั้นหลังจากกินอาหารเพียง 10 นาที ก็จะสังเกตพบกรดไขมันระเหยได้เหล่านั้นเพิ่มขึ้นในกระแสเลือด กระบวนการดูดซึมเป็นแบบแพร่ โดยกรดบิวทิริก ขณะดูดซึมผ่านผนังรูเมนจะถูกเปลี่ยนไปเป็น acetoacetic acid และ β-hydroxybutryric acid ดังนั้นระดับของบิวที-

ริกในเลือดจึงต่ำมาก นอกจากนี้กรดโพรพิโอนิกกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ถูกนำไปใช้ในการเปลี่ยนไปเป็น lactate และ pyruvate ในระหว่างการดูดซึมได้

(2) พลังงานจากเมธาโบลิซึมของไขมัน (Energy from fat metabolism)

นอกจากสัตว์จะได้รับพลังงานจากคาร์โบไฮเดรตแล้ว ไขมันก็เป็นแหล่งพลังงานในอาหารสัตว์ที่ให้พลังงานมากกว่าคาร์โบไฮเดรต 2.25 เท่า ในพืชอาหารสัตว์มีไขมันอยู่ประมาณ 4-6 เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง โดยแยกเป็นส่วนประกอบต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ glycerides 1.5-4.0 เปอร์เซ็นต์ waxes 0.5-1.0 เปอร์เซ็นต์ sterols 0.5-1.0 เปอร์เซ็นต์ และ phospholipids 0.5-1.0 เปอร์เซ็นต์ กรดไขมันในพืชอาหารสัตว์มี 2 ประเภท คือ กรดไขมันอิ่มตัว (Saturate fatty acids) และกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acids) กรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว จะถูก hydrogenate ในกระเพาะหมักให้เป็น stearic acid 40 เปอร์เซ็นต์ ของ rumen digesta ทั้งนี้เนื่องจากในอาหารหยาบประกอบด้วย กรดไขมันอิ่มตัวประมาณ 1 ใน 3 ของไขมันทั้งหมด และกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว 2 ใน 3 ของไขมันทั้งหมด ส่วนในเมล็ดพืชประกอบด้วย กรดไขมันอิ่มตัว 90 เปอร์เซ็นต์ และกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ เมธาโบลิซึมของไขมันในกระเพาะหมัก มีดังนี้

(1) การที่สัตว์กินอาหารที่มีเมล็ดธัญพืชมากทำให้ปริมาณไขมันในน้ำนมลดลงนั้น อาจมีสาเหตุมาจากในเมล็ดพืชมี stearic acid เป็นส่วนใหญ่ และเนื่องมาจากความแตกต่างของไขมันในจุลินทรีย์ กล่าวคือ ในสัตว์ที่ได้รับเมล็ดธัญพืชสูงจะทำให้ปริมาณโปรโตซัวพวก holotrich ลดต่ำลง เมื่อเทียบกับอาหารที่เป็นอาหารหยาบสูง ไขมันของ holotrich ประกอบด้วย phospholipid 70 เปอร์เซ็นต์ และ non phospholipid 30 เปอร์เซ็นต์

(2) ในสัตว์เคี้ยวเอื้องมีความต้องการกรดไขมันที่จำเป็นในระดับต่ำมาก ทั้งนี้สัตว์อาจได้รับจาก unsaturated fatty acids ที่ไม่ถูก hydrogenate ในกระเพาะหมัก การหลบเลี่ยงเกิดขึ้นได้โดยโปรโตซัวดูดซึมและนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตของตัวเอง โดยเห็นได้จากในเนื้อเยื่อของโปรโตซัวมี unsaturated fatty acids ถึง 20 เปอร์เซ็นต์

(3) กรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวจะถูกย่อยโดย lypolytic enzyme ในรูเมนอย่างรวดเร็ว ส่วนการดูดซึมของกรดไขมันมีน้อยมาก เนื้อเยื่อบุผนังในรูเมนจะสามารถเมธาโบไลซ์ stearic acid อย่างช้า ๆ ให้ผลผลิตเป็น ketone body แต่ส่วนใหญ่แล้ว stearic acid จะถูกส่งไปยังกระเพาะส่วนท้าย

(4) การเกิด hydrogenation ในรูเมน เป็นการลดความเป็นพิษ เนื่องจาก polyunsaturated fatty acids ที่มีต่อจุลินทรีย์ ทั้งนี้เพราะทำให้แรงตึงผิวสูง การซึมผ่านของเซลล์เมมเบรนจึงลดลง (ศรีสกุล และ รณชัย, 2539)

(3) พลังงานจากเมธาโบลิซึมของโปรตีน (Energy from protein metabolism)

โปรตีนส่วนใหญ่สามารถเปลี่ยนไปเป็นอนุพันธุ์ของคาร์โบไฮเดรตและกรดไขมัน แล้วยังสามารถเปลี่ยนไปเป็นกลูโคส เพื่อช่วยรักษาระดับกลูโคสในเลือดให้ปกติโดยเฉพาะในเวลาที่อาหารมีอัตราส่วนของพลังงานและโปรตีนไม่เหมาะสม ถึงแม้ว่าโปรตีนสามารถให้พลังงานแก่สัตว์ได้ แต่ในการใช้ควรให้เหมาะสมกับความต้องการไม่เช่นนั้นอาจทำให้เกิดผลเสียได้ เช่น ต้นทุนค่าอาหารสูงเกินความจำเป็น มีการสูญเสียพลังงานความร้อนที่ใช้ในการเปลี่ยนกรดอะมิโนไปเป็นกลูโคส เป็นต้น (ศรีสกุล และ รณชัย, 2539)

2.3.7 การประเมินค่าพลังงานในอาหาร

เมื่อประมาณสามทศวรรษก่อนหน้านี้ประเทศในแถบยุโรปจะใช้ระบบประเมินคุณค่าทางพลังงาน ของ Kellner starch-equivalent system (Kellner, 1905 อ้างโดย Van der Honing and Anderman, 1988) หรือระบบ fodder units ซึ่ง Kellner ได้ให้คำจำกัดความของคำ “starch-equivalent” ว่า “ศักยภาพของ 1 kg digestible starch ในการผลิตไขมันในโคเนื้อเพศผู้โตเต็มที่ตอน” ฉะนั้นอาหารจะถูกประเมินในรูปของ net energy for fattening (NE_f) และ fodder unit (FU) หมายถึง starch equivalent (SE) ของ 1 kg barley as fed สำหรับอาหารสัตว์ชนิดอื่น ต่อมาในระหว่างคริสตศักราช 1970-1980 Blaxter ได้นำเสนอระบบประเมินพลังงานแบบใหม่ คือ metabolisable energy (ME) ซึ่งหมายถึง พลังงานรวม (Gross energy; GE) หักลบด้วยพลังงานในอุจจาระ (Faecal energy; FE) พลังงานสูญเสียทางปัสสาวะ (Urinary energy; UE) และพลังงานสูญเสียในรูปของแก๊สมีเทน (Methane energy) นอกจากนี้ Blaxter (1962) ยังได้เสนอการคำนวณ net energy for growth, pregnancy และ lactation จาก the measured ME available above maintenance requirements (ME intake - ME_m) ซึ่งได้ตีพิมพ์ใน ARC (1965) กล่าวคือ

$$\text{Efficiency for maintenance (\%)}, k_m = 1.6\ M/D + 54.6$$

$$\text{Efficiency for fattening (\%)}, k_g = 4.4\ M/D + 3.0$$

เมื่อ

M/D คือ ME content/kgDM of feed (MJME/kgDM)

k_l มีค่าผันแปรจาก 62 ถึง 70% และมีความสัมพันธ์แบบ curvilinear กับ M/D

Moe et al. (1972) ได้ตีพิมพ์ NE_L system โดยอาศัยพื้นฐานข้อมูลจำนวนมากจากการทดลองทำ energy balance ในโคนม ในระบบนี้ ค่า ME วัดจาก production level และแปลงเป็นค่า NE_L ดังสมการ ในที่นี้ efficiency for lactation, k_l ผันแปรอยู่ระหว่าง 0.59-0.64

$$NE_L \text{ (MJ/kdDM)} = 0.703 \text{ ME} - 0.795$$

จากผลการดำเนินงานของ EAAP Working Group นำโดย van Es ในต้นคริสศตวรรษที่ 1970 ได้สร้างพื้นฐานในการประเมินระบบพลังงานใหม่ดังกล่าวข้างต้น และได้ถูกนำใช้โดย The Netherlands, France, Belgium และ Switzerland ในปี 1977 ตามด้วย Germany ในปี 1981, Yugoslavia และ Greece ในปี 1984

2.3.8 การวัดและการคำนวณ ME content ในอาหารสัตว์

การประเมินคุณค่าทางพลังงานของอาหารสัตว์ชนิดใดชนิดหนึ่ง มีวิธีการโดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า bomb calorimeter เพื่อทำการหาค่า GE ในอาหารที่สัตว์กินเข้าไปและในอุจจาระ เมื่อหักลบกันแล้วจะได้ค่า DE ทำการวัดค่าพลังงานที่สูญเสียไปในปัสสาวะและในรูปแก๊ส methane โดย respiration calorimeter จะสามารถคำนวณค่า ME ได้ แต่ทั้งนี้ต้องใช้สัตว์ทดลองเพื่อหา DE และ ME แต่วิธีการที่ต้องเกี่ยวข้องกับการใช้สัตว์ทดลองเป็นวิธีที่ยุ่งยากและซับซ้อน เสียเวลาและค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ในปัจจุบันนักวิจัยจึงได้มีความพยายามหาวิธีการที่ง่ายและสะดวกเพื่อที่จะประเมินคุณค่าทางพลังงานต่างๆของอาหารสัตว์ โดยการคำนวณ methane energy จาก organic matter digestibility ; OMD (Blaxter and Clapperton, 1965) หรือ methane และ urinary energy จากค่าคงที่คือ 0.19 ของ DE (Amstrong, 1964) นอกจากนี้ยังสามารถประมาณค่าทางพลังงานได้โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่าง GE กับ ส่วนประกอบทางเคมีที่สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยวิธี proximate และระหว่าง ME กับค่าการย่อยได้ของ Dry matter (DM) หรือ Organic matter (OM) หรือ Modified acid dertergent fibre (MADF) ตัวอย่างสมการทำนายค่าทางพลังงานได้สรุปไว้ดังนี้

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

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

การคำนวณค่า ME โดยคำนวณจากการที่ ME เป็นสัดส่วนคงที่ของ DE

ME = 0.81 DE (Amstrong, 1964)

การคำนวณค่า ME จาก DOMD โดยทั่วไป OM ของเมล็ดธัญพืชและพืชอาหารสัตว์จะมี GE อยู่ประมาณ 19 MJ/kgDM; จากสมการข้างต้น (ME = 0.81 DE) สามารถที่จะใช้ general convertion factor ควบคู่กับผลที่ได้จากการทำ digestibility trials (*In vivo* digestibility) และ *in vitro* digestibility (Tilley and Terry, 1963) คือ

ME (MJ/kgDM) = 0.015 DOMD (g/kgDM) (Morgan and Barber, 1979)

อีกทางเลือกหนึ่ง ผลที่ได้จากการทำ digestibility trials และผลที่ได้จากการวิเคราะห์ proximate analyses ในอาหารสัตว์และในมูลสัตว์ สามารถนำมาสร้างสมการในการคำนวณหาค่า ME ในอาหารสัตว์ได้ โดยการใช้ regression equations ตัวอย่างสมการที่ใช้ในประเทศต่างๆ ที่อ้างโดย Van der Honing and Anderman (1988)ได้แสดงดังนี้ ในสหราชอาณาจักร (U.K.) เป็นระบบ ME และสหรัฐอเมริกา (U.S.A.) เป็นระบบ NE สมการ คือ

ME (KJ/kgDM) = 15.2 DCP+ 34.2 DEE + 12.8 DCF + 15.9 DNFE

ME (KJ/kgDM) = 18.6 DCP+ 41.9 DEE + 18.6 DCF + 18.6 DNFE – 1883

2.3.9 การใช้ประโยชน์ของพลังงานในอาหาร

การอธิบายถึงการใช้ประโยชน์ของพลังงานจากอาหารโดยการใช้ค่าโภชนะย่อยได้ทั้งหมด (TDN) จะคล้ายกับการใช้ค่า DE แต่ไม่เท่าเทียมกันทีเดียว การประมาณค่า TDN กระทำได้โดยการรวมค่าย่อยได้ของ CF, CP, EE และ NFE เข้าด้วยกัน สำหรับในประเทศไทยแล้วมีข้อมูลด้านการประเมินคุณค่าทางพลังงานในอาหารสัตว์น้อยมาก หรือแทบจะไม่มีเลย (Holm, 1973 and Promma et al., 1994) อย่างไรก็ตามถึงแม้ระบบ TDN จะมีข้อจำกัดทางทฤษฎีอยู่มาก แต่การวัดค่า TDN ไม่ยุ่งยากซับซ้อน และค่อนข้างกระทำได้ง่ายในหลายหน่วยงาน ในแง่ของการปฏิบัติความแม่นยำในการใช้ค่า TDN จะเหมือนกับการใช้ค่า NE ในการทำนายผลผลิตสัตว์ (Weiss, 1996) เหตุผลที่ว่าการใช้ค่า TDN มีความแม่นยำพอๆ กับการใช้ค่า NE เพราะว่า ค่า NE ของอาหารสัตว์ที่ใช้อยู่

ในสหรัฐอเมริกา คำนวณมาจากค่า TDN (NRC, 1988) ข้อดีอีกประการหนึ่งของค่า TDN คือ ค่านี้ได้มาจากการรวมโภชนะแต่ละชนิด และโภชนะแต่ละชนิดก็ให้พลังงานที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ด้วยประสิทธิภาพที่แตกต่างกัน เช่น พลังงานจาก digestible fat จะถูกใช้ประโยชน์ที่ประสิทธิภาพสูงกว่าพลังงานจาก digestible proteins และ digestible carbohydrates ฉะนั้นการพัฒนาสมการเพื่อการทำนายค่า NE อาจอาศัยการทำนายผ่านค่าโภชนะย่อยได้ (Weiss, 1996)

อย่างไรก็ตามค่า NE และ TDN ส่วนใหญ่จะเป็นค่าที่ได้จากระดับการกินได้คงที่ที่ระดับใดระดับหนึ่ง กล่าวคือ ถ้าระดับการกินได้เพิ่มขึ้น retention time จะลดลง ซึ่งเป็นเหตุให้การย่อยได้พลังงานลดลงด้วย (NRC, 1988) ปัจจัยซึ่งระดับการกินได้มีต่อการย่อยได้พลังงานจะขึ้นอยู่กับอัตราการย่อยได้ (Rate of digestion) กล่าวคือ ถ้าอาหารใดๆมีอัตราการย่อยได้ช้าจะมีผลกระทบจากระดับการกินได้อย่างมาก ในขณะที่อาหารที่มีอัตราการย่อยได้เร็วอาจจะไม่มีผลจากระดับการกินได้ อิทธิพลร่วมจากชนิดของอาหารก็มีผลต่อการย่อยได้พลังงาน (NRC, 1988) เช่น การย่อยได้อาหารประเภท fiber จะลดลง เมื่ออาหารประกอบด้วย non-structural carbohydrates (NSC) มากเกินไป (Weiss and Shockey, 1991) ถ้าเป็นเช่นนี้การประเมินค่า NE ในพืชอาหารสัตว์ หรือ อาหารที่ประกอบด้วย fiber อื่นๆ อาจสูงกว่าที่เป็นจริง ฉะนั้นการพัฒนาการสร้างสมการเพื่อการทำนายค่าพลังงานจะต้องเป็นแบบ kinetic models ซึ่งประกอบด้วย parameters ต่างๆ เช่น อัตราการย่อยได้ (Rate of digestion) การกินได้ (Intake) และความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมน (Rumen pH)

2.3.10 การประเมินค่าพลังงานที่นำเสนอใหม่

ระบบการประเมินคุณค่าทางโภชนะโดยใช้ค่า NE จะเป็นระบบที่ดี แต่ทำการวัดโดยตรงได้ยาก ต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายมาก ตลอดจนต้องใช้เครื่องมือที่ยุ่งยากซับซ้อน ประเทศต่างๆจึงคิดค้นสมการมาใช้ในการคำนวณ โดยใช้การประเมินค่าทางพลังงานจากองค์ประกอบทางเคมี เช่นในประเทศเยอรมันคำนวณค่า NE_L จาก GE และ ME ประเทศสหรัฐอเมริกาคำนวณจาก TDN อย่างไรก็ตามการจะได้มาซึ่งค่าต่างๆในการทำนายคุณค่าทางพลังงานก็มีหลากหลาย 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) ของโภชนะนั้นๆ จากนั้นจะได้ค่า TDN ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาค่า NE ได้โดยอาศัยสมการต่างๆ ดังจะได้กล่าวต่อไป

(1) พลังงานจากโปรตีน

โปรตีนเป็น uniform feed fraction เพราะค่า TD ของ crude protein (CP) เป็นค่าที่ค่อนข้างคงที่ ในพืชส่วนมากมีค่าผันแปรระหว่าง 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) ดังนั้นจึงสามารถคำนวณค่า TD_{CP} ได้จากค่า ADIN แต่เนื่องจากความสัมพันธ์นี้ในอาหารข้นและในอาหารหยาบมีไม่เท่ากัน จึงต้องอาศัยสมการคำนวณที่แตกต่างกันดังนี้

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

โดย ADIN คิดเป็นสัดส่วนของ N ทั้งหมด การวิเคราะห์ค่า ADIN จะทำเฉพาะในตัวอย่างอาหารข้นที่ผ่านความร้อนเท่านั้น

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

เมื่อ e เป็นฐานของ natural logarithm และ ADIN แทนค่าเป็นสัดส่วนของ total N โดยทั่วไปสัดส่วนของ N ใน ADIN ของพืชที่ไม่ถูกความร้อนจะเท่ากับ 0.07

เมื่อได้ค่า TD_{CP} แล้ว จึงคำนวณค่าพลังงานของ CP (E_{CP}) ดังนี้

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

(2) พลังงานจากไขมัน

ค่า ether extract (EE) ในอาหารประกอบด้วยกรดไขมัน (รวมทั้ง triglycerides), waxes, pigments และอื่นๆอีกเล็กน้อย Palmquist (1991) แนะนำว่าในการหาปริมาณไขมันควรวิเคราะห์ fatty acids (FA) มากกว่าการวิเคราะห์ EE ทั้งนี้เนื่องจาก FA เป็นค่าที่ uniform ในขณะที่ EE ไม่ uniform แต่เครื่องมือในการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่เป็นเครื่องมือวิเคราะห์หา EE ห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่จึงยังคงนิยมวิเคราะห์ค่า EE อยู่ อย่างไรก็ตามการคำนวณหาค่า FA สามารถทำได้โดยการคำนวณจากค่า EE ทั้งนี้เพราะไขมันที่ไม่ใช่ FA มีประมาณ 1.5% ของ DM ในอาหารเท่านั้น

$$FA = EE - 1.5$$

ค่า TD ของ FA ขึ้นอยู่กับปริมาณของ FA ในอาหาร อาหารโคนมโดยทั่วไปมี FA อยู่ประมาณ 3% และมีค่า TD ประมาณ 0.94 ถ้าค่า FA เพิ่มขึ้น 1% ค่า TD ของ FA จะลดลง 0.03 (Palmquist, 1991) ฉะนั้น

$$E_{FA} = [1.03 - (0.03\ FA)] \times 2.25\ FA$$

ค่า 2.25 เป็นค่าพลังงานของไขมันที่สูงกว่าคาร์โบไฮเดรต 2.25 เท่า

(3) พลังงานจาก NDF

NDF ไม่ใช่ค่าที่ uniform แต่ NDF ส่วนที่อาจย่อยได้ (potential digestible NDF หรือ pdNDF) เป็นค่าที่ uniform โดยมีการย่อยได้เท่ากับ 1.0 Conrad et al. (1984) ได้สร้างสมการประเมินค่า pdNDF โดยอาศัย lignified surface area ทั้งนี้เพราะ lignin ย่อยไม่ได้ จึงควรนำมาหักลบออกจาก NDF เพื่อให้ได้ค่า lignin-free NDF นอกจากนี้ lignin ยังไปขัดขวางการย่อยได้ของ cellulose และ hemicellulose จึงควรคำนวณหาค่าสัดส่วนของพื้นที่ผิว NDF ที่ถูกปกคลุมด้วย lignin เพื่อนำมาหักลบออก ดังนั้นค่า pdNDF คำนวณได้จากสมการ

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

ค่าทุกตัวมีหน่วยเป็น % ของ DM และ lignin วิเคราะห์โดยวิธี ADF - sulphuric สมการข้างต้นนี้ใช้ได้กับพืชแทบทุกชนิด แต่ใน by-product หลายชนิด อาจมีส่วนของ CP ปนมาในค่า NDF 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 เท่ากับ NDIN x 6.25

พลังงานจาก NDF คำนวณโดยคูณค่า pdNDF ด้วยสัมประสิทธิ์การย่อยได้ ประมาณว่าการย่อยได้ของ pdNDF ในสัตว์ที่ได้รับอาหารในระดับ maintenance มีค่าเท่ากับ 0.75

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

(4) 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

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

2.3.11 สมการคำนวณค่า TDN

ค่า TDN คำนวณได้จากการรวมพลังงาน CP, FA, NDF และ NFC เข้าด้วยกัน แต่เนื่องจากพลังงานจากองค์ประกอบเหล่านี้ได้มาจากค่า true digestibility ในขณะที่ค่า TDN เป็นค่าที่คิดจาก apparent digestibility ดังนั้นจึงต้องนำค่าพลังงานจาก metabolic faecal material มาหักลบออก ซึ่งข้อมูลจากแหล่งต่างๆสรุปได้ว่า metabolic TDN มีค่าประมาณ 7 ดังนั้นสมการคำนวณค่า TDN จะเป็นดังนี้

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

2.3.12 การปรับค่าพลังงานจากไขมัน

เนื่องจากการเปลี่ยน DE เป็น NE ในกรณีของไขมันมีประสิทธิภาพประมาณ 0.64 แต่ในกรณีของคาร์โบไฮเดรทมีค่า 0.52 (Andrews et al., 1991) แสดงว่าประสิทธิภาพในการเปลี่ยน DE หรือ TDN ไปเป็น NE ในไขมันสูงกว่าคาร์โบไฮเดรต 23% แต่ในสูตร TDN ดั้งเดิมไม่ได้คำนึงถึงจุดนี้ คำนึงถึงเฉพาะพลังงานในไขมันมีมากกว่าคาร์โบไฮเดรต 2.25 เท่า เมื่อวิเคราะห์ด้วย bomb calorimeter เท่านั้น ดังนั้นเพื่อความถูกต้องในการคำนวณค่า ME หรือ NE จึงควรเปลี่ยน factor 2.25 เป็น 2.8 (ซึ่งมาจาก 2.25 x 1.23) ได้สมการดังนี้

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

2.3.13 การคำนวณค่า NE_L จาก TDN, ME และ NDF

สมการต่อไปนี้เป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่า NE จาก TDN, ME และ NDF

$$NE_L \text{ (Mcal/kgDM)} = 0.0245 \%TDN - 0.125$$

ME (Mcal/kgDM) = 0.0362 %TDN

DE (Mcal/kgDM) = 0.04409 %TDN

ME = 1.01 DE - 0.45

NE_m (Mcal/kgDM) = $-1.2 + 1.37\ ME - 0.138\ ME^2 + 0.0105\ ME^3$

NE_g (Mcal/kgDM) = $-1.65 + 1.42\ ME - 1.74\ ME^2 + 0.0122\ ME^3$

NE_g (Mcal/kgDM) = 0.85 ME - 0.09

NE_g (Mcal/kgDM) = 0.58 ME -0.01 NDF + 0.08

2.4 โปรตีน

ไนโตรเจนในอาหารแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ใหญ่ ๆ คือ โปรตีนแท้ (True protein) และส่วนประกอบของสารไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (Non protein nitrogen, NPN) ตัวอย่างของ NPN เช่น peptides, amides, amines, ไนเตรท และ ยูเรีย (Urea) เป็นต้น ในเมล็ดพืชมี NPN อยู่ 4-5 เปอร์เซ็นต์ หญ้าสดหรือหญ้าอ่อนมี 30-40 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าเป็นหญ้าแก่มีเพียง 4-5 เปอร์เซ็นต์ สัดส่วนโปรตีนในอาหารหมักอาจมีถึง 60-75 เปอร์เซ็นต์

2.4.1 ความต้องการโภชนะโปรตีนในโคนม

โคนมมีความต้องการโปรตีนรองลงมาจากพลังงาน โดยมีหน้าที่หลักที่สำคัญๆ เช่น เป็นส่วนประกอบของเม็ดเลือด เป็นเอนไซม์ เป็นส่วนประกอบของกรดอะมิโนหลายชนิดทั้งกรดอะมิโนที่จำเป็นและไม่จำเป็น โดยในโคที่โตมากแล้วสามารถสังเคราะห์กรดอะมิโนได้เองจากการทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะอาหาร (ทวี, 2527)

(1) ความต้องโปรตีนเพื่อการดำรงชีพ โคสามารถดำรงชีพอยู่ได้นอกจากจะได้รับพลังงานอย่างเพียงพอแล้วยังจำเป็นที่จะต้องได้รับโปรตีนเพื่อซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอและชดเชยเอนไซม์และฮอร์โมนที่สูญเสียไป

(2) ความต้องการโปรตีนเพื่อการเจริญเติบโต เนื่องจากการเจริญเติบโตเกิดจากการเพิ่มขนาดของกล้ามเนื้อและเนื้อเยื่อ ซึ่งประกอบด้วยโปรตีนอื่นๆ ดังนั้นในการเจริญเติบโตโปรตีนมีความจำเป็นมาก

(3) ความต้องการโปรตีนเพื่อการสืบพันธุ์ ในโคท้องแก่มีความต้องการโปรตีนเพื่อการเจริญของลูกอ่อนในท้อง ปริมาณความต้องการสูงสุดเมื่อสัตว์ตั้งท้องได้ 2 ใน 3 ของระยะเวลาที่ตั้งท้อง

(4) ความต้องการโปรตีนเพื่อการผลิตน้ำนม โคใช้ประโยชน์จากโปรตีนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากซึ่งโปรตีนที่ให้ต้องได้ทั้งปริมาณและคุณภาพที่เพียงพอ โดยพบว่าในโคนมมีความต้องการโปรตีนเพิ่มจากที่ใช้ในการดำรงชีพเพียง 1.25 กิโลกรัมต่อ 1 กิโลกรัมน้ำนม

ผลของการได้รับโปรตีนมากหรือน้อยเกินไปในโคนม ถ้าโปรตีนที่ได้รับไม่เพียงพอมีผลทำให้ โคที่กำลังให้นมจะให้นมน้อยลง ส่วนโคที่กำลังเจริญเติบโตจะทำให้การเจริญเติบโตชะงักและความต้านทานโรคของโคก็จะลดลงด้วย นอกจากนี้ยังมีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ อาจมีผลต่อเนื่องไปถึงการขาดแคลนพลังงานด้วย แต่ถ้าโคได้รับโปรตีนมากเกินไปจะทำให้สิ้นเปลืองเนื่องจากโปรตีนที่เกินความต้องการไม่สามารถเก็บสะสมไว้ในร่างกายได้ การย่อยได้ของโปรตีนจะลดลง กล่าวคือเมื่อโคได้รับอาหารที่มีปริมาณโปรตีนมาก ทำให้ผลผลิตของน้ำนมสูงขึ้น ส่งผลให้การย่อยได้ลดลง (ชวนิศนดากร, 2534)

2.4.2 การย่อยและการดูดซึมโปรตีนในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ในสัตว์เคี้ยวเอื้องซึ่งประกอบด้วย 4 กระเพาะ กระเพาะที่ใหญ่ที่สุดคือกระเพาะหมัก มีความจุประมาณร้อยละ 85 ของความจุกระเพาะทั้งหมด ภายในกระเพาะมีจุลินทรีย์มากมายหลายชนิด ที่มีมากได้แก่ bacteria และ protozoa ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้มีหน้าที่ช่วยในการย่อยอาหารที่สัตว์กินเข้าไป และผลิต metabolites ต่างๆซึ่งสัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ขบวนการย่อย cellulose, starch และ sugars ในอาหารจะให้ผลผลิต VFAs (Acetic, propionic และ butyric acids) ซึ่งจะถูกดูดซึมและใช้ประโยชน์โดยสัตว์ต่อไป โปรตีนส่วนใหญ่จะถูกย่อยสลาย (Degraded) ให้เป็น peptides, amino acids และ ammonia ซึ่งบางส่วนจะถูกใช้ในการสังเคราะห์ microbial protein ซึ่งไม่สามารถถูกดูดซึมได้ในกระเพาะหมัก ประมาณว่าร้อยละกว่า 65 ของ DOM ในอาหารจะถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก

อาหารในกระเพาะหมัก จะไหลผ่านไปยังกระเพาะส่วนล่าง (Abomasum) และผ่านต่อไปยังลำไส้เล็ก (Small intestine) การย่อยจะเป็นเช่นเดียวกับการย่อยของสัตว์กระเพาะเดี่ยว (Non-ruminants) คือ ย่อยโดย enzymes ที่ขับออกมาจากกระเพาะและลำไส้เล็ก ส่วนโปรตีนที่ไหล

ผ่านมายังกระเพาะส่วนล่างจะประกอบด้วยส่วนผสมของโปรตีนในอาหารที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมัก (Undegraded dietary protein, UDP) และจุลินทรีย์โปรตีน (Microbial crude protein) ซึ่งจุลินทรีย์โปรตีนจะมีอยู่ประมาณร้อยละ 50-70 ของโปรตีนที่ผ่านไปยังลำไส้เล็ก จุลินทรีย์โปรตีนประกอบไปด้วย amino acids ซึ่งเหมาะสมกับความต้องการของสัตว์ ด้วยความสามารถพิเศษนี้ สัตว์เคี้ยวเอื้องจึงสามารถใช้ประโยชน์จากแหล่งอาหารที่มีโปรตีนต่ำได้ดีกว่าสัตว์ชนิดอื่นๆ แต่ยังคงสามารถผลิตโปรตีนที่มีคุณภาพสูง เช่น นม และเนื้อได้ นอกจากนี้สัตว์เคี้ยวเอื้องยังสามารถใช้แหล่งของ NPN เช่น urea และ ammonia ได้โดยอาศัยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก ทั้งนี้ต้องมีพลังงานที่ได้จากการหมักย่อยของคาร์โบไฮเดรตในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ด้วย ความสัมพันธ์ของ energy supply และ microbial protein synthesis นี้คือหัวใจสำคัญของ protein metabolism ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง ซึ่งความสัมพันธ์นี้ไม่สามารถอธิบายได้ในระบบ digestible crude protein เดิม

2.4.3 ระบบการประเมินค่าโปรตีนในอาหารและความต้องการโปรตีนในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาได้มีการตีพิมพ์ระบบการประเมินความต้องการโปรตีนของสัตว์เคี้ยวเอื้องใหม่โดยมีนักวิจัยจำนวนมากทั้งในสหรัฐอเมริกาและในยุโรป ระบบเหล่านี้ต้องการวิธีการใหม่ๆในการประเมินส่วนประกอบของโปรตีนในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง ซึ่งระบบใหม่นี้จะนำมาทดแทนระบบ digestible crude protein (DCP) ที่ใช้ในยุโรปมาเกือบศตวรรษ

การวัดค่า crude protein ในห้องปฏิบัติการสามารถทำได้โดยการวิเคราะห์หาค่า nitrogen (N) ในอาหาร แล้วคูณด้วย factor 6.25 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของสัดส่วน protein ต่อ nitrogen ในอาหารสัตว์ สารประกอบ non-protein nitrogen (NPN) เช่น urea, ammonia และ nitrate จะถูกรวมอยู่ด้วยในการคำนวณ ทั้งนี้เนื่องจากสัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถใช้ประโยชน์จาก NPN เหล่านี้ได้บางส่วนในกระเพาะหมัก

หลักการและคำจำกัดความ

ระบบการประเมินคุณค่าของโปรตีนที่กล่าวมานี้มีพื้นฐานหลักการเดียวกัน ซึ่งคำจำกัดความของคำต่างๆที่ใช้สรุปไว้โดย Waldo and Glenn (1982) มีดังนี้

(1) Degraded dietary crude protein; rumen degradable protein; RDP

Crude protein ส่วนนี้จะถูก metabolise ด้วยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักได้ peptides และ ammonia ซึ่งส่วนใหญ่จะถูกสังเคราะห์เป็น microbial crude protein

(2) Microbial crude protein; MCP

ประสิทธิภาพของการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนขึ้นอยู่กับปริมาณพลังงานที่เพียงพอสำหรับจุลินทรีย์ ซึ่งส่วนใหญ่จะได้จากการย่อยสลายของคาร์โบไฮเดรตในอาหาร MCP นี้สามารถทำนายได้จากการกินได้ของพลังงานในรูปของ ME หรือ NE (MJ/day) หรือ ทำนายจาก digestible organic matter [DOM] (kg/day) ME หรือ NE และ DOM มีสหสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ซึ่งค่าเฉลี่ยโดยทั่วๆไปแล้ว 1 kgDOM จะเทียบได้กับ 15.6 MJ ME หรือ 9.4 MJ NE

(3) Efficiency of conversion of RDP to MCP, MCP/RDP

เกือบทุกระบบกำหนดค่าประสิทธิภาพในการใช้ N จากโปรตีนในอาหารเพื่อการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน มีค่าเท่ากับ 1.0 เมื่อ CP intake ถูกจำกัด ยกเว้นระบบ NRC ซึ่งกำหนดค่าที่ต่ำกว่า คือ 0.9 เมื่อการกินได้ของ CP เกินกว่าความต้องการ ประสิทธิภาพจะมีค่าน้อยกว่า 1.0 ทั้งนี้การสังเคราะห์ MCP จะถูกจำกัดโดยปริมาณพลังงาน ประสิทธิภาพในการ capture NPN ถูกกำหนดให้มีค่าเพียง 0.8 (ARC, 1980)

(4) Undegraded dietary crude protein, undegradable protein, UDP

โปรตีนส่วนนี้คือ โปรตีนในอาหารที่ไม่ถูกย่อยสลายโดยการทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก แล้วผ่านไปยังกระเพาะ abomasum และลำไส้เล็ก ถูกย่อยด้วยเอ็นไซม์ต่างๆได้กรดอะมิโนซึ่งจะถูกดูดซึมไปใช้ประโยชน์ในร่างกายสัตว์ต่อไป

(5) Proportion of true protein in microbial crude protein, MTP/MCP

จุลินทรีย์โปรตีนประกอบด้วย nucleic acid N (NAN) ในสัดส่วนต่างๆกัน ซึ่ง NAN นี้ สัตว์ไม่สามารถใช้ประโยชน์เพื่อการสังเคราะห์ tissue protein หรือ น้ำนมได้

(6) Digestibility of microbial true protein, DMTP/MTP

MTP จะถูกย่อยและดูดซึมในลำไส้เล็กได้แตกต่างกัน ผันแปรอยู่ระหว่าง 0.80-0.85

(7) Digestibility of undegraded dietary protein, DUDP/UDP

ส่วนประกอบและการย่อยได้ในกระเพาะ abomasum และลำไส้เล็กของ UDP ในอาหารสัตว์แต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอาหารสัตว์ชนิดนั้นๆและการ treat อาหารนั้นๆ อย่างไรก็ตามส่วนใหญ่จะใช้ค่าคงที่คือ 0.8 หรือ 0.85

(8) Efficiency of utilisation of absorbed amino acids

ประสิทธิภาพการใช้กรดอะมิโนที่ถูกดูดซึมจะถูกกำหนดบนสมมุติฐานที่ว่า กรดอะมิโนที่ถูกดูดซึมทั้งหมดจะถูกใช้เพื่อการสังเคราะห์โปรตีนในอวัยวะต่าง ๆ เท่านั้น ไม่ได้ใช้เพื่อการอื่น ๆ เช่น การสังเคราะห์ไขมัน

การวัดค่าการย่อยสลายของโปรตีนในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

การวัดค่าการย่อยสลายของโปรตีนในห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่มักจะใช้การวัดค่าการละลายได้ของโปรตีน (Protein solubility) ใน buffer solution (Crooker et al., 1978) แต่ในปัจจุบันนิยมใช้และเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวางคือ การใช้ *in situ* dacron bag technique ซึ่งแนะนำโดย Orskov and Mehrez (1977) การวัดนี้จะวัดส่วนของ nitrogen ในอาหารที่หายไปจาก dacron bag ที่จุ่มแช่ในกระเพาะรูเมนเป็นระยะเวลาต่างๆ จนถึง 72 ชั่วโมง ส่วนของ nitrogen ที่หายไปที่เวลา 0 ชั่วโมงวัดได้จากการล้างถุงในน้ำเย็นธรรมดา ส่วนค่าที่ได้จากเวลาอื่นๆ จะนำมาเข้าสมการ exponential เพื่อหาค่าการย่อยสลายของ nitrogen (Degradability, *dg*) ดังนี้คือ

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

เมื่อกำหนดให้

dg	=	degradability
a	=	cold-water-soluble N
(a + b)	=	asymtote of curve, the potential maximum degradable N
c	=	rate of disappearance of N per hour
t	=	time in hours

นอกจากนี้ในระยะต่อมา Orskov and McDonald (1979) ได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมโดยการนำค่า outflow rate ของ feed particlesในกระเพาะหมักมาร่วมในการคำนวณเพื่อปรับค่า degradability ให้ใกล้เคียง *in vivo* study ยิ่งขึ้น ซึ่งค่า outflow rate จะผันแปรจาก 0.02/ชั่วโมง เมื่อสัตว์ได้รับอาหารในระดับ maintenance จนถึง 0.08/ชั่วโมง เมื่อสัตว์ได้รับอาหารมากๆ เช่นในโคนมที่ให้ผลผลิตสูง การคำนวณใช้สมการข้างล่าง และค่า degradability ที่ได้เรียกว่า effective degradability (*p*) และ outflow rate ใช้สัญลักษณ์ k

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

2.4.4 การประเมินค่าโปรตีนในอาหาร

ค่า Absorbed true protein (AP) เป็นระบบที่ใช้อยู่ในสหรัฐอเมริกา (N.R.C., 1985) หน่วยที่ใช้เป็น กรัมต่อวัน

ค่า AP ของอาหารคำนวณได้จาก

(1) Microbial crude protein (MCP) คำนวณได้จาก NE_L และ TDN หรือ ME ดังสมการ

MCP (g/day) = 7.16 NE_L (Mcal) – 193

MCP (g/day) = 10.6 ME (Mcal) – 193

(2) Undegraded protein [UDP] (g/day) คำนวณได้จาก การวัดค่าโดยวิธี *in situ* dacon bag และค่า out flow rate ที่เหมาะสม

(3) Metabolic faecal protein [FCP] (g/kg) คำนวณได้จากค่า TDN ในอาหาร

FCP (g/day) = 90 (1-0.92 TDN)

สำหรับค่าคงที่ของ digested microbial true protein (DMTP หรือ AP) และ digestible UDP (DUDP) มีค่าเท่ากับ MTP/MCP = 0.8, DMTP/MTP = 0.64, DUDP/UDP = 0.8 เมื่อ

AP (g/day) = 0.64 MCP + 0.8 UDP - FCP

2.4.5 การประเมินความต้องการโปรตีนในโคนม

ประสิทธิภาพการใช้ RDP ของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 0.9 ดังนั้น

MCP/RDP = 0.9

เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปว่า สัดส่วนของ recycled protein N (RP ต่อ CP) โดยกำหนดให้ค่า RP = 0.15 ดังนั้นสมการในการคำนวณค่าโปรตีนในอาหาร คือ

CP (g/day) = (RDP+UDP)/(1 + RP)

CP (g/day) = (RDP+UDP)/1.15

ความต้องโปรตีนเพื่อการผลิต

(1) AP ที่ใช้เพื่อการดำรงชีพ คำนวณได้จาก

$$AP_m \text{ (g/day)} = [(EUP + DPL)/0.67] + MFP$$

โดยกำหนดให้

EUP (Endogenous urinary protein) = $2.75\ LW^{0.5}$ (g/day)

DPL (Dermal protein loss) = $0.2\ LW^{0.6}$ (g/day)

MFP (Metabolic fecal protein) = 0.03 DMintake (g/day)

(2) AP ที่ใช้เพื่อผลิตน้ำนม

$$AP_l = (\text{Milk x protein g/kg milk}) / 0.65$$

(3) AP ที่ใช้เพื่อการเจริญเติบโต

$$AP_g = 175\text{-}188 \text{ g/kg gain (181.5 g/kg gain และ 160 g/kg loss)}$$

2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและโปรตีนในอาหาร

การให้อาหารที่มีความสมดุลย์ของโภชนะ นอกจากจะทำให้สัตว์ตอบสนองโดยให้ผลผลิตสูงแล้ว ยังเป็นการช่วยลดต้นทุนค่าอาหารได้ทางหนึ่ง เนื่องจากโภชนะจะถูกนำมาใช้ประโยชน์ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในโคนมการให้ผลผลิตน้ำนมต่อวัน และการใช้ประโยชน์ของโปรตีนที่ย่อยได้ มีความสัมพันธ์กับพลังงานทีใช้ประโยชน์ได้ ถ้าโคได้รับอาหารที่ขาดความสมดุลระหว่างพลังงานและโปรตีน จะมีผลทำให้การผลิตน้ำนม การย่อยได้ของไนโตรเจนและไนโตรเจนในนมลดลง (Gordon and Forbes, 1970 อ้างถึงใน เมธา, 2533) และพบว่าการเพิ่มระดับโปรตีนในอาหารโคที่มีระดับพลังงานเท่ากัน จะช่วยปรับการย่อยได้ของโปรตีนและประสิทธิภาพการใช้พลังงานให้สูงขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 2.1

อาหารที่มีไนโตรเจนต่ำเป็นตัวจำกัดปริมาณการกินได้อย่างอิสระ เพราะมีไนโตรเจนไม่เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ จึงทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักลดลง แต่ถ้าโปรตีนเกินระดับที่เหมาะสมจะทำให้สมดุลย์พลังงานลดลง กล่าวคือทำให้ประสิทธิภาพการใช้ ME ลดลงในสภาพที่มีโปรตีนเพียงพอ สิ่งที่จำกัดการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน คือ พลังงาน ดังนั้นจึง

ต้องมีโภชนะทั้งสองอย่างให้เพียงพอกับความต้องการทั้งจุลินทรีย์และตัวสัตว์เอง ถ้าสัตว์ได้รับคาร์โบไฮเดรตเพียงพอจะทำให้การนำ NH_3 มาใช้ประโยชน์ได้มาก จากการศึกษาในระบบ *in vivo* พบว่า การเติมคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่ายในรูปแป้งลงไปในการหมัก rumen fluid ทำให้มี NH_3 ที่เกิดขึ้นน้อย เนื่องจากว่า NH_3 จะถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์จุลินทรีย์ (McDonald, 1958 and Warner, 1956 อ้างถึงใน Church, 1979) โดยทั่วไปในอาหารที่มีโปรตีนต่ำจะทำให้การกินได้ต่ำและลดประสิทธิภาพการย่อยได้ในกระเพาะหมักลง เนื่องจากการทำงานของจุลินทรีย์ขาดแหล่งไนโตรเจน การสูญเสียไนโตรเจนจะเพิ่มมากขึ้น ถ้ามีการเพิ่มการย่อยได้คาร์โบไฮเดรตที่มีการย่อยได้สูง ในอาหารที่มีไนโตรเจนต่ำ และการไหลผ่านของคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ไปยังลำไส้ใหญ่และไส้ติ่ง จะไปเพิ่มการสูญเสียไนโตรเจนทางมูลจากการหมัก Van Soest (1982) กล่าวว่า การใช้ประโยชน์ของ NPN ถูกจำกัดในอาหารหยาบคุณภาพต่ำที่มีการย่อยได้ของพลังงานต่ำ เช่น ในฟางข้าวที่มีคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้น้อย มีองค์ประกอบของผนังเซลล์มาก และมีไนโตรเจนต่ำ ดังนั้นความสามารถในการใช้ NPN จึงมีจำกัด เพราะมีพลังงานต่ำและมีอัตราการย่อยได้ของคาร์โบไฮเดรตช้า โดยทั่วไปการเติม ยูเรียในอาหารเช่นนี้มีการใช้ประโยชน์ได้น้อย ถึงแม้ว่าจะมีไนโตรเจนเพียงพอ แต่เนื่องจากระดับการผลิต NH_3 ถึงระดับสูงสุดได้เร็ว ในขณะที่การหมักคาร์โบไฮเดรตที่คุณภาพต่ำใช้เวลานานกว่าจะถึงระดับสูงสุด การที่ NH_3 ถึงระดับสูงสุดเร็วจะช่วยเพิ่มการดูดซึมและการสูญเสีย NH_3 จากรูเมนให้แก่เลือด ซึ่งต่อมา NH_3 จะถูกเปลี่ยนไปเป็นยูเรียที่ไต และขับออกทางปัสสาวะ

ตารางที่ 2.1 แสดงผลการเพิ่มระดับโปรตีนต่อประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของพลังงาน

รายการ	ระดับของโปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	
	15.9	**11.6**
Protein digestibility (%)	69.2	54.5
Predicted DE (Mcal/kg DM)	3.25	3.28
Actual DE (%)	68.4	63.0
ME (Mcal/kg DM)	2.63	2.47
ME/DE (%)	83.9	85.8
NE (Mcal/kg DM)	1.55	1.44

ที่มา Moore and Tyrrell (1972) อ้างถึงใน เมธา (2533)

2.6 ปัจจัยที่ควบคุมการกินได้ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง (Factors affecting the intake of ruminant)

เรื่องที่สำคัญอย่างหนึ่งในวิชาโภชนะศาสตร์สัตว์ คือ การกินได้อย่างอิสระ (Voluntary feed intake, VFI) เพราะถึงแม้ว่าอาหารนั้นจะมีส่วนประกอบทางเคมีดีเพียงใดก็ตาม ถ้าอาหารนั้นไม่มีความน่ากินหรือสัตว์ไม่ชอบกิน อาหารนั้นก็ไม่มีประโยชน์ ปัจจัยที่ควบคุมการกินได้ของสัตว์เคี้ยวเอื้องแบ่งออกเป็น 2 ปัจจัยหลัก (วิศิษฐิพร, 2538) ดังนี้

2.6.1 Metabolic factors

เป็นปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการทางโภชนะและความสามารถของสัตว์ในการใช้ประโยชน์จากโภชนะที่ถูกดูดซึม ดังนี้

(1) การควบคุมการกินอาหารพิจารณาได้จากการที่สัตว์พยายามรักษาความสมดุลของพลังงานในร่างกายโดยปรับเปลี่ยนปริมาณการกินอาหารในรูปพลังงานเป็นสัดส่วนกับความต้องการพลังงานของตัวสัตว์เอง รวมทั้งปรับให้เข้ากับสภาพทางสรีรวิทยาของสัตว์ในระยะนั้น เช่น อายุ น้ำหนัก การตั้งท้อง การให้ผลผลิต และพยายามปรับให้เข้ากับสภาพแวดล้อมในขณะนั้น

(2) สรีรวิทยาการควบคุมการกินอาหารเริ่มจาก end products ของการย่อยและ metabolism จะเป็นตัวกระตุ้นระบบประสาทรับความรู้สึก เมื่อประสาทรับความรู้สึกรับรู้สภาพทางโภชนะแล้วก็จะส่งสัญญาณกลับไปยังระบบประสาทรับรู้ที่สมอง สมองก็จะสั่งการควบคุมการกินอาหาร คือให้กินอาหารหรือหยุดกินอาหาร

(3) End products ที่ได้จากการย่อยอาหารส่วนใหญ่จะเป็น VFAs ที่มีบทบาทที่สำคัญ ได้แก่ propionate และ acetate ซึ่งถ้าสัตว์ถูกย่อยได้ VFAs ทั้งสองตัวนี้มากจะทำให้สัตว์หยุดกินอาหาร เนื่องจาก VFAs ทั้งสองตัวนี้ทำให้เกิดการส่งสัญญาณความอิ่ม (Satiety) ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง ส่วน VFA อีกตัวหนึ่งคือ butyrate มีบทบาทน้อย สำหรับ lactate ทำให้เกิดการลดการเคลื่อนไหวของกระเพาะอาหาร

(4) สภาพความเป็นกรดเป็นด่างในกระเพาะ reticulo-rumen มีส่วนในการส่งสัญญาณควบคุมการกินอาหารเช่นเดียวกับ VFAs กล่าวคือ ถ้า pH ใน reticulo-rumen ลดลง จะมีส่วนทำให้สัตว์หยุดกินอาหาร แต่ pH ในกระเพาะอาหารมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นจึงเป็นตัวกำหนดการกินอาหารได้เพียงระยะสั้นๆ เท่านั้น

2.6.2 Physical factors

เป็นปัจจัยที่มีอิทธิต่อความสามารถในการกินอาหาร ความจุกระเพาะ และความสามารถในการย่อยในระบบทางเดินอาหาร ในสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ได้รับอาหารหยาบเป็นอาหาร VFI จะถูกจำกัดโดยความจุกระเพาะ (Rumen capacity) โดยสังเกตได้จากสัตว์ที่ได้รับอาหารที่มี Fiber

สูงจะหยุดกินอาหารก่อนที่จะได้รับพลังงานตามความต้องการ ปัจจัยทางกายภาพนี้เกี่ยวข้องกับความสามารถในการขยายตัว (Distention) ของ reticulo-rumen และการไหลผ่านของ digesta ออกจาก reticulo-rumen โดยปัจจัยต่างๆ มีดังนี้

(1) การขยายตัวของ reticulo-rumen เมื่อสัตว์กินอาหารเข้าไประดับหนึ่งจนกระเพาะไม่สามารถที่จะขยายรับอาหารได้อีก สัตว์ก็จะหยุดกินอาหารซึ่งการขยายตัวของกระเพาะถูกกำหนดโดยความจุของช่องท้อง (Abdominal cavity) นอกจากนี้ถ้าโคตั้งท้อง การเจริญเติบโตของตัวอ่อน (Foetus) จะทำให้ความจุของช่องท้องลดลง การสะสมไขมันในช่องท้องก็จะลดความจุของช่องท้องลงเช่นกัน ที่ผนังกระเพาะมีประสาทรับความรู้สึกถึงการขยายตัวของกระเพาะหมักโดยจะหยุดกินเมื่อกระเพาะขยายเต็มที่

(2) อัตราการไหลผ่านของ digesta จาก reticulo-rumen ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการคือ

ส่วนประกอบทางเคมีของอาหารประกอบด้วยส่วนที่ย่อยได้ง่าย เช่น soluble carbohydrate ในปริมาณมาก digesta จะไหลผ่าน reticulo-rumen ได้เร็ว ในทางตรงกันข้ามถ้าอาหารประกอบด้วย structural carbohydrate ที่ย่อยได้อยากในปริมาณมาก อาหารก็จะถูกย่อยได้ช้า digesta ก็จะไหลผ่านได้ช้าด้วย

อัตราการย่อยสลายทางกายภาพ (การเคี้ยวและการเคี้ยวเอื้อง) และทางเคมี (Microbial and enzymatic digestion) ก็เช่นเดียวกันคือถ้าย่อยได้ช้า digesta ก็จะไหลผ่านได้ช้า ถ้าย่อยสลายได้เร็วก็สามารถผ่านได้เร็ว

ความสามารถในการบีบรัดกล้ามเนื้อของกระเพาะและขนาดของ reticulo-omasal orifice ถ้ามีการบีบรัดที่รุนแรงและบ่อยครั้ง digesta ก็จะไหลผ่าน reticulo-omasal orifice ได้มาก ส่วนขนาดของ reticulo-omasal orifice ถ้ามีขนาดใหญ่ digesta ก็สามารถไหลผ่านได้สะดวก

ระยะเวลาที่อาหารถูกเก็บกัก (Retention time) ขึ้นอยู่กับปริมาณการกินอาหาร เช่น ถ้าสัตว์กินอาหารได้มาก retention time จะลดลง ลักษณะทางกายภาพของอาหารหยาบ ถ้าอาหารหยาบเป็นเส้นยาว retention time จะเพิ่มขึ้น สัดส่วนของอาหารหยาบและอาหารข้น ถ้าสัดส่วนอาหารหยาบต่ออาหารข้นมาก retention time จะเพิ่มขึ้น ส่วนประกอบของ fiber ในอาหารถ้ามีมากและเป็น fiber ที่ย่อยได้ยาก retention time ก็จะเพิ่มขึ้น

ปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนไหลของอนุภาคอาหาร (Feed particles) ถ้าขนาดของอนุภาคอาหารมีขนาดเล็กจะไหลผ่านได้เร็ว ความหนาแน่นของอนุภาคอาหารถ้ามีมากจะไหลผ่านได้เร็ว ส่วนประกอบของผนังเซลล์ (Cell wall) ในอาหารถ้ามีมากจะไหลได้ช้า pH ถ้าต่ำจะไหลผ่านได้ช้าเนื่องจากการย่อยได้ช้า ความแรงและความถี่ของการบีบตัวของกระเพาะหมัก และ abomasum ถ้าแรงและถี่จะไหลผ่านได้เร็ว

2.6.3 ปัจจัยทางพฤติกรรมการกินอาหารของ grazing cattle

ถ้าหญ้ามีปริมาณมากพอคุณค่าทางอาหารของหญ้าจะเป็นตัวกำหนดการกินได้ โดยมีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการแทะเล็ม คือสัตว์จะเลือกกินอาหารที่มีคุณค่าสูง แต่ถ้าคุณค่าของอาหารในหญ้าต่ำ distention mechanism จะเป็นตัวควบคุม ในขณะที่หญ้าที่ให้โคกินมีปริมาณมากและคุณค่าในอาหารสูง metabolic mechanism จะเป็นตัวกำหนดการควบคุมการกินอาหาร ในทางตรงกันข้ามถ้าหญ้ามีปริมาณและคุณค่าทางอาหารน้อยการกินได้จะถูกควบคุมโดยพฤติกรรมการแทะเล็ม

2.6.4 ปัจจัยที่เกิดจากตัวสัตว์ (Animal factors)

(1) ขนาดและน้ำหนักตัวของสัตว์ ปกติสัตว์ที่มีขนาดใหญ่หรือน้ำหนักตัวมากย่อมกินอาหารได้มากกว่าสัตว์ที่ขนาดเล็กและน้ำหนักตัวน้อย เนื่องจากขนาดของตัวสัตว์เป็นตัวกำหนดปริมาตรของช่องท้อง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความจุกระเพาะ

(2) อายุและการเจริญเติบโตของสัตว์ ปกติในสัตว์ที่อายุน้อยและกำลังเจริญเติบโตจะกินอาหารได้มากกว่าสัตว์ที่แก่หรือที่โตเต็มวัย เมื่อเทียบในสัดส่วนของน้ำหนักตัว

(3) พันธุกรรมของสัตว์ที่เกี่ยวข้องกับการกินได้ขึ้นอยู่กับลักษณะประจำพันธุ์ เช่น โคพันธุ์ซีบู (Bos indicus) จะกินอาหารได้หลายชนิดและไม่ค่อยจะถูกกระทบกระเทือนจากสิ่งแวดล้อมที่แปลกใหม่เหมือนกับโคพันธุ์ยุโรป (Bos taurus)

(4) การตั้งท้อง (Pregnancy) ตัวอ่อนจะเจริญเติบโตขึ้นเรื่อยๆ และมีความต้องการโภชนะในการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น เพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของตัวอ่อนและอาจจะเกิดการเพิ่มของฮอร์โมน progesterone ในกระแสเลือดเหนี่ยวนำให้สัตว์กินอาหารได้มากขึ้น แต่เมื่อใกล้คลอดสัตว์จะกินอาหารได้น้อยลง เนื่องจากตัวอ่อนมีการเจริญเติบโตทำให้ขนาดของช่องท้องลดลง

(4) การให้นมในโคนม โคที่กำลังรีดนมจะกินอาหารมากกว่าโคที่ไม่ได้รีดนมหรือโคที่หยุดรีดนม

2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยได้ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง (Factors affecting ruminal digestion)

การย่อยได้ (Digestion) เป็นขบวนการที่ร่างกายย่อยสลายอาหารให้โมเลกุลเล็กลง อยู่ในรูปที่ร่างกายสามารถดูดซึมได้ภายในทางเดินอาหาร จุลินทรีย์ในกระเพาะ reticulo rumen ของสัตว์เคี้ยวเอื้องมีบทบาทในการช่วยย่อยอาหารด้วย โดยทั่วไปถือว่าอาหารที่ได้ คือ ปริมาณอาหารที่หายไปในทางเดินอาหาร แต่ที่จริงแล้วสิ่งต่างๆ ที่ขับออกมาในมูลไม่ใช่อาหารที่ย่อยไม่ได้เพียงอย่าง

เดียว แต่ยังประกอบไปด้วยจุลินทรีย์และเนื้อเยื่อหรือสิ่งขับถ่ายจากร่างกาย ดังนั้นการหาค่าการย่อยได้โดยอาศัยผลต่างระหว่างปริมาณอาหารที่กินเข้าไปกับปริมาณอาหารที่ขับออกจะได้ค่าที่เรียกว่า apparent digestibility ส่วนการย่อยได้จริง (True digestibility) ต้องหักลบโภชนะที่ไม่ได้มาจากการย่อยอาหาร ออกจากส่วนของมูล Chruch (1979) กล่าวว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยได้มีมากมาย เช่น ลักษณะภูมิประเทศ ภูมิอากาศ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ชนิดของสัตว์ พันธุ์ เพศ อายุ ระดับการให้ผลผลิต ความเครียด และอื่น ๆ มากมาย ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะปัจจัยในอาหารที่มีผลต่อการย่อยได้ ดังนี้ (วิศิษฐิพร, 2539)

(1) ระดับการกินได้ (Level of feed intake) เมื่อการกินได้เพิ่มขึ้นจะทำให้อาหารถูกย่อยได้น้อยลง เนื่องจากระดับการกินได้ที่เพิ่มขึ้นไปเพิ่มอัตราการไหลผ่าน ทำให้อาหารอยู่ในกระเพาะ-หมักสั้นลง จุลินทรีย์จึงเข้าย่อยอาหารได้น้อยลง

(2) ความเป็นกรดด่างในกระเพาะหมัก (Rumen pH) ปกติ pH ในกระเพาะหมักจะอยู่ระหว่าง 5.5-7.0 แต่ pH ที่เหมาะสมสำหรับการแตกตัวของโปรตีนและการเกิดแอมโมเนียในกระเพาะหมักจะอยู่ระหว่าง 6.0-7.0 ซึ่งระดับ pH นี้จะทำให้เกิดการทำงานสูงสุดของจุลินทรีย์ ระดับ pH ในกระเพาะหมักลดต่ำลง อัตราการย่อยได้ของอาหารเยื่อใยก็จะลดลง เนื่องจากจำนวนจุลินทรีย์ประเภท cellulolytic ลดลง การปรับระดับ pH ในกระเพาะหมักให้สูงขึ้นทำได้โดยให้กิน buffers

(3) อัตราการไหลผ่าน (Passage rate) ของ digesta จากกระเพาะหมัก ถ้าอัตราการไหลผ่านเพิ่มขึ้นจะทำให้การย่อยได้ของอาหารในกระเพาะหมักลดลง เนื่องจาก digesta มีเวลาอยู่ในกระเพาะหมักน้อย จุลินทรีย์มีเวลาในการเข้าย่อยอาหารได้น้อยลง แต่การไหลผ่านที่เร็วจะทำให้สัตว์กินอาหารได้เพิ่มขึ้น

(4) ปริมาณเยื่อใยและลิกนินในอาหาร (Dietary fiber and lignin) ปกติการย่อยได้จะลดลงเมื่อปริมาณเยื่อใยในอาหารเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามลิกนินก็มีอิทธิพลต่อปริมาณเยื่อใย โดยลิกนินจะป้องกันน้ำย่อย cellulase เข้าย่อยเยื่อใย แต่ลิกนินมีผลน้อยมากต่อการย่อยได้ของ soluble cell component

(5) ส่วนประกอบของโภชนะในอาหาร (Nutrient) ถ้าขาดโภชนะตัวใดตัวหนึ่งมีผลต่อการย่อยได้ของโภชนะตัวอื่นลดลง เช่น การขาดโปรตีนทำให้การย่อยได้ของพลังงานและการกินได้ลดลง เนื่องจากมีผลไปลดการทำงานของจุลินทรีย์ การย่อยได้ในกระเพาะหมักอาจลดลงเมื่อขาดแร่-ธาตุ การขาดไวตามินเอก็จะทำให้สัตว์ท้องเดินได้ และถ้าโคได้รับอาหารที่มีไขมันมากเกินไปจะไปขัดขวางการย่อยของอาหารหยาบชนิดต่างๆ โดยไขมันจะเข้าไปเกาะตามผิวของอาหารพวก fiber ไปทำให้ประชากรของจุลินทรีย์เปลี่ยนไป

(6) ความถี่ในการให้อาหาร (Frequency of feeding) การเพิ่มความถี่ในการให้อาหารจะทำให้การย่อยได้สูงขึ้น ช่วยลดการสูญเสียความร้อน

(7) การเตรียมหรือการแปรรูปอาหาร (Processing) เช่น การทุบ การบด การอัดแผ่น ในเมล็ดธัญพืชทำให้การย่อยได้ของเมล็ดเพิ่มขึ้น แต่อาจทำให้การย่อยได้ลดลง การให้ความร้อนอาจทำให้การใช้ประโยชน์ของโปรตีนดีขึ้นได้ แต่ถ้าความร้อนสูงเกินไปก็จะทำให้การย่อยได้ลดลง การอบไอน้ำและการต้มจะเพิ่มการใช้ประโยชน์ของคาร์โบไฮเดรตในเมล็ดธัญพืช

(8) การปรับตัวต่อการเปลี่ยนอาหาร (Adaptation) เมื่อต้องการศึกษาการย่อยได้ต้องให้สัตว์ปรับตัวกับการเปลี่ยนอาหารเป็นเวลาอย่างน้อย 2 สัปดาห์ เพื่อให้ได้ค่าประเมินการย่อยได้ที่น่าเชื่อถือ เนื่องจากสัตว์ต้องปรับตัวให้คุ้นเคยกับอาหาร และจุลินทรีย์ที่อยู่ในกระเพาะหมักก็ต้องใช้เวลาในการปรับตัวกับการเปลี่ยนแปลงอาหารใหม่ โดยพบว่าในช่วงแรกของการเปลี่ยนอาหารการย่อยได้จะลดลง หลังจากนั้นประมาณ 2 สัปดาห์ จึงจะกลับคืนสู่สภาวะปกติ

2.8 ปัจจัยที่มีผลต่อผลิตและองค์ประกอบในน้ำนม (Factors affecting yield and composition of milk)

ในโคให้นมช่วงแรกของการคลอดการให้ผลผลิตจะไม่สูงมากนัก ผลผลิตน้ำนมจะค่อยๆ สูงขึ้นจนกระทั่งถึงระยะการให้นมสูงสุด (Peak of lactation) โดยจะใช้เวลา 3-6 สัปดาห์ หลังจากนั้นปริมาณน้ำนมจะเริ่มลดลง ปกติระยะเวลาการให้น้ำนมของโคประมาณ 305 วัน และมีระยะพักการให้นม (Dry period) ประมาณ 60 วัน มีผลทำให้โคสามารถให้ลูกได้ทุกปี ซึ่งระยะการให้นมของโคนั้นจะผันแปรตามสภาพร่างกายในขณะคลอดลูก ความสามารถทางพันธุกรรม อาหารที่โคได้รับและโรคต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการให้นม ถ้าโคมีร่างกายที่สมบูรณ์ในขณะคลอดลูก และได้รับอาหารเต็มที่จะมีผลทำให้ระดับน้ำนมสูงสุดเพิ่มขึ้น โดยระดับการให้นมสูงสุดจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณผลผลิตน้ำนมตลอดระยะการให้นม

องค์ประกอบน้ำนมจะแปรผันกลับกับผลผลิตน้ำนม โดยเปอร์เซ็นต์ไขมันและเปอร์เซ็นต์โปรตีนจะลดลงต่ำสุดเมื่อปริมาณน้ำนมถึงจุดสูงสุด และจะสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อระยะการให้นมผ่านไป ส่วนปริมาณ lactose ค่อนข้างจะคงที่ โดยจะค่อยๆ ลดลงทีละน้อยตลอดระยะการให้นม แต่ปริมาณของแข็งในน้ำนมจะสูงขึ้นเล็กน้อย ปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตและองค์ประกอบในน้ำนมแบ่งออกเป็น 2 ปัจจัยหลัก คือ

2.8.1 ปัจจัยทางสรีระวิทยา เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการให้นมมีทั้งที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางพันธุกรรม เช่น พันธุ์ สายพันธุ์ และลักษณะที่ไม่เกี่ยวข้องกับพันธุกรรม เช่น อายุ จำนวนครั้งในการรีดนม ระยะการตั้งท้อง เป็นต้น โดยมีรายละเอียดดังนี้

(1) ลักษณะทางพันธุกรรม โคที่พันธุ์แตกต่างกันจะให้ผลผลิตและองค์ประกอบในน้ำนมที่ต่างกัน เช่น โคพันธุ์ Holstein จะให้ผลผลิตน้ำนมสูงกว่าโคพันธุ์ Jersey ประมาณ 40-60 เปอร์เซ็นต์ แต่พบว่ามีปริมาณไขมันและโปรตีนต่ำกว่า (วิบูลย์ศักดิ์ และ ญาณิน, 2534) นอกเหนือจากนี้พบว่าโคที่ให้นมสูงจะมีความสามารถในการให้น้ำนมได้ทนทาน ซึ่งไม่สามารถทราบกลไกที่แน่ชัดแต่เชื่อว่ามีสาเหตุมาจากระดับฮอร์โมนในกระแสเลือด โดยเฉพาะ growth hormone จะช่วยให้ปริมาณน้ำนมสูงขึ้น ส่วนฮอร์โมน estrogen และ progesterone มีผลทำให้ระยะการให้นมสั้นลง โดยผลของสมดุลระหว่างฮอร์โมนมีผลเนื่องจากพันธุกรรม (Schmidt, 1971 อ้างถึงใน วิบูลย์ศักดิ์ และ ญาณิน, 2534)

(2) อายุของโค เมื่อโคอายุมากขึ้นผลผลิตจะมากตามจนกระทั่งโคโตเต็มที่ (อายุ 6-8 ปี) ในโคสาวท้องแรก (อายุประมาณ 2 ปี) จนถึงแม่โคอายุ 5 ปี จะให้ผลผลิตน้ำนมประมาณ 75 85 92 และ 98 เปอร์เซ็นต์ ของโคที่โตเต็มที่ เนื่องมาจากโคที่ยังโตไม่เต็มที่จะมีน้ำหนักตัว การพัฒนาและการเจริญเติบโตของเต้านมน้อยกว่าโคที่โตเต็มที่ และหลังจากนั้นผลผลิตจะค่อยๆ ลดลงตามอายุของโคที่มากขึ้นประมาณ 0.2 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับโคที่ให้นมครั้งแรกกับโคที่ให้นมครั้งที่ 5

(3) ขนาดตัวของโค ปกติโคที่มีขนาดใหญ่จะให้นมสูงกว่าโคที่มีขนาดเล็ก แต่ผลผลิตน้ำนมไม่ได้สูงตามสัดส่วนน้ำหนักตัว แต่การเพิ่มผลผลิตจะเพิ่มตามพื้นที่ผิวของโค ($BW^{0.75}$) โดยประมาณได้ว่าถ้าน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าของน้ำหนักตัวโค ปริมาณน้ำนมจะเพิ่มขึ้นเพียง 70 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณน้ำนมเดิม

(4) วงรอบของการเป็นสัดและการตั้งท้อง ในขณะที่โคเป็นสัดพบว่าปริมาณการให้นมจะลดลง เนื่องจากฮอร์โมนและการกินอาหารของโคลดลง หลังจากนั้นผลผลิตก็จะเป็นปกติ โคที่ตั้งท้องผลผลิตน้ำนมจะลดลง โดยเฉพาะโคที่ท้องได้ 5 เดือนขึ้นไป โคจะให้ผลผลิตน้ำนมน้อยกว่าโคที่ไม่ได้ตั้งท้อง 20 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากอาหารที่กินเข้าไปนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของตัวอ่อน โดยความต้องการโภชนะในการเจริญเติบโตของตัวอ่อนในระยะนี้สามารถนำไปสร้างน้ำนมได้ถึง 3.5 ลิตร และนอกจากนี้ยังมีสาเหตุมาจากฮอร์โมน estrogen ที่เพิ่มสูงขึ้นจึงทำให้ปริมาณน้ำนมลดลง ส่วนองค์ประกอบในน้ำนมพบว่าปริมาณไขมันและโปรตีนจะสูงขึ้น ส่วนปริมาณ lactose ลดลง นอกจากนี้การได้รับโปรตีนในระดับสูงจะไปเพิ่มระยะพักตัวของการเป็นสัด ทำให้อัตราการผสมติดลดลง และทำให้ผลผลิตน้ำนมในระยะที่ให้นมสูงสุด มีค่าลดลง

2.8.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม มีปัจจัยหลายประการที่มีผลทำให้ผลผลิตและองค์ประกอบในน้ำนมแตกต่างกันออกไป ดังนี้

(1) อุณหภูมิและความชื้น อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเลี้ยงโคคือ 4.4-23.9 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 4.4 องศาเซลเซียส นั้นยังไม่มีผลต่อการผลผลิตน้ำนมแต่จะมีผลต่อความต้องการอาหารมากขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า –15 องศาเซลเซียส จะมีผลให้ปริมาณผลผลิตน้ำนมลดลง แต่ปริมาณของแข็งพร่องไขมันและของแข็งรวมในน้ำนมจะเพิ่มขึ้น ในขณะเดียวกันถ้าอุณหภูมิสูงมากกว่า 23.9 องศาเซลเซียส จะมีผลทำให้ผลผลิตน้ำนมลดลงมาก แต่ปริมาณของแข็งพร่องไขมันและของแข็งรวมในน้ำนมลดลงเพียงเล็กน้อย การลดลงของปริมาณผลผลิตน้ำนมมีผลทำให้ไขมันในนมสูงขึ้น

(2) ฤดูกาล มีผลต่อผลผลิตและองค์ประกอบในน้ำนม โดยเห็นได้จากโคที่ให้ลูกในฤดูฝนหรือต้นฤดูหนาวจะผลผลิตมากกว่าโคในฤดูอื่นๆ เนื่องจากโคในระยะนี้ได้อาหารที่สมบูรณ์ และสภาพอากาศที่เย็นสบาย เหมาะกับการให้นมในระดับสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโคที่ให้นมในระยะสูงสุด และเมื่อเข้าสู่ฤดูร้อนโคจะเข้าสู่ระยะที่ให้นมน้อย หรือระยะพักการให้นมซึ่งระยะนี้ไม่เหมาะกับการเลี้ยงโคที่ให้ผลผลิตน้ำนมสูงด้วย

(3) ระยะพักการให้นม มีผลกับการให้น้ำนมโดยจะมีผลเกี่ยวข้องกับสภาพร่างกายของโคเมื่อคลอดลูก กล่าวคือโคที่มีระยะพักการให้นมจะมีผลทำให้สภาพร่างกายเมื่อคลอดลูกสมบูรณ์และทำให้ปริมาณน้ำนมที่ผลิตได้สูงสุด โดยโคจะนำเอาอาหารที่สะสมไว้ในร่างกายมาสร้างเป็นองค์ประกอบน้ำนม ซึ่งประมาณได้ว่า ไขมันที่สะสมไว้ในร่างกาย จำนวน 100 กิโลกรัม สามารถให้พลังงานในการผลิตน้ำนม 880 กิโลกรัม และนอกจากนั้นยังมีผลทำให้เกิดการสร้างเซลล์กลั่นสร้างน้ำนมขึ้นมาทดแทนเซลล์กลั่นสร้างน้ำนมเดิม ดังการทดลองของ Smith และ Dodd (1966) ที่ใช้โคให้นม 2 ตัว แบ่งเต้านมของโคแต่ละตัวออกเป็น 2 ส่วน ๆ ละ 2 เต้า ช่วงแรกจะมีระยะพักการรีดนม 10 สัปดาห์ ก่อนคลอด ส่วนช่วงที่เหลือจะทำการรีดนม 2 ครั้งต่อวัน จนกระทั่งคลอด ผลของการให้นมในครั้งต่อไปพบว่า ส่วนที่ไม่ได้พักระยะการให้นมจะให้ผลผลิตต่ำกว่าส่วนที่มีการพักการให้นม 56-62 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าโคที่มีการพักระยะการให้นมนานเกินไปจะมีผลทำให้การผลิตน้ำนมลดลง ดังนั้นโคควรมีระยะพักการให้นมไม่เกิน 60 วัน

(4) การรีดนม การปฏิบัติต่อโคขณะรีดนม จำนวนครั้งในการรีดนมในแต่ละวัน และความยาวนานในการรีดนม มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณและองค์ประกอบในน้ำนม การรีดนมไม่หมดเต้า (Incomplete milking) หรือโคเกิดอาการตกใจในขณะรีดนม มีผลทำให้ปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบในน้ำนมของโคลดลงได้ ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากน้ำนมที่ค้างอยู่ในเต้าเป็นน้ำนมที่มีปริมาณไขมันนมสูง (8-15 %) ส่วนน้ำนมที่รีดออกมาครั้งแรกๆ (Fore milk 1% fat) และการที่นมค้างเต้าเป็นเวลาหลายวันจะมีผลทำให้ผลผลิตลดลงและปริมาณไขมันในนมเพิ่มขึ้น ส่วนจำนวนครั้งในการรีดนมในแต่ละวัน ปกติจะรีด 2 ครั้งต่อวัน แต่การรีด 3-4 ครั้งผลผลิตจะให้สูงกว่า โดย

เฉพาะในโคที่ให้ผลผลิตสูงๆ ดังการทดลองของ Schmidt และ Van Vleck, (1974) ที่แสดงในตารางที่ 2.2 และการทดลองของ Bar-peled et al. (1998) ที่ศึกษาถึงความถี่ของการรีดนม 3 กลุ่มการทดลอง คือ 1) กลุ่มที่รีดด้วยเครื่อง 3 ครั้งต่อวัน 2) กลุ่มที่รีดด้วยเครื่อง 6 ครั้งต่อวัน 3) กลุ่มที่รีดด้วยเครื่อง 3 ครั้งต่อวันและรีดโดยให้ลูกดูด พบว่าปริมาณผลผลิตน้ำนม 38.45, 46.81 และ 52.75 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ แต่ผลปริมาณน้ำนมในกลุ่มที่ 2 และ 3 ไม่แตกต่างทางสถิติ

ตารางที่ 2.2 แสดงผลของระยะห่างในการรีดนม (ชั่วโมง) ต่อผลผลิตน้ำนม

ระยะห่างการรีด	ผลผลิตน้ำนม	
(ชั่วโมง)	ปริมาณ (กิโลกรัม)	ไขมันนม (กิโลกรัม)
12 และ 12	20.45	3.78
14 และ 10	20.39	3.91
16 และ 8	20.20	3.86
12.5 และ 11.5	18.46	3.78
14.5 และ 9.5	18.05	3.76

ที่มา Schmidt และ Van Vleck (1974)

(5) อาหารและการให้อาหาร ซึ่งชนิดและวิธีการให้อาหารมีผลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อผลผลิตและองค์ประกอบน้ำนม ปริมาณน้ำนมที่ผลิตได้มีผลมาจากระดับโภชนะที่โคได้รับ ถ้าได้รับโภชนะที่ต่ำกว่าปกติก็จะทำให้ปริมาณน้ำนมและน้ำตาลแลคโตสในน้ำนมลดลงอย่างเห็นได้ชัด แต่ถ้าได้รับโภชนะที่มากกว่าปกติพบว่าปริมาณน้ำนมก็สูงขึ้นไม่มากนัก

การให้อาหารที่มีพลังงานสูง ทำได้โดยเพิ่มการให้อาหารข้นแก่โคและลดการให้อาหารหยาบลง มีผลทำให้ผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้นแต่ปริมาณไขมันในน้ำนมลดลง ถ้าโคได้รับอาหารหยาบ 30 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณอาหารที่กินทั้งหมด จะมีผลทำให้ปริมาณไขมันลดลงเหลือเพียง 2 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น ดังนั้นในการกินอาหารของโคจะต้องได้รับอาหารหยาบไม่น้อยกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัว หรือในสูตรอาหารต้องมีสารเยื่อใยไม่น้อยกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์ จึงจะไม่ทำให้ปริมาณไขมันในน้ำนมลดลง ดังการทดลองของ Mcleod และ Wood (1972) ได้ศึกษาถึงผลของสัดส่วนอาหารหยาบที่ลดลงต่ออาหารข้นที่เพิ่มขึ้น 4 สูตร คือ 80 ต่อ20, 65 ต่อ 35, 50 ต่อ 50 และ 35 ต่อ 65 พบว่ากราฟผลผลิตน้ำนมจะเพิ่มขึ้นแต่เปอร์เซ็นต์ไขมันลด ตามสัดส่วนของอาหาร

หยาบที่ลดลงต่ออาหารข้นที่เพิ่มขึ้น และในการทดลองของ Bines et al. (1977) อ้างถึงใน เมธา (2533) ได้ศึกษาสัดส่วนของอาหารข้นต่อหญ้าเฮย์ 3 สูตร คือ 60 ต่อ 40, 75 ต่อ 25 และ 90 ต่อ 10 พบว่าในโคที่ได้รับอาหารสูตร 90 ต่อ 10 และ 75 ต่อ 25 ผลผลิตน้ำนมสูงกว่าโคที่ได้รับอาหารสูตร 60 ต่อ 40 คือ 22.2, 22.1 และ 18.7 ตามลำดับ ในการที่โคได้รับอาหารข้นในปริมาณที่มากไปมีผลกระทบต่อรูเมนและปริมาณไขมันในน้ำนมได้ ดังนั้นเพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อสัตว์และผลผลิตที่ได้รับเหมาะสมที่สุดจำเป็นจะต้องให้อาหารข้นในปริมาณที่เหมาะสม ปกติไม่ควรเกิน 75 เปอร์เซ็นต์ของอาหารที่กินทั้งหมด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารหยาบและอาหารข้นที่โคได้รับด้วย นอกเหนือจากนั้นขนาดของอาหารหยาบ (เล็กกว่า 1/8 นิ้ว) อาหารที่ผ่านกระบวนการผลิตที่ให้ความร้อน อาหารข้นอัดเม็ดที่มีข้าวโพดผสมอยู่จำนวนมากหรือหญ้าอ่อนที่มีคุณภาพสูง มีผลทำให้ปริมาณไขมันในน้ำนมลดลงได้

การให้อาหารที่มีโปรตีนสูงจะมีผลลดการกินได้ของโค แต่การกินได้ที่ลดลงนั้นขึ้นอยู่กับชนิดและลักษณะของโปรตีนในอาหารที่โคได้รับด้วยโดยพิจารณาจากความสมดุลย์ของปริมาณไนโตรเจนที่อยู่ในกระเพาะรูเมนและปริมาณกรดอะมิโนที่อยู่ในลำไส้เล็ก ปกติระดับโปรตีนในอาหารที่โคต้องการประมาณ 12.5-13.5 เปอร์เซ็นต์ ถ้าโคได้รับอาหารที่มีโปรตีนในระดับต่ำจะทำมีการนำไนโตรเจนกลับไปใช้ในรูปของยูเรียและลดการสูญเสียไนโตรเจนในรูปปัสสาวะ Cannas et al. (1998) ได้ศึกษาโปรตีนที่แตกต่างกัน 4 ระดับ (13.9, 16.3, 18.6 และ 21.1 เปอร์เซ็นต์) ในแพะตัวเมีย พบว่าผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณโปรตีนในอาหารเพิ่มขึ้น แต่เมื่อปริมาณโปรตีนในอาหารที่ระดับ 21.1 เปอร์เซ็นต์ ปรากฏว่าปริมาณน้ำนมลดลงน้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับโปรตีน 18.6 เปอร์เซ็นต์ เล็กน้อย ส่วนปริมาณไขมันในนม โปรตีนแท้ในนม และ lactose ลดลงเมื่อปริมาณโปรตีนในอาหารเพิ่มขึ้น การทดลองของ Cunningham et al. (1996) ศึกษาโปรตีน 3 ระดับ (14.5, 16.5 และ 18.5 เปอร์เซ็นต์) พบว่าเมื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์โปรตีนในอาหารจาก 14.5 เป็น 16.5 ปรากฏว่าปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบในน้ำนมเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์โปรตีนเป็น 18.5 ปรากฏว่าทั้งปริมาณน้ำนมและ องค์ประกอบในน้ำนมไม่แตกต่างจากกลุ่มที่ได้รับโปรตีน 16.5 เปอร์เซ็นต์

นอกจากปัจจัยที่กล่าวมาแล้วยังมีปัจจัยอื่นๆ เช่น ฮอร์โมน โรคที่เกี่ยวข้องกับการให้นม เช่น ketosis, acidosis, milk fever และ mastitis จะมีผลต่อปริมาณและองค์ประกอบในน้ำนมได้ ดังการทดลองของ Cannas et al. (1998) ที่เปรียบเทียบแพะที่ได้รับพลังงานสูง (16.5 Mcal/kg) และต่ำ (15.5 Mcal/kg) พบว่าในกลุ่มที่ได้รับพลังงานต่ำมีปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบในน้ำนมมากกว่ากลุ่มที่ได้รับพลังงานสูง ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากกลุ่มที่ได้รับพลังงานสูงมีส่วนประกอบของ NSC (Non-structural carbohydrates) ในอาหารมาก ซึ่งการที่ในอาหารมี NSC ในอาหารสูง อาจก่อให้เกิด acidosis จึงทำให้ผลผลิตน้ำนมลดลง แต่ที่เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมของกลุ่มที่ได้รับพลังงานสูงมี

ปริมาณต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับพลังงานต่ำ อาจมีสาเหตุมาจากปริมาณ NSC ที่มากเกินไป อาจไปกระตุ้นการผลิต propionate และ insulin โดยบวนการ glucogenesis ถึงแม้ว่า insulin จะมีผลต่อไขมันในน้ำนมน้อยแต่ก็มีแนวโน้มในการลดผลผลิตน้ำนมลง แต่มีผู้เชื่อว่าระดับ propionate ที่สูงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมันนมที่ลดลง มีคนเสนอความเป็นไปได้เกี่ยวกับการเคลื่อนย้ายของไขมันสะสม (Fat mobilization) แต่ยังขาดรายละเอียดที่จะนำมาอธิบายได้ ถ้าถือว่าการสังเคราะห์ไขมันในน้ำนมเป็นหน้าที่ของ mobilization ต่อมน้ำนมจะขึ้นตรงกับไขมันในเลือดและอะซิเตท ซึ่งการลดลงของไขมันเกิดจากการขัดขวางการเคลื่อนย้ายไขมัน และเสริมให้มีการสังเคราะห์ไขมันที่เนื้อเยื่อบุไขมัน (Adipose tissue)

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุประสงค์

3.1.1 เพื่อศึกษาถึงผลของความต้องการพลังงานและโปรตีนที่ระดับ 90% และ 100%NRC ในโคนมที่ให้นมปานกลาง

3.1.2 เพื่อศึกษาถึงผลของความต้องการพลังงานและโปรตีนที่ระดับ 100% และ 110%NRC ในโคนมที่ให้นมปานกลาง

3.1.3 เพื่อศึกษาถึงปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ระหว่างพลังงานและโปรตีนที่ระดับ 90% 100% และ 110%NRC ที่ตอบสนองด้านการให้นม องค์ประกอบในน้ำนม การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว และการย่อยสลายโภชนะในอาหารของโคที่ให้นมปานกลาง

3.1.4 เพื่อประเมินความต้องการพลังงานและโปรตีนที่เหมาะสมกับโคที่ให้นมปานกลาง

3.2 วิธีการวิจัย

ในการศึกษาความต้องการพลังงานและโปรตีนของโคที่ให้นมปานกลาง เนื่องจากยังไม่ทราบแนวโน้มของข้อมูลความต้องการโภชนะว่าไปในทิศทางใดเมื่อเทียบกับ NRC (1988) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง คือ

การทดลองที่ 1 ศึกษาความต้องการพลังงานและโปรตีนที่ระดับ 90% และ 100%NRC

(1) ศึกษาผลการตอบสนองด้านการผลิต ประกอบด้วย ผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบในน้ำนม การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวและการกินได้ของโคให้นมปานกลาง

(2) ศึกษาผลการย่อยสลายโภชนะในอาหารจากโคเจาะกระเพาะ โดยใช้ถุงไนล่อนแช่ในกระเพาะหมัก (*In sacco, In situ*)

การทดลองที่ 2 ศึกษาความต้องการพลังงานและโปรตีนที่ระดับ 100% และ110%NRC

(1) ศึกษาผลการตอบสนองด้านการผลิต ประกอบด้วย ผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบในน้ำนม การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวและการกินได้ของโคให้นมปานกลาง

(2) ศึกษาผลการย่อยสลายโภชนะของอาหารจากโคเจาะกระเพาะ โดยใช้ถุงไนล่อนแช่ในกระเพาะหมัก

3.3 แผนการทดลอง

จัดการทดลองแบบ 2 x 2 Factorial จัดกลุ่มการทดลองแบบ Stratified Random Balance Group โดยแต่ละการทดลองมี 2 ปัจจัย ดังนี้

การทดลองที่ 1

ปัจจัย A เป็นโภชนะพลังงาน มี 2 ระดับ คือ พลังงาน 90% และ 100%NRC

ปัจจัย B เป็นโภชนะโปรตีน มี 2 ระดับ คือ โปรตีน 90% และ 100%NRC

การทดลองที่ 2

ปัจจัย A เป็นโภชนะพลังงาน มี 2 ระดับ คือ พลังงาน 100% และ 110%NRC

ปัจจัย B เป็นโภชนะโปรตีน มี 2 ระดับ คือ โปรตีน 100% และ 110%NRC

3.4 การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง

3.4.1 ตัวอย่างจากการให้ผลผลิตและอาหาร

(1) การเก็บตัวอย่างน้ำนม

สุ่มเก็บตัวอย่างน้ำนมรายตัวทุกสัปดาห์ๆ ละครั้ง โดยเก็บน้ำนมในตอนเย็นใส่ขวด 80 มิลลิลิตร และเก็บน้ำนมในตอนเช้า 80 มิลลิลิตร แล้วนำน้ำนมในตอนเย็นและเช้ามารวมกันในขวด 80 มิลลิลิตร ในอัตราส่วนน้ำนมเย็นต่อน้ำนมเช้า 40 ต่อ 60 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำไปวิเคราะห์หาไขมันในน้ำนม (Milk fat) โปรตีนในน้ำนม (Milk protein) ของแข็งพร่องไขมัน (Solid not fat) และของแข็งในน้ำนม (Total solid)

(2) การเก็บตัวอย่างอาหาร

สุ่มเก็บตัวอย่างวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิด คือ กากถั่วเหลือง ข้าวโพดบด และชานอ้อย-ปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกโซด์ ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ (6%NaOH) ก่อนโคกินอาหารทุกวัน แล้วนำไปอบเพื่อ วิเคราะห์หาค่าวัตถุแห้ง (Dry matter, DM) และเก็บตัวอย่างไว้ เพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี โดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis) กล่าวคือ ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆ ดังนี้ วิเคราะห์หาเถ้า (Ash) โปรตีนรวม (Crude protein, CP) และไขมัน (Ether extract, EE) และใช้วิธีการวิเคราะห์โดยใช้สารฟอก (Detergent fiber analysis) กล่าวคือ วิเคราะห์หาองค์ประกอบต่างๆ ดังต่อไปนี้ เยื่อใย (Crude fiber, CF) เยื่อใยที่ไม่ละลายในดีเทอเจนที่เป็นกลาง (Neutral detergent fiber, NDF) เยื่อใยที่ไม่ละลายในดีเธอเจนที่เป็นกรด (Acid detergent fiber, ADF) นอกจากนั้นยังวิเคราะห์หา ลิกนิน (Acid detergent lignin, ADL) วิเคราะห์หา

ไนโตรเจนที่เหลืออยู่ใน Acid detergent fiber residue (Acid detergent insoluble nitrogen, ADIN) และไนโตรเจนที่เหลืออยู่ใน Neutral detergent fiber residue (Neutral detergent insoluble nitrogen, NDIN)

สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารรวม (Total mixed rations, TMR) ที่เหลือหลังกินทุกวัน เพื่อนำไปวิเคราะห์หา DM และ CP

3.4.2 ตัวอย่างจากการย่อยสลายโภชนะของอาหาร

นำวัตถุดิบ ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ กากถั่วเหลือง ข้าวโพดบดและชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพของแต่ละการทดลองไปวิเคราะห์หาอัตราการย่อยสลาย (Effective rumen degradability, dg) ด้วยวิธีใช้ถุงไนล่อน (Nylon bag technique) แช่ในกระเพาะหมัก

3.5 การบันทึกข้อมูล

3.5.1 ข้อมูลการให้ผลผลิต

(1) บันทึกปริมาณผลผลิตน้ำนมทุกวัน

(2) บันทึกปริมาณองค์ประกอบในน้ำนม ซึ่งประกอบด้วย ปริมาณไขมันนม โปรตีนในนม ของแข็งพร่องไขมัน ของแข็งรวมในนม สัปดาห์ละครั้ง

(3) บันทึกเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบในน้ำนม ประกอบด้วย เปอร์เซ็นต์ไขมันนม โปรตีนในนม ของแข็งพร่องไขมัน ของแข็งรวมในนม สัปดาห์ละครั้ง

(4) บันทึกปริมาณอาหารก่อนกินทุกวันและบันทึกผลการวิเคราะห์องค์ประกอบในอาหารก่อนกินสัปดาห์ละครั้ง ประกอบด้วย DM, Ash, CP, EE, CF, NDF, ADF, ADL, ADIN และ NDIN

(5) บันทึกปริมาณอาหารเหลือหลังกินทุกวัน และบันทึกผลการวิเคราะห์ DM และCP ในอาหารเหลือหลังกิน สัปดาห์ละครั้ง

(6) บันทึกข้อมูลน้ำหนักโคก่อนและหลังการทดลอง

3.5.2 ข้อมูลการย่อยสลายโภชนะ

บันทึกข้อมูลที่ได้จากการคำนวณอัตราการย่อยสลายของวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิด และอัตราการย่อยสลายโภชนะในอาหารทั้ง 4 กลุ่มการทดลอง

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลด้านการผลิตที่ได้วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) แบบ 2 x 2 factorial โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS (Statistical analysis system, 1985)

3.7 สถานที่ทำการวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีโดยดำเนินงานที่ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และอาคารศูนย์เครื่องมือและวิทยาศาสตร์

3.8 ระยะเวลาทำการทดลอง

วันที่ 19 มกราคม พ.ศ. 2543 ถึง 21 พฤศจิกายน พ.ศ. 2543

บทที่ 4
การศึกษาความต้องการพลังงานและโปรตีนที่ระดับ 90 และ 100 เปอร์เซ็นต์ NRC

4.1 วัตถุประสงค์

(1) เพื่อศึกษาถึงผลของความต้องการพลังงานและโปรตีนที่ระดับ 90% และ 100% NRC ที่ตอบสนองด้านการให้นม องค์ประกอบในน้ำนม การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว การกินได้ และการย่อยสลายโภชนะในอาหารของโคให้นมปานกลาง

(2) เพื่อศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและโปรตีนที่ระดับ 90% และ 100%NRC ต่อการตอบสนองด้านการให้นม องค์ประกอบในน้ำนม การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว การกินได้และการย่อยสลายโภชนะในอาหารของโคให้นมปานกลาง

4.2 อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

4.2.1 ศึกษาผลการตอบสนองด้านผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบในน้ำนม การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวและการกินได้ของโคให้นมปานกลาง

แผนการทดลอง

จัดการทดลองแบบ 2 x 2 Factorial และจัดกลุ่มการทดลองแบบ Stratified Random Balance Groupโดยมี 2 ปัจจัย ดังนี้

ปัจจัย A เป็นโภชนะพลังงาน มี 2 ระดับ คือ พลังงาน 90% และ 100% NRC

ปัจจัย B เป็นโภชนะโปรตีน มี 2 ระดับ คือ โปรตีน 90% และ 100% NRC

ประกอบด้วยอาหารทดลอง 4 กลุ่มการทดลอง ดังนี้

กลุ่มการทดลองที่ 1 คือ อาหารที่มีพลังงาน 90% NRC โปรตีน 90% NRC

กลุ่มการทดลองที่ 2 คือ อาหารที่มีพลังงาน 90% NRC โปรตีน 100% NRC

กลุ่มการทดลองที่ 3 คือ อาหารที่มีพลังงาน 100% NRC โปรตีน 90% NRC

กลุ่มการทดลองที่ 4 คือ อาหารที่มีพลังงาน 100% NRC โปรตีน 100% NRC

สัตว์ทดลอง

ใช้โครีดนมลูกผสมโฮลสไตลน์ฟรีเชี่ยน (Holstein Friesian) เลือด 87.5 เปอร์เซ็นต์ ที่ให้นมในช่วงต้นระยะการให้นม จำนวน 24 ตัว แบ่งเป็น 4 กลุ่ม ดังตารางที่ 4.1 ที่มีคุณสมบัติของโคในแต่ละกลุ่มมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน กลุ่มละ 6 ตัว แล้วจับฉลากสุ่มกลุ่มการทดลองให้กับโคทั้ง 4 กลุ่ม

ตารางที่ 4.1 แสดงคุณสมบัติของโคในแต่ละกลุ่ม

เกณฑ์ที่ใช้ในการจัดกลุ่มโค	กลุ่ม			
	1	**2**	**3**	**4**
ปริมาณน้ำนมเฉลี่ย(กิโลกรัมต่อวัน)	19.2 ± 1.3	19.2 ± 1.4	19.0 ± 1.6	19.0 ± 1.5
ระยะให้นมเฉลี่ย	4.0 ± 0.5	3.7 ± 0.6	3.8 ± 0.5	3.3 ± 0.5
ระยะเวลาการให้นมเฉลี่ย (วัน)	96 ± 5.8	99 ± 9.1	95 ± 11.2	97 ± 8.7
อายุเฉลี่ย (ปี)	6.5 ± 0.6	5.8 ± 0.8	5.3 ± 0.6	5.7 ± 0.8
น้ำหนักตัวเฉลี่ย (กิโลกรัม)	439 ± 15.4	438 ± 19.3	428 ± 20.1	425 ± 28

อาหารทดลอง

อาหารที่ให้โคในการทดลองอยู่ในรูปอาหารรวมที่มีโภชนะต่างๆ ครบถ้วนยกเว้นพลังงานและโปรตีนที่ผันแปรตามกลุ่มการทดลองที่กำหนด วัตถุดิบอาหารสัตว์ในสูตรอาหารรวมประกอบด้วย ชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพด้วย 6%NaOH (DM basis) ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง และไวตามินแร่ธาตุ ในวัตถุดิบแต่ละชนิดมีองค์ประกอบทางเคมีดังตารางที่ 4.2

การคำนวณสูตรอาหารได้คำนวณตามความต้องการของโคเป็นรายตัว คำนวณสูตรอาหารโดยใช้ worksheet XRATION (ปรับปรุงจาก สมคิด พรหมมา โดย วิศิษฐิพร; Microsoft excel) และใช้ข้อมูล ปริมาณน้ำนม เปอร์เซ็นต์ไขมันนม อายุ และระยะการให้นมของโคเป็นข้อมูลในการคำนวณ การปรับโภชนะในสูตรอาหารใช้กากถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบในการปรับโปรตีน ส่วนพลังงานใช้ข้าวโพดบดเป็นวัตถุดิบในการปรับ สำหรับโภชนะตัวอื่นนอกเหนือจากนี้ใช้เท่ากัน อาหารรวมที่ใช้ในการทดลองที่ 1 มีองค์ประกอบทางเคมี ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่นำมาประกอบสูตรอาหาร

อาหารสัตว์ (เปอร์เซ็นต์)	ชานอ้อย[1/]	กากถั่วเหลือง	ข้าวโพดบด	ไวตามินแร่ธาตุ[2/]
วัตถุแห้ง	61.09	91.26	91.19	88.00
โปรตีน	1.10	46.69	8.35	-
ไขมัน	1.11	1.57	4.28	-
เยื่อใย	41.55	6.91	4.52	-
ADF	51.46	4.65	2.77	-
NDF	73.29	13.42	17.39	-
ADL	9.91	1.38	1.36	-
TDN	50.00	80.00	85.00	-

หมายเหตุ [1/] หมายถึง ชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์

[2/] หมายถึง ไวตามินแร่ธาตุต่อ 1 กิโลกรัม ประกอบด้วย ทองแดง 100 มิลลิกรัม, แมงกานีส 6.4 กรัม, สังกะสี 3 กรัม, โคบอลต์ 60 มิลลิกรัม, ไอโอดีน 3.04 มิลลิกรัม, ซีลีเนียม 0.5 มิลลิกรัม, แมกนีเซียม 8 มิลลิกรัม, โซแดียม 150 กรัม, แคลเซียม 248.07 กรัม, ฟอสฟอรัส 20.88 กรัม, ซัลเฟอร์ 20 กรัม และสื่อเติมจนครบ 1 กิโลกรัม

วิธีการทดลอง

(1) ระยะก่อนการทดลองหรือระยะปรับตัว (Pre-experimental or adjustment period) โคแต่ละตัวถูกเลี้ยงในโรงเรือนพื้นคอนกรีต หลังคาสังกะสี โดยผูกยืนโรงรายตัว มีรางอาหารเฉพาะตัว ใช้อ่างน้ำอัตโนมัติ 2 ตัวต่ออ่าง การให้อาหารให้ตามความต้องการของโคเท่ากับ NRC แนะนำ เป็นเวลา 7 วัน โดยให้อาหารวันละ 2 ครั้ง ในเวลา 06.00 น. และ 16.00 น. มีน้ำให้กินตลอดเวลา

(2) ในช่วงการทดลอง (Measurement period) ใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงโค 4 สัปดาห์ มีการคำนวณสูตรอาหารใหม่ทุกสัปดาห์ เพื่อให้โคได้รับอาหารที่มีโภชนะตามความต้องการในเวลานั้นจริง คำนวณสูตรอาหารแต่ละสัปดาห์โดยใช้ข้อมูลการให้นม 6 วัน ของโครายตัวในสัปดาห์ที่ผ่านมา การให้อาหารให้ตามกลุ่มการทดลองแบ่งเป็น 2 เวลา เหมือนกับช่วงปรับตัว

การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง

(1) เก็บตัวอย่างน้ำนม

สุ่มเก็บตัวอย่างน้ำนมทุกสัปดาห์ๆ ละครั้ง โดยเก็บน้ำนมเย็นต่อเช้าในอัตราส่วน

40 ต่อ 60 เปอร์เซ็นต์ ใส่ในขวดสีชาพร้อมฝาปิดซึ่งมีขนาดบรรจุ 80 มิลลิลิตร แล้วนำไปวิเคราะห์หา ไขมันนมด้วยวิธีเกอร์เบอร์ [Gerber's method] (Association of Official Analytical Chemists; AOAC, 1990) โปรตีนในน้ำนมโดยเครื่องเคเจลเทค (Kjeltec Auto Sampler System) ส่วนของแข็งในน้ำนมและของแข็งพร่องในไขมันอบในตู้อบโดยใช้อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 36 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารรวมที่ใช้เป็นอาหารในการทดลองที่ 1

กลุ่มการทดลอง	**1**	**2**	**3**	**4**
ระดับพลังงาน (E)	**90%NRC**		**100 %NRC**	
ระดับโปรตีน (P)	**90%NRC**	**100%NRC**	**90%NRC**	**100%NRC**
	---------- เปอร์เซ็นต์ ----------			
องค์ประกอบในอาหาร *				
วัตถุแห้ง	72.40	72.80	73.30	73.60
โปรตีน	13.92	14.76	13.95	14.77
ไขมัน	1.92	1.89	2.06	2.03
เยื่อใย	24.21	24.55	23.29	23.11
ADF	28.84	28.37	27.19	26.95
NDF	45.70	45.05	43.86	43.51
TDN	63.14	62.77	64.42	64.60

หมายเหตุ * หมายถึง วัตถุดิบที่นำไปวิเคราะห์ได้มาจากการเก็บตัวอย่าง 24 วัน ตลอดการ ทดลองแล้วจึงสุ่มตัวอย่าง (Sub sampling) วัตถุดิบไปทำการวิเคราะห์

(2) เก็บตัวอย่างอาหาร

สุ่มเก็บตัวอย่างวัตถุดิบก่อนกินทั้ง 3 ชนิด แยกกันทุกวัน เก็บชนิดละประมาณ 100 กรัมต่อวันยกเว้นอาหารหยาบชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพวันละ 500 กรัม เมื่อเก็บตัวอย่างครบสัปดาห์นำวัตถุดิบทั้ง 7 วันของแต่ละชนิดมารวมกัน (Pooled samples) แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 36 ชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์หาวัตถุแห้งเพราะฉะนั้นใน 1 สัปดาห์จะได้ตัวอย่างวัตถุดิบ 3 ตัวอย่าง หลังจากนั้นเก็บตัวอย่างไว้ในภาชนะบรรจุมิดชิด ยกเว้นวัตถุดิบชานอ้อยที่ต้องนำไปบดให้ขนาดเล็กลงโดยผ่านตะแกรง 1 มิลลิเมตร ก่อนที่จะนำไปเก็บในภาชนะบรรจุ เพื่อวิเคราะห์หาองค์

ประกอบทางเคมีอื่นๆ เมื่อครบ 4 สัปดาห์นำตัวอย่างที่เก็บได้ไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี ดังนี้ ใช้วิธีการวิเคราะห์แบบประมาณ (AOAC, 1990) กล่าวคือ ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆ ดังนี้ วิเคราะห์หาเถ้าโดยใช้ตู้อบแห้ง โปรตีนโดยใช้เครื่องเคเจลเทค ไขมันโดยใช้เครื่องซอกเลท (Soxlhet) และวิเคราะห์โดยใช้สารฟอก (Goering and Van Soest, 1970) เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆ ดังต่อไปนี้ CF, NDF, ADF และ ADL โดยใช้เครื่องไฟเบอร์เทค (Fibertec) และวิเคราะห์หา ADIN และ NDIN โดยใช้เครื่องเคเจลเทค

สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารรวมเหลือหลังกินรายตัวทุกวัน เมื่อเก็บตัวอย่างครบสัปดาห์ นำตัวอย่างอาหารรวมทั้ง 7 วันของโคแต่ละตัวมารวมกัน แล้วสุ่มเก็บตัวอย่างอาหาร (Sub sampling) ของแต่ละตัวให้ได้ประมาณ 1 กิโลกรัม แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 36 ชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์หาวัตถุแห้ง เมื่อได้ค่าวัตถุแห้งแล้วนำตัวอย่างอาหารไปบดผ่านตะแกรง 1 มิลลิเมตร และเก็บในภาชนะบรรจุ เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

การบันทึกข้อมูล

(1) บันทึกปริมาณการให้นมทุกวัน

(2) บันทึกปริมาณองค์ประกอบในน้ำนม ประกอบด้วย ปริมาณไขมันนม โปรตีนในนม ของแข็งพร่องไขมัน ของแข็งรวมในนม สัปดาห์ละครั้ง

(3) บันทึกเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบในน้ำนม ประกอบด้วย เปอร์เซ็นต์ไขมันนม โปรตีนในนม ของแข็งพร่องไขมัน ของแข็งรวมในนม สัปดาห์ละครั้ง

(4) บันทึกปริมาณอาหารก่อนกินทุกวัน และบันทึกผลการวิเคราะห์องค์ประกอบในอาหารก่อนกินสัปดาห์ละครั้ง ประกอบด้วย DM, Ash, CP, EE, CF, NDF, ADF, ADL, ADIN และ NDIN

(5) บันทึกปริมาณอาหารเหลือหลังกินทุกวัน และบันทึกผลการวิเคราะห์ DM และCP ในอาหารเหลือหลังกิน สัปดาห์ละครั้ง

(6) บันทึกข้อมูลน้ำหนักโคก่อนและหลังการทดลอง

4.2.2 ศึกษาการย่อยสลายของโภชนะในอาหารจากโคเจาะกระเพาะ

ในการศึกษาการย่อยสลายโภชนะในอาหารจากโคเจาะกระเพาะ ด้วยวิธีใช้ถุงไนล่อนแช่ในกระเพาะหมัก เรียก Nylon bag technique (Ørskov and Mehrez, 1977, Lindberg, 1985)

สัตว์ทดลอง

สัตว์ทดลองใช้โคนมลูกผสมโฮลสไตลน์ ฟรีเชี่ยนเพศเมียที่ได้รับการเจาะกระเพาะ

จำนวน 3 ตัว โดยโคมีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 481.9 ± 26.7 กิโลกรัมต่อตัว และอายุเฉลี่ย 98.3 ± 7.1 เดือน เลี้ยงในโรงเรือนแบบยืนโรงขังในคอกรายตัว

อาหารทดลอง

อาหารที่ให้เป็นอาหารรวมให้ตามความต้องการของโค ในอาหารรวมประกอบด้วย ชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพ ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง และไวตามินแร่ธาตุ การให้อาหารให้วันละ 2 ครั้ง เวลา 08.00 น. และ 16.00 น. มีน้ำให้กินตลอดเวลา โดยให้โคกินอาหารเพื่อปรับตัวเป็นเวลา 10 วัน ก่อนแล้วจึงทำการทดลอง

วิธีการทดลอง

(1) การเตรียมอุปกรณ์

ตัวอย่างอาหารที่ใช้ใส่ในถุงไนล่อนได้มาจากวัตถุดิบอาหารในการทดลองที่ 1 ที่เก็บตัวอย่างทุกวันตลอด 4 สัปดาห์ ประกอบด้วย ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง และชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพ โดยสุ่มตัวอย่างวัตถุดิบแต่ละชนิดมารวมกัน ชนิดละ 4 สัปดาห์ แล้วนำไปบดด้วยเครื่องบดตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร แล้วนำไปอบเพื่อไล่ความชื้น ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักถุงไนล่อน และน้ำหนักวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิด ใส่ในถุงไนล่อนประมาณ 3-5 กรัม หลังจากนั้นนำถุงที่ใส่ตัวอย่างอาหารไปมัดติดกับสายพลาสติก

(2) การทดลองในโคเจาะกระเพาะ

นำถุงใส่ตัวอย่างอาหารที่มัดติดกับสายพลาสติกไปใส่ในกระเพาะหมักของโคเจาะกระเพาะ โดยให้สายพลาสติกอยู่ในส่วนที่ลึกที่สุดของกระเพาะหมัก และให้แต่ละถุงมีระยะเวลาแช่อยู่ในกระเพาะหมักเพื่อศึกษาการย่อยได้ที่เวลาต่างๆ คือ ชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพที่เวลา 0, 6, 12, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง ตามลำดับ ส่วนข้าวโพดบดและกากถั่วเหลืองที่เวลา 0, 2, 4, 6, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ เมื่อครบเวลาที่กำหนดนำถุงไนล่อนออก หลังจากนั้นนำถุงไนล่อนมาล้างด้วยน้ำสะอาด แล้วนำไปแช่เย็นเพื่อหยุดการทำงานของจุลินทรีย์ เมื่อได้ถุงไนล่อนครบทั้งหมดแล้วนำไปล้างในเครื่องซักผ้าเป็นเวลา 15 นาที จำนวน 3 ครั้ง โดยปล่อยให้น้ำไหลตลอดเวลา จนน้ำใสและถุงสะอาด และปั่นให้แห้ง แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำตัวอย่างอาหารที่เหลือมาเก็บในภาชนะบรรจุเพื่อนำไปวิเคราะห์ผลต่อไป

การวิเคราะห์ตัวอย่าง

นำตัวอย่างอาหารที่เก็บไว้ไปวิเคราะห์หาปริมาณวัตถุแห้งและโปรตีนรวม เพื่อนำ

ไปใช้ในการหาค่าการย่อยสลายของโปรตีน โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Curve fitting ในวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิด แล้วนำมาหาค่าการย่อยสลายของโปรตีนในอาหารรวม

4.3 การวิเคราะห์สถิติ

ข้อมูลด้านการผลิตประกอบด้วย ปริมาณน้ำนม องค์ประกอบในน้ำนม น้ำหนักตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลอง น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง และการกินได้ นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) แบบ 2 x 2 factorial โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS

4.4 ผลการทดลอง

4.4.1 การกินได้ของพลังงานและโปรตีนรวม

จากข้อมูลในตารางที่ 4.4 การกินได้ของวัตถุแห้ง โภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด และโปรตีนรวม พบว่า ทั้ง 4 กลุ่มการทดลอง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและโปรตีน ($p>0.05$)

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการกินได้วัตถุแห้ง (กิโลกรัม/วัน) พลังงาน (kgTDN/day) และโปรตีนรวม (กรัม/วัน) ของโคนมในการทดลองที่ 1

กลุ่มการทดลอง	1	2	3	4	SEM	E	P	E*P
ระดับพลังงาน (E)	90%NRC		100%NRC					
ระดับโปรตีน (P)	90% NRC	100% NRC	90% NRC	100% NRC				
						---------- p ----------		
การกินได้								
วัตถุแห้ง	13.50	13.87	14.03	14.12	0.80	0.497	0.695	0.805
โภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด	8.37	8.64	8.91	9.01	0.32	0.324	0.677	0.856
โปรตีนรวม	1,890	2,045	1,965	2,092	79.24	0.594	0.225	0.900

หมายเหตุ E*P หมายถึง ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและโปรตีน

p หมายถึง Probability

4.4.2 ผลผลิตน้ำนม (Milk production)

จากข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 4.5 พบว่า โคในกลุ่มที่ได้รับอาหารพลังงาน 90% NRC มีปริมาณน้ำนม ปริมาณโปรตีนในนม ปริมาณของแข็งพร่องไขมันและปริมาณของแข็งรวมในนมมีแนวโน้มต่ำกว่า โคกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีพลังงาน 100%NRC โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและโปรตีน ($p>0.05$) ส่วนโคกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีน 90%NRC มีแนวโน้มปริมาณน้ำนมและปริมาณโปรตีนในนม สูงกว่าโคกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีน 100%NRC โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและโปรตีน ($p>0.05$) สำหรับปริมาณไขมันทั้ง 4 กลุ่มการทดลอง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและโปรตีน ($p>0.05$) แต่พบว่าปริมาณไขมันนมในโคกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีน 90%NRC มีแนวโน้มสูงกว่าโคกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีน 100%NRC

ตารางที่ 4.5 แสดงผลผลิตน้ำนม (กิโลกรัมต่อวัน) และองค์ประกอบในน้ำนม (กรัมต่อวัน)

กลุ่มการทดลอง	1	2	3	4	SEM	E	P	E*P
ระดับพลังงาน (E)	90% NRC		100% NRC					
ระดับโปรตีน (P)	90% NRC	100% NRC	90% NRC	100% NRC		---------- p ----------		
ปริมาณผลผลิต								
น้ำนม	13.2	12.8	14.4	13.7	1.54	0.332	0.598	0.916
ไขมันนม	583	531	580	571	64	0.678	0.516	0.681
โปรตีนในน้ำนม	416	399	439	434	42	0.365	0.636	0.956
ของแข็งพร่องในไขมัน	1,117	1,120	1,202	1,233	135	0.456	0.894	0.647
ปริมาณของแข็งรวมในนม	1,754	1,654	1,781	1,804	197	0.514	0.753	0.650

หมายเหตุ E*P หมายถึง ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและโปรตีน
p หมายถึง Probability

4.4.3 องค์ประกอบในน้ำนม (Milk composition)

จากข้อมูลเปอร์เซ็นต์ไขมันนมและเปอร์เซ็นต์โปรตีนที่แสดงไว้ในตาราง 4.6 พบ

ว่าทั้ง 4 กลุ่มการทดลอง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและโปรตีน ($p>0.05$)

สำหรับเปอร์เซ็นต์ของแข็งพร่องในไขมันและเปอร์เซ็นต์ของแข็งรวมในน้ำนม พบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและโปรตีนในอาหารต่อเปอร์เซ็นต์ของแข็งพร่องไขมันและเปอร์เซ็นต์ของแข็งรวมในนม ($p<0.05$) กล่าวคือที่ระดับพลังงาน 90%NRC เปอร์เซ็นต์ของแข็งพร่องในไขมันและเปอร์เซ็นต์ของแข็งรวมในนมลดลงเมื่อระดับโปรตีนเพิ่มเป็น 100%NRC แต่ในทางตรงกันข้ามที่ระดับพลังงาน 100%NRC กลับพบว่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งพร่องในไขมันและเปอร์เซ็นต์ของแข็งรวมในนมเพิ่มขึ้นเมื่อระดับโปรตีนเพิ่มเป็น 100%NRC

ตารางที่ 4.6 แสดงผลองค์ประกอบที่สำคัญในน้ำนม (เปอร์เซ็นต์)

กลุ่มการทดลอง	1	2	3	4	SEM	E	P	E*P
ระดับพลังงาน (E)	90% NRC		100 %NRC					
ระดับโปรตีน (P)	90% NRC	100% NRC	90% NRC	100% NRC		---------- p ----------		
องค์ประกอบในน้ำนม								
%ไขมัน	4.42	4.15	4.03	4.17	0.20	0.211	0.643	0.174
%โปรตีน	3.15	3.12	3.05	3.17	0.15	0.817	0.701	0.491
%ของแข็งพร่องไขมัน	8.92	8.75	8.35	9.00	0.23	0.352	0.162	0.023
%ของแข็งรวมในน้ำนม	13.32	12.92	12.37	13.17	0.30	0.116	0.359	0.011

หมายเหตุ E*P หมายถึง ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและโปรตีน

p หมายถึง Probability

4.4.4 น้ำหนักตัว (Body weight)

น้ำหนักตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลองและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง (ตารางที่ 4.7) พบว่าทั้ง 4 กลุ่มการทดลอง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและโปรตีน ($p>0.05$)

ตารางที่ 4.7 แสดงผลน้ำหนักตัว (กิโลกรัม) และน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง (กรัมต่อวัน)

กลุ่มการทดลอง	1	2	3	4	SEM	E	P	E*P
ระดับพลังงาน (E)	90% NRC		100 %NRC					
ระดับโปรตีน (P)	90% NRC	100% NRC	90% NRC	100% NRC		---------- p ----------		
น้ำหนักตัว								
เมื่อสิ้นสุดการทดลอง	444	437	423	431	27.9	0.512	0.980	0.714
น้ำหนักตัวเปลี่ยนแปลง	+161	-36	-57	+119	268	0.876	0.950	0.343

หมายเหตุ E*P หมายถึง ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและโปรตีน
p หมายถึง Probability

4.4.5 ผลต่อการย่อยสลายโภชนะ (Effective rumen degradability, *dg*)

นำตัวอย่างอาหารที่เก็บไว้ไปวิเคราะห์หาปริมาณวัตถุแห้งและโปรตีน เพื่อหาค่าสัดส่วนโปรตีนที่สูญหายไป แล้วนำไปคำนวณหาค่าการย่อยสลายของโปรตีนในกระเพาะหมักของวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิด ได้ค่า *dg* ดังนี้

จากสูตร $dg = a + (bc/(c+k))$

เมื่อ dg = effective rumen degradability
k = fractional outflow rate of digesta per hour

ค่า fractional outflow rate (k) ขึ้นอยู่กับระดับการกินอาหารของสัตว์ โดยโคในการทดลองได้รับอาหารผสมระหว่างอาหารข้นและอาหารหยาบในระดับเพื่อดำรงชีพ (Maintenance) ค่า k ที่ใช้คือ 0.05 ต่อชั่วโมง แล้วนำค่า *dg* ของวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิด คือ ชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ กากถั่วเหลือง และข้าวโพดบด (0.50, 0.73 และ 0.49) ไปคำนวณหาค่าการย่อยสลายของโปรตีนทั้ง 4 กลุ่มการทดลอง ได้ผลดังตาราง 4.8 แล้วนำค่าการย่อยสลายของโปรตีนไปคำนวณค่าโปรตีนที่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (Rumen degradable protein, RDP) และค่า

โปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (Undegradable protein, UDP) ของอาหาร TMR ในแต่ละกลุ่มการทดลอง

ค่า fractional outflow rate (k) ขึ้นอยู่กับระดับการกินอาหารของสัตว์ โดยโคในการทดลองได้รับอาหารผสมระหว่างอาหารข้นและอาหารหยาบในระดับเพื่อดำรงชีพ (Maintenance) ค่า k ที่ใช้คือ 0.05 ต่อชั่วโมง แล้วนำค่า dg ของวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิด คือ ชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ กากถั่วเหลือง และข้าวโพดบด (0.50, 0.73 และ 0.49) ไปคำนวณหาค่าย่อยสลายโภชนะในอาหาร TMR ทั้ง 4 กลุ่มการทดลอง ได้ค่า dg คือ 0.68, 0.66, 0.68 และ 0.67 ตามลำดับ ซึ่งข้อมูลนี้ได้นำไปใช้ในการประมาณค่าโปรตีนที่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (Rumen degradable protein, RDP) และค่าประมาณโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (Undegradable protein, UDP) ของอาหารในแต่ละกลุ่มการทดลอง

4.5 วิจารณ์ผลการทดลอง

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารรวม

จากการวิจัยครั้งนี้พบว่าอาหารรวมที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยวัตถุดิบ 4 ชนิด คือ ชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพด้วย 6%NaOH กากถั่วเหลือง ข้าวโพดบด และไวตามินแร่ธาตุ ในอาหารรวมทั้ง 4 กลุ่มการทดลองนั้น มีองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ เปอร์เซ็นต์ DM ของอาหารรวมทั้ง 4 สูตร มีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับเปอร์เซ็นต์ CP ในอาหารรวมถึงแม้ว่าในอาหารทั้ง 4 สูตรจะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่พบว่า CP นั้นต่ำกว่าที่ NRC (1988) แนะนำไว้ (15 เปอร์เซ็นต์) ส่วนไขมันในอาหาร พบว่ามีค่าต่ำกว่าที่ NRC (1988) แนะนำไว้เช่นเดียวกัน กล่าวคือปกติในสูตรอาหารควรมีไขมันประมาณ 3 ถึง 4 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามเปอร์เซ็นต์ไขมันในอาหารรวมทั้ง 4 สูตร มีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากในการคำนวณสูตรอาหารคำนึงถึงค่าของโภชนะโปรตีนและพลังงานเป็นหลัก เพื่อให้ได้ตามกลุ่มการทดลองที่กำหนด นอกจากนั้นชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพเป็นวัตถุดิบที่มีไขมันต่ำเช่นเดียวกับในกากถั่วเหลืองที่ผ่านการสกัดน้ำมันมาแล้ว ในส่วนของ CF ADF และ NDF ในอาหารรวมนั้น NRC (1988) แนะนำไว้ไม่ควรน้อยกว่า 17, 21 และ 28 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่พบว่าทั้ง 4 กลุ่มการทดลอง มีค่าดังกล่าวสูงกว่าที่ NRC แนะนำ อย่างไรก็ตามในสูตรอาหารทั้ง 4 สูตร ก็มีค่า CF ADF และ NDF ใกล้เคียงกัน สำหรับ TDN ในอาหารรวม พบว่าต่ำกว่าที่ NRC (1988) แนะนำไว้ ที่ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามในสูตรอาหารทั้ง 4 สูตร ก็มีค่า TDN ใกล้เคียงกัน เนื่องจากอาหารสัตว์ในเขตร้อนมีการย่อยได้ที่แตกต่างจากเขตอบอุ่น กล่าวคือในเขตร้อนการย่อยได้มีค่าน้อยกว่าเขตอบอุ่นเนื่องจากอาหารหยาบคุณภาพต่ำกว่า

การกินได้ของโภชนะ

การกินได้ของวัตถุแห้งพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ระหว่างโคทั้ง 4 กลุ่มการทดลอง แต่มีแนวโน้มว่าโคกลุ่มที่ได้รับพลังงาน 100%NRC มีค่าการกินได้วัตถุแห้งสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับพลังงาน 90%NRC ของทั้งสองระดับโปรตีน ซึ่งสัมพันธ์กับการกินได้ของโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด คือ พบว่าในกลุ่มที่ได้รับพลังงาน 100%NRC ทั้งสองระดับโปรตีนมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับพลังงาน 90%NRC เช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากในสูตรอาหารกำหนดระดับโภชนะเพื่อให้ได้โภชนะตามกลุ่มการทดลองที่กำหนด โดยกำหนดให้ปริมาณของชานอ้อยและไวตามินแร่ธาตุคงที่ ส่วนกากถั่วเหลืองและข้าวโพดบดที่เป็นวัตถุดิบอาหารข้นที่ย่อยได้ง่ายนั้นใช้เป็นตัวปรับพลังงานและโปรตีนในสูตรอาหาร ดังนั้นในสูตรอาหารที่มีสัดส่วนของกากถั่วเหลืองและข้าวโพดบดมาก ทำให้อาหารสามารถย่อยได้เร็วขึ้น อัตราการหมักย่อย (Digestion rate) จึงเกิดขึ้นเร็ว ระยะเวลาที่อาหารถูกเก็บกักในกระเพาะหมัก (Retention time) ลดลง อัตราการไหลผ่าน (Passage of rate) ของอาหารในกระเพาะหมักเร็วขึ้น การกินได้จึงเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นวัตถุดิบในการประกอบสูตรอาหารรวม ไม่ว่าจะเป็นชานอ้อยมีชิ้นขนาดเล็ก กากถั่วเหลืองที่ผ่านกรรมวิธีการสกัดน้ำมัน ข้าวโพดบดที่มีขนาดเล็กและไวตามินแร่ธาตุที่มีลักษณะเป็นผง ทำให้อาหารมีลักษณะละเอียด เมื่อโคกินเข้าจึงมีผลทำให้อัตราการไหลผ่านของ digesta จากกระเพาะหมักเร็วขึ้น การกินได้จึงมากขึ้น สำหรับการกินได้ของโปรตีน พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ระหว่างโคทั้ง 4 กลุ่มการทดลอง แต่มีแนวโน้มของการกินได้ของโปรตีนในกลุ่มที่ได้รับโปรตีน 100%NRC สูงกว่ากลุ่มที่ได้รับโปรตีน 90%NRC ของทั้งสองระดับพลังงานซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการที่โคได้รับโปรตีนน้อยมีผลต่อการย่อยได้ของพลังงานและทำให้การกินได้ลดลง ในอาหารที่มีโปรตีนน้อยจะมีปริมาณไนโตรเจนต่ำ ทำให้การกินได้ของโคถูกจำกัดเพราะกิจกรรมของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนลดลง จากการทดลองของ Moe และ Tyrrel (1972) ที่อ้างถึงในเมธา (2533) กล่าวว่าการเพิ่มระดับโปรตีนในอาหารที่มีพลังงานเท่ากันการย่อยได้ของโปรตีนและพลังงานจะลดต่ำลงในสูตรอาหารที่มีโปรตีนต่ำ ระดับพลังงานสุทธิและประสิทธิภาพการใช้พลังงานก็ต่ำด้วย ซึ่งอาจเป็นเพราะการย่อยได้ต่ำเป็นสาเหตุ

ผลผลิตน้ำนม

การตอบสนองของผลผลิตน้ำนมต่อระดับพลังงานและโปรตีนพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อพิจารณาโคในกลุ่มที่ได้รับพลังงาน 100%NRC มีแนวโน้มให้ผลผลิตน้ำนมสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับพลังงาน 90%NRC ของทั้งสองระดับโปรตีน เนื่องจากโคในกลุ่มที่ได้รับพลังงาน 100%NRC มีแนวโน้มการกินได้ของโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมดมากกว่าซึ่ง

แสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำนมมีการตอบสนองต่อระดับพลังงานมากกว่าโปรตีน โดยเฉพาะโคในกลุ่มที่ได้รับพลังงาน 100%NRC โปรตีน 90%NRC มีปริมาณน้ำนมสูงกว่าในกลุ่มการทดลองอื่น ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักใช้พลังงานจากกลูโคสจึงไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานจากการสังเคราะห์โปรตีน ทำให้มีโปรตีนไหลผ่านกระเพาะหมักมากขึ้นโคจึงได้รับกรดอะมิโนจากโปรตีนมากขึ้น มีผลทำให้ปริมาณการผลิตน้ำนมมากขึ้นส่วนเปอร์เซ็นต์ไขมันและโปรตีนในนมไม่ลดลงเพราะจุลินทรีย์ใช้กลูโคสเป็นแหล่งพลังงานทำให้ผลิตกรดไขมันระเหยได้มากขึ้น นอกจากนี้สัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้นก็เป็นสาเหตุที่ทำให้ผลผลิตน้ำนมลดลงได้เช่นกัน ดังการทดลองของ Gaynor et al. (1995) ที่ทดลองอาหาร 2 สูตร คือ กลุ่มควบคุม (อาหารหยาบต่ออาหารข้น; 60:40) และกลุ่มที่ได้รับพลังงานสูง (อาหารหยาบต่ออาหารข้น; 20:80) พบว่าในโคที่มีอัตราการเจริญเติบโต 725 กรัมต่อวัน มีปริมาณน้ำนมในกลุ่มที่ได้รับพลังงานสูงสูงกว่ากลุ่มควบ (25.3 และ 23.5 กิโลกรัมต่อวัน) และในโคที่มีอัตราการเจริญเติบโต 950 กรัมต่อวัน พบว่าปริมาณน้ำนมในกลุ่มที่ได้รับพลังงานสูงสูงกว่ากลุ่มควบคุมเช่นกัน (23.6 และ 22.4 กิโลกรัมต่อวัน) แต่อย่างไรก็ตามในการทดลองของ Vicini et al. (1995) และ Capuco et al. (1989) พบว่าระดับพลังงานและโปรตีนไม่มีผลต่อผลผลิตน้ำนม ในกลุ่มที่ได้รับพลังงาน 90%NRC ของทั้งสองระดับโปรตีน โภชนะพลังงานในอาหารอาจไม่เพียงพอกับความต้องการในการใช้ผลิตน้ำนม เนื่องจากโภชนะในอาหารที่มีพลังงานต่ำนั้นมีผลทำให้ประสิทธิภาพการผลิตน้ำนมลดลง กล่าวคือในการผลิตน้ำนมนั้นใช้กลูโคสเป็นสารตั้งต้น ถ้ามีปริมาณโปรตีนในอาหารมากจะทำให้จุลินทรีย์ที่ย่อยสลายโปรตีนต้องใช้พลังงานส่วนหนึ่งที่ได้จากกลูโคสไปในการสังเคราะห์โปรตีนมีผลทำให้ผลผลิตน้ำนมมีปริมาณลดลง

องค์ประกอบที่สำคัญในน้ำนม

เปอร์เซ็นต์ไขมัน โปรตีน ของแข็งพร่องไขมันและของแข็งรวมในน้ำนมของโคทั้ง 4 กลุ่มการทดลอง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและโปรตีน ยกเว้นเปอร์เซ็นต์ของของแข็งพร่องไขมันและของแข็งของรวมในนมที่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและโปรตีน ($p<0.05$ และ $p<0.05$ตามลำดับ) โดยพบว่าที่พลังงาน 90%NRC โปรตีน 100%NRC เปอร์เซ็นต์ของแข็งพร่องไขมันและของแข็งรวมในน้ำนมลดลง แต่เมื่อพลังงานเพิ่มเป็น 100%NRC กลับพบว่า เปอร์เซ็นต์ของแข็งพร่องไขมันและของแข็งรวมในน้ำนมเพิ่มขึ้นในกลุ่มโปรตีน 100%NRC

น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง

ผลของโภชนะพลังงานและโปรตีนต่อน้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง เมื่อสิ้นสุดการทดลองของโคพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ของโคทั้ง 4 กลุ่มการทดลอง เนื่องจากการกินได้และโภชนะที่ย่อยได้ของโคทั้ง 4 กลุ่มการทดลอง มีค่าใกล้เคียงกัน ดังการทดลองของ Pirlo et al. (1997) ที่พบว่าโภชนะพลังงานและโปรตีนในอาหารไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของโคที่กำลังให้นม

4.6 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาผลของอาหารที่มีพลังงาน 2 ระดับ คือ ระดับพลังงานที่ 90% และ100% NRC (1988) ร่วมกับอาหารที่มีโปรตีน 2 ระดับ คือ ระดับโปรตีนที่ 90% และ 100%NRC (1988) ต่อการกินได้ การผลิตน้ำนม ส่วนประกอบในน้ำนม น้ำหนักตัว และการย่อยสลายของโภชนะในอาหารรวมของโคที่ให้นมปานกลาง จากผลการทดลองสรุปได้ว่า

(1) การกินได้ของวัตถุแห้ง โภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมดและโปรตีนรวมในกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีพลังงานและโปรตีน 90%NRC (1988) และกลุ่มที่ได้รับ 100%NRC (1988) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

(2) ปริมาณน้ำนม ปริมาณไขมันนม ปริมาณโปรตีนในนม ปริมาณของแข็งพร่องไขมันนม และปริมาณของแข็งรวมในนม ในกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีพลังงานและโปรตีน 90% NRC (1988) และกลุ่มที่ได้รับ 100%NRC (1988) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

(3) พบว่ามีปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ระหว่างพลังงานและโปรตีนต่อเปอร์เซ็นต์ของแข็งพร่องไขมันนม($p<0.05$) และเปอร์เซ็นต์ของแข็งรวมในนม ($p<0.05$) กล่าวคือเปอร์เซ็นต์ของแข็งพร่องไขมันนมและของแข็งรวมในนมในระดับพลังงาน 90%NRC (1988) ลดลงเมื่อระดับโปรตีนเพิ่มเป็น 100%NRC (1988) แต่ที่ระดับพลังงาน 100%NRC (1988) ให้ผลตรงกันข้าม คือ เปอร์เซ็นต์ของแข็งพร่องไขมันนมและของแข็งรวมในนมกลับเพิ่มขึ้นเมื่อระดับโปรตีนเป็น 100%NRC (1988)

(4) น้ำหนักตัวหลังการทดลองและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง ในกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีพลังงานและโปรตีน 90%NRC (1988) และกลุ่มที่ได้รับ 100%NRC (1988) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากผลการทดลองที่ 1 สรุปได้ว่าความต้องการพลังงานของโคนมที่ให้นมปานกลางเท่ากับ 100%NRC (1988) และความต้องการโปรตีนของโคให้นมปานต่ำกว่า 100%NRC (1988)

บทที่ 5
การศึกษาความต้องการพลังงานและโปรตีนที่ระดับ 100 และ 110 เปอร์เซ็นต์ NRC

5.1 วัตถุประสงค์

(1) เพื่อศึกษาถึงผลของความต้องการพลังงานและโปรตีนที่ระดับ 100 % และ 110% NRC ที่ตอบสนองต่อการให้นม องค์ประกอบในน้ำนม การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว การกินได้และการย่อยสลายโภชนะในอาหารของโคให้นมปานกลาง

(2) เพื่อศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและโปรตีนที่ระดับ 100% และ 110%NRC ต่อการตอบสนองด้านการให้นม องค์ประกอบในน้ำนม การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว การกินได้และการย่อยสลายโภชนะในอาหารของโคให้นมปานกลาง

5.2 อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

5.2.1 ศึกษาผลการตอบสนองด้านการให้นม องค์ประกอบในน้ำนม การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวและการกินได้ของโคให้นมปานกลาง

แผนการทดลอง

จัดการทดลองแบบ 2 x 2 Factorial และจัดกลุ่มการทดลองแบบ Stratified Random Balance Group โดยมี 2 ปัจจัย ดังนี้

ปัจจัย A เป็นโภชนะพลังงาน มี 2 ระดับ คือ พลังงาน 100% และ 110% NRC
ปัจจัย B เป็นโภชนะโปรตีน มี 2 ระดับ คือ โปรตีน 100% และ 110% NRC

ประกอบด้วยอาหารทดลอง 4 กลุ่มการทดลอง ดังนี้

กลุ่มการทดลองที่ 1 คือ อาหารที่มีพลังงาน 100% NRC โปรตีน 100% NRC
กลุ่มการทดลองที่ 2 คือ อาหารที่มีพลังงาน 100% NRC โปรตีน 110% NRC
กลุ่มการทดลองที่ 3 คือ อาหารที่มีพลังงาน 110% NRC โปรตีน 100% NRC
กลุ่มการทดลองที่ 4 คือ อาหารที่มีพลังงาน 110% NRC โปรตีน 110% NRC

สัตว์ทดลอง

ใช้โครีดนมลูกผสมโฮลสไตลน์ฟรีเชี่ยน (Holstein Friesian) เลือด 87.5 เปอร์เซ็นต์ ที่ให้นมในช่วงต้นระยะการให้นม จำนวน 24 ตัว แบ่งเป็น 4 กลุ่ม ดังตารางที่ 5.1 ที่มีคุณสมบัติของโคในแต่ละกลุ่มมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน กลุ่มละ 6 ตัว แล้วจับฉลากสุ่มกลุ่มการทดลองให้กับโคทั้ง 4 กลุ่ม

ตารางที่ 5.1 แสดงคุณสมบัติของโคในแต่ละกลุ่ม

เกณฑ์ที่ใช้ในการจัดกลุ่มโค	กลุ่ม			
	1	2	3	4
ปริมาณน้ำนมเฉลี่ย(กิโลกรัมต่อวัน)	11.4 ± 0.9	11.3 ± 0.6	11.3 ± 0.9	11.3 ± 0.7
ระยะการรีดนมเฉลี่ย	3.3 ± 0.3	3.5 ± 0.6	4.0 ± 0.5	3.3 ± 0.5
ระยะเวลาการให้นมเฉลี่ย (วัน)	101± 7.1	93 ± 11.7	101 ± 9.4	89 ± 3.4
อายุเฉลี่ย (ปี)	6.2 ± 0.7	6.3 ± 0.6	6.2 ± 0.6	5.4 ± 0.7
น้ำหนักตัวเฉลี่ย (กิโลกรัม)	452 ± 22.2	432.± 20.5	418 ± 11.4	429 ± 21.0

อาหารทดลอง

อาหารทดลองเหมือนกับอาหารทดลองของ 4.2.1 ในบทที่ 4 ยกเว้นองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบแต่ละชนิดแสดงในตารางที่ 5.2

การคำนวณสูตรอาหารเหมือนกับการคำนวณของ 4.2.1 ในบทที่ 4 ยกเว้นอาหารรวมที่ใช้ในการทดลองที่ 2 มีองค์ประกอบทางเคมีของดังตารางที่ 5.3

การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง

การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างเหมือนกับ 4.2.1 ในบทที่ 4

วิธีการทดลอง

วิธีการทดลองเหมือนกับวิธีการทดลองของ 4.2.1 ในบทที่ 4

การเก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูลเหมือนกับการเก็บข้อมูลของ 4.2.1 ในบทที่ 4

ตารางที่ 5.2 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่นำมาประกอบสูตรอาหาร

อาหารสัตว์ (เปอร์เซ็นต์)	ชานอ้อย [1/]	กากถั่วเหลือง	ข้าวโพดบด	ไวตามินแร่ธาตุ [2/]
วัตถุแห้ง	71.04	92.02	91.42	88.00
โปรตีน	1.44	46.69	8.35	-
ไขมัน	0.52	1.26	4.08	-
เยื่อใย	38.96	6.64	3.93	-
ADF	51.07	3.25	3.60	-
NDF	73.26	9.88	21.98	-
ADL	9.87	1.43	1.17	-
TDN	50.00	80.00	85.00	-

หมายเหตุ [1/] หมายถึง ชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์

[2/] หมายถึง ไวตามินแร่ธาตุต่อ 1 กิโลกรัม ประกอบด้วย ทองแดง 100 มิลลิกรัม, แมงกานีส 6.4 กรัม, สังกะสี 3 กรัม, โคบอลต์ 60 มิลลิกรัม, ไอโอดีน 3.04 มิลลิกรัม, ซีลีเนียม 0.5 มิลลิกรัม, แมกนีเซียม 8 มิลลิกรัม, โซเดียม 150 กรัม, แคลเซียม 248.07 กรัม, ฟอสฟอรัส 20.88 กรัม, ซัลเฟอร์ 20 กรัม และสื่อเติมจนครบ 1 กิโลกรัม

5.2.2 ศึกษาการย่อยสลายของโภชนะในอาหารจากโคเจาะกระเพาะ

สัตว์ทดลอง

สัตว์ทดลองใช้โคนมลูกผสมโฮลสไตลน์ฟรีเชี่ยนเพศเมีย เลือด 87.5 เปอร์เซ็นต์ ที่ได้รับการเจาะกระเพาะจำนวน 3 ตัว โดยโคมีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 482 ± 26.7 กิโลกรัมต่อตัว และอายุเฉลี่ย 98.3 ± 7.1 เดือน เลี้ยงในโรงเรือนแบบยืนโรงขังในคอกรายตัว

อาหารทดลอง

อาหารที่ให้เป็นอาหารผสมให้ตามความต้องการของโค ในอาหารผสมประกอบด้วย ชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ ข้าวโพดบด กากถั่วเหลือง และไวตามินแร่ธาตุ

การให้อาหารให้วันละ 2 ครั้ง เวลา 08.00 น. และ 16.00 น. มีน้ำให้กินตลอดเวลา โดยให้โคกินอาหารเพื่อปรับตัวเป็นเวลา 10 วัน ก่อนแล้วจึงทำการทดลอง

วิธีการทดลอง

วิธีการทดลองเหมือนกับวิธีการของ 4.2.2 ในการทดลองที่ 4 ยกเว้น อาหารที่ใช้ใส่ในถุงไนล่อนได้มาจากวัตถุดิบอาหารในการทดลองที่ 2 ที่สุ่มจาก 4 สัปดาห์

การวิเคราะห์ตัวอย่าง

การวิเคราะห์ตัวอย่างเหมือนกับการวิเคราะห์ตัวอย่างของ 4.2.2 ในบทที่ 4

5.3 การวิเคราะห์สถิติ

การวิเคราะห์สถิติของเหมือนกับการวิเคราะห์สถิติของ 4.3 ในบทที่ 4

ตารางที่ 5.3 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารรวมที่ใช้เป็นอาหารในการทดลองที่ 2

กลุ่มการทดลอง	**1**	**2**	**3**	**4**
ระดับพลังงาน (E)	**100% NRC**		**110 %NRC**	
ระดับโปรตีน (P)	**100%NRC**	**110%NRC**	**100%NRC**	**110%NRC**
	---------- เปอร์เซ็นต์ ----------			
องค์ประกอบในอาหาร *				
วัตถุแห้ง	80.10	79.80	80.50	80.10
โปรตีน	13.97	15.34	13.10	14.20
ไขมัน	1.64	1.50	1.77	1.65
เยื่อใย	22.44	23.15	21.66	22.23
ADF	26.09	26.99	25.09	22.80
NDF	42.63	43.47	41.65	42.26
TDN	61.37	60.21	60.21	61.69

หมายเหตุ * หมายถึง วัตถุดิบที่นำไปวิเคราะห์ได้มาจากการเก็บตัวอย่าง 24 วัน ตลอดการทดลองแล้วจึงสุ่มตัวอย่าง (Sub sampling) วัตถุดิบไปทำการวิเคราะห์

5.4 ผลการทดลอง

5.4.1 การกินได้ของพลังงานและโปรตีนรวม

จากข้อมูล การกินได้ของวัตถุแห้ง การกินได้ของโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด และการกินได้ของโปรตีนรวมในตารางที่ 5.4 พบว่าทั้ง 4 กลุ่มการทดลอง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและโปรตีน ($p>0.05$)

ตารางที่ 5.4 แสดงผลการกินได้วัตถุแห้ง (กิโลกรัม/วัน) พลังงาน (kgTDN/day) และโปรตีนรวม (กรัม/วัน) ของโคนมในการทดลองที่ 1

กลุ่มการทดลอง	1	2	3	4	SEM	E	P	E*P
ระดับพลังงาน (E)	100%NRC		110%NRC					
ระดับโปรตีน (P)	100% NRC	110% NRC	100% NRC	110% NRC				
						---------- p ----------		
การกินได้								
วัตถุแห้ง	14.79	14.23	14.98	14.41	0.87	0.769	0.369	0.997
โภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด	9.38	8.88	9.63	9.14	0.33	0.579	0.300	0.991
โปรตีนรวม	2,075	2,179	1,965	2,045	74.44	0.267	0.384	0.925

หมายเหตุ E*P หมายถึง ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและโปรตีน
p หมายถึง Probability

5.4.2 ผลผลิตน้ำนม

จากข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 5.5 พบว่า ปริมาณน้ำนม ปริมาณโปรตีนในนม ปริมาณของแข็งพร่องไขมัน และของแข็งรวมในน้ำนม ในกลุ่มการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและโปรตีน ($p>0.05$) แต่พบว่าโคกลุ่มที่ได้โปรตีน 100%NRC มีแนวโน้มปริมาณน้ำนมสูงกว่าโคกลุ่มที่ได้รับโปรตีน 110% NRC สำหรับปริมาณไขมันนม จากตารางที่ 5.5 พบว่าระดับโปรตีนในอาหารมีผลทำให้ปริมาณไขมันนมลดลง ($p<0.05$) ทั้ง 2 กลุ่มระดับพลังงาน (585 เป็น 501 และ 559 เป็น 476 กรัมต่อวัน ตามลำดับ)

ตารางที่ 5.5 แสดงผลผลิตน้ำนม (กิโลกรัมต่อวัน) และองค์ประกอบ ในน้ำนม (กรัมต่อวัน)

กลุ่มการทดลอง	1	2	3	4	SEM	E	P	E*P
ระดับพลังงาน (E)	100% NRC		110%NRC					
ระดับโปรตีน (P)	100% NRC	110% NRC	100% NRC	110% NRC		---------- p ----------		
ปริมาณผลผลิต								
น้ำนม	12.8	11.3	11.6	10.9	1.09	0.276	0.177	0.611
ไขมันนม	585	501	559	476	58	0.489	0.049	0.915
โปรตีนในนม	403	370	389	363	34	0.703	0.196	0.948
ของแข็งพร่องในไขมัน	1,111	974	1,021	948	102	0.396	0.168	0.672
ปริมาณของแข็งรวมในนม	1,699	1,475	1,575	1,422	155	0.413	0.101	0.749

หมายเหตุ E*P หมายถึง ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและโปรตีน
p หมายถึง Probability

5.4.3 องค์ประกอบในน้ำนม

จากข้อมูลเปอร์เซ็นต์ไขมันนม โปรตีนในนม ของแข็งพร่องไขมัน และของแข็งรวมในนม ที่แสดงไว้ในตารางที่ 5.6 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และไม่มีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างพลังงานและโปรตีน ($p>0.05$) แต่พบว่ากลุ่มที่ได้รับโปรตีน 100% NRC มีแนวโน้มของเปอร์เซ็นต์ไขมันนมและของแข็งรวมในนม สูงกว่ากลุ่มที่ได้รับโปรตีน 110%NRC สำหรับเปอร์เซ็นต์โปรตีนในนมและของแข็งพร่องไขมันพบว่า กลุ่มที่ได้รับพลังงาน 110%NRC มีแนวโน้มสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับพลังงาน 100% NRC

5.4.4 น้ำหนักตัว

น้ำหนักตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่แสดงไว้ในตารางที่ 5.7 พบว่า กลุ่มการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและโปรตีน ($p>0.05$)

น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลงที่แสดงไว้ในตารางที่ 5.7 พบว่า โคกลุ่มที่ได้รับพลังงาน 110%NRC มีน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลงเพิ่ม ($p<0.05$) มากกว่ากลุ่มที่ได้รับพลังงาน 100%NRC ซึ่ง

น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลงลดลง และพบว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างพลังงานและโปรตีนต่อน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง (p>0.05)

ตารางที่ 5.6 แสดงผลองค์ประกอบในน้ำนม (เปอร์เซ็นต์)

กลุ่มการทดลอง	1	2	3	4	SEM	E	P	E*P
ระดับพลังงาน (E)	100% NRC		110%NRC					
ระดับโปรตีน (P)	100% NRC	110% NRC	100% NRC	110% NRC		---------- p ----------		
องค์ประกอบในน้ำนม								
%ไขมัน	4.57	4.43	4.82	4.37	0.28	0.646	0.158	0.437
%โปรตีน	3.15	3.27	3.35	3.33	0.13	0.155	0.586	0.468
%ของแข็งพร่องในไขมัน	8.68	8.62	8.8	8.70	0.18	0.431	0.511	0.895
%ของแข็งรวมในน้ำนม	13.27	13.05	13.58	13.05	0.39	0.574	0.191	0.574

หมายเหตุ E*P หมายถึง ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและโปรตีน
p หมายถึง Probability

ตารางที่ 5.7 แสดงผลน้ำหนักตัว (กิโลกรัม) และน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง (กรัมต่อวัน)

กลุ่มการทดลอง	1	2	3	4	SEM	E	P	E*P
ระดับพลังงาน (E)	100% NRC		110%NRC					
ระดับโปรตีน (P)	100% NRC	110% NRC	100% NRC	110% NRC		---------- p ----------		
น้ำหนักตัว								
เมื่อสิ้นสุดการทดลอง	444	416	422	430	26.3	0.814	0.587	0.351
น้ำหนักตัวเปลี่ยนแปลง	-274	-571	+149	+36	278	0.016	0.309	0.644

หมายเหตุ E*P หมายถึง ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและโปรตีน
p หมายถึง Probability

5.4.5 ผลต่อการย่อยสลายโภชนะ (Effective rumen degradability, *dg*)

นำตัวอย่างอาหารที่เก็บไว้ไปวิเคราะห์หาปริมาณวัตถุแห้งและโปรตีน เพื่อหาค่าสัดส่วนโปรตีนที่สูญหายไป แล้วนำไปคำนวณหาค่าการย่อยสลายของโปรตีนในกระเพาะหมักของวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิด ได้ค่า *dg* ดังนี้

จากสูตร $dg = a + (bc/(c+k))$

เมื่อ dg = effective rumen degradability

k = fractional outflow rate of digesta per hour

นำค่า *dg* ของวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิด คือ ชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพด้วย 6%NaOH กากถั่วเหลือง และข้าวโพดบด (0.50, 0.73 และ 0.49) ไปคำนวณหาค่าย่อยสลายโภชนะในอาหารรวม ทั้ง 4 กลุ่มการทดลอง ได้ค่า *dg* คือ 0.67, 0.68, 0.66 และ 0.67 ตามลำดับ ซึ่งข้อมูลนี้ได้นำไปใช้ในการประมาณค่าโปรตีนที่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (Rumen degradable protein, RDP) และค่าประมาณโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (Undegradable protein, UDP) ของอาหารในแต่ละกลุ่มการทดลอง

5.5 วิจารณ์ผลการทดลอง

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารรวม

จากการวิจัยครั้งนี้พบว่าอาหารรวมที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยวัตถุดิบ 4 ชนิด คือ ชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพด้วย 6%NaOH กากถั่วเหลือง ข้าวโพดบด และไวตามินแร่ธาตุ ในอาหารทั้ง 4 สูตรนั้นประกอบด้วยองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ เปอร์เซ็นต์ DM ของอาหารรวม ทั้ง 4 สูตร มีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับเปอร์เซ็นต์ CP ในอาหาร พบว่าเปอร์เซ็นต์ CP ในอาหารของกลุ่มที่ได้รับพลังงาน 100%NRC โปรตีน 90%NRC และกลุ่มที่ได้รับพลังงาน 100%NRC โปรตีน 100%NRC (13.97 และ 13.10 เปอร์เซ็นต์) นั้นต่ำกว่าที่ NRC (1988) แนะนำไว้ (15 เปอร์เซ็นต์) ส่วนเปอร์เซ็นต์ไขมันในอาหาร พบว่ามีค่าต่ำกว่าที่ NRC (1988) แนะนำไว้ กล่าวคือในสูตรอาหารควรมีไขมันประมาณ 3 ถึง 4 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามเปอร์เซ็นต์ไขมันในอาหารทั้ง 4 สูตรก็มีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากในการคำนวณสูตรอาหารคำนึงถึงค่าของโภชนะโปรตีนและพลังงานเป็นหลักเพื่อให้ได้ตามกลุ่มการทดลองที่กำหนด นอกจากนั้นวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ใช้ คือ ชานอ้อยปรับปรุงคุณภาพและในกากถั่วเหลืองที่ผ่านการสกัดน้ำมันมาแล้วนั้นมีไขมันต่ำ ในส่วนของ CF ADF และ NDF สูงกว่าในระดับที่มีในสูตรอาหารตาม NRC (1988) แนะนำไว้ (17, 21 และ 28

เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) แต่อย่างไรก็ตามในสูตรอาหารทั้ง 4 สูตร ก็มีค่า CF ADF และ NDF ใกล้เคียงกัน สำหรับ TDN ในอาหาร พบว่า ต่ำกว่าที่ NRC (1988) แนะนำไว้ที่ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามในสูตรอาหารทั้ง 4 สูตร ก็มีค่า TDN ใกล้เคียงกัน

การกินได้ของโภชนะ

การกินได้ของวัตถุแห้งและโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมดไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อพิจารณาที่ระดับพลังงานเดียวกัน พบว่า กลุ่มที่ได้รับโปรตีน 100%NRC มีแนวโน้มการกินได้ของวัตถุแห้งและโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมดสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับโปรตีน 110%NRC และเมื่อพิจารณาที่ระดับโปรตีนเดียวกันพบว่า กลุ่มที่ได้รับพลังงาน 110%NRC มีแนวโน้มการกินได้ของวัตถุแห้งและโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมดสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับพลังงาน 100%NRC และการกินได้โปรตีนไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ทั้ง 4 กลุ่มการทดลอง แต่เมื่อพิจารณาที่ระดับพลังงานเดียวกันพบว่าการกินได้โปรตีนในกลุ่มที่ได้รับโภชนะโปรตีน 110%NRC มีแนวโน้มสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับโภชนะโปรตีน 100%NRC และที่ระดับโปรตีนเดียวกันพบว่า กลุ่มที่ได้รับพลังงาน 100%NRC มีแนวโน้มการกินได้โปรตีนสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับพลังงาน 110%NRC ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการเพิ่มโภชนะพลังงานและโปรตีนมากกว่า NRC (1988) แนะนำ 10 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้การกินได้โปรตีนมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากปริมาณโปรตีนที่มากเกินไปจะทำให้ pH ในกระเพาะหมักลดลง มีผลต่อประชากรจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักลดลงอาหารที่กินเข้าไปจึงเกิดการหมักย่อยช้า ทำให้อัตราการไหลผ่านช้าลงการกินได้จึงลดลงไปด้วย

ผลผลิตน้ำนม

การตอบสนองของปริมาณน้ำนมต่อระดับพลังงานและโปรตีนพบว่า ถึงแม้จะเพิ่มระดับพลังงานและโปรตีนเป็น 110%NRC ก็ยังไม่ทำให้ปริมาณน้ำนมเพิ่มขึ้นได้ ในทางตรงกันข้ามกับทำให้ปริมาณน้ำนมลดลง แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังการทดลองของ Pirlo et al. (1997) ได้ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของพลังงานและโปรตีนในอาหารที่ระดับสูงและต่ำกว่า NRC (1988) แนะนำ 10 เปอร์เซ็นต์ ต่อผลผลิตน้ำนม โดยมีอาหาร 4 สูตร คือ 1) พลังงานและโปรตีน 90 และ 90%NRC 2) 90 และ 110%NRC 3) 110 และ 90%NRC 4) 110 และ 110%NRC โดยทดลองในโคที่กำลังให้นมพบว่า ผลผลิตน้ำนมตลอด 36 สัปดาห์ ของระยะการให้นมของโคทั้ง 4 กลุ่ม ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)(22.7, 22.2, 20.2 และ 21.8 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ) สอดคล้องกับการทดลองของ Cunningham et al. (1996) ที่ศึกษาโปรตีน 3 ระดับ (14.5, 16.5 และ 18.5 เปอร์เซ็นต์) พบว่าเมื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์โปรตีนในอาหารจาก

14.5 เป็น 16.5 ปรากฏว่าปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบในน้ำนมเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์โปรตีนเป็น 18.5 ปรากฏว่าทั้งปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบในน้ำนมไม่แตกต่างจากกลุ่มที่ได้รับโปรตีน 16.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโคสามารถใช้โปรตีนในการเปลี่ยนไปเป็นผลผลิตได้เพียงระดับหนึ่งเท่า โภชนะโปรตีนที่ได้รับมากเกินไปนอกจากจะเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิตแล้วอาจมีผลกระทบทำให้องค์ประกอบในนมลดลงได้ ดังการทดลองของ Cannas et al. (1998) ได้ศึกษาโปรตีนที่แตกต่างกัน 4 ระดับ (13.9, 16.3, 18.6 และ 21.1 เปอร์เซ็นต์) ในแพะเพศเมีย พบว่าผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณโปรตีนในอาหารเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณไขมันในน้ำนม โปรตีนในนมและแลคโตสลดลงเมื่อระดับโปรตีนในอาหารเพิ่มขึ้น

องค์ประกอบที่สำคัญในน้ำนม

เปอร์เซ็นต์ไขมัน โปรตีน ของแข็งพร่องไขมัน และของแข็งรวมในน้ำนมของโคทั้ง 4 กลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อพิจารณาที่ระดับพลังงานเดียวกัน พบว่ากลุ่มที่ได้รับโปรตีน 110%NRC มีแนวโน้มเปอร์เซ็นต์ไขมันนมลดลง อาจมีสาเหตุมาจากอาหารที่มีโปรตีนมากเกินความต้องการของโคมีผลทำให้การใช้ประโยชน์ได้ของอาหารลดลง กล่าวคืออาหารรวมที่ใช้ในการทดลองที่มีพลังงานและโปรตีน 110%NRC นั้นมีสัดส่วนของอาหารข้นที่สูงทำให้เปอร์เซ็นต์ไขมันนมลดลง เนื่องจากอาหารข้นในปริมาณมากจะทำให้การหมักย่อยที่กระเพาะหมักผลิตกรดไขมันระเหยได้อะซิเตทน้อยลงและโพพิโอเนทเพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์ไขมันนมจึงลดลง นอกจากนี้แป้งยังเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ไขมันนมลดลง ดังการทดลองของ Lemosquet et al (1997) และ Jurjanz et al (1998) ที่พบว่าเมื่อเพิ่มแป้งในอาหารมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ไขมันนมลดลง โดยการเพิ่มแป้งในอาหารนั้นจะทำให้ความเข้มข้นของฮอร์โมนอินซูลินในเลือดเพิ่มขึ้นซึ่งจะไปขัดขวางการสลายกรดไขมัน เนื่องร่างกายมีปริมาณกลูโคสที่มากพอแล้วไม่จำเป็นที่จะต้องไปสลายจากกรดไขมัน จึงรักษาสมดุลโดยการขัดขวางการสังเคราะห์กรดไขมันโดยฮอร์โมนอินซูลิน ซึ่ง ปฏิกิริยาดังกล่าวมีผลต่อระดับไขมันในน้ำนมโดยพบว่ากรดไขมันโดยเฉพาะ stearic acid (C_{18}) นั้นลดลงเมื่อมีระดับกลูโคสที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการทดลอง Gaynor et al. (1995) ทำการทดลองในโคที่มีอัตราการเจริญเติบโต 2 กลุ่ม คือ 725 กรัมต่อวัน และ 950 กรัมต่อวัน ต่ออาหาร 2 สูตร คือ กลุ่มควบคุมและกลุ่มที่ได้รับพลังงานสูง พบว่าทั้ง 2 กลุ่มการเจริญเติบโตเปอร์เซ็นต์ไขมันนมลดลงเมื่อโคได้รับพลังงานสูงขึ้น (3.71 กับ 2.70 และ 3.65 กับ 2.54 ตามลำดับ) เป็นที่น่าสังเกตว่าการที่กลุ่มที่มีอัตราการเจริญเติบโตมากกว่ามีเปอร์เซ็นต์ไขมันนมในกลุ่มที่ได้รับพลังงานสูงต่ำที่สุด ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการดึงเอาไขมันจากเยื่อบุไขมัน (Adipose tissue) และเนื้อเยื่อที่สร้างน้ำนม (Mammary tissue) ไปใช้ในการเจริญเติบโต สอดคล้องกับการทดลองของ

Baldwin et al. (1969) ได้ทดลองระหว่างอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการผลิต พบว่าการที่เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมลดลงนั้น มีความสัมพันธ์ระหว่างการทำงานของเอนไซม์ที่ย่อย adipose tissue และ mammary tissue กับกลุ่มที่มีอัตราการเจริญเติบโตที่สูงขึ้น โดยพบว่าเนื้อเยื่อที่สร้างน้ำนมลดลงตลอดระยะการทดลอง ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าการที่เปอร์เซ็นต์ไขมันลดลงนั้นเนื่องจากอัตราการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้น

น้ำหนักตัวและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง

น้ำหนักตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ของโคทั้ง 4 กลุ่มการทดลอง สำหรับน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง พบว่าโภชนะพลังงาน 110%NRC มีผลทำให้น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลงของโคเพิ่มขึ้นทั้ง 2 กลุ่มโปรตีน เนื่องจากการที่โคได้รับพลังงานจากอาหารที่มากเกินความต้องการ พลังงานส่วนเกินจะถูกสะสมไว้ในร่างกายทำให้โคอ้วนขึ้น มีการทดลองของ Pirlo et al. (1997) ได้ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของพลังงานและโปรตีนในอาหารที่ระดับสูงและต่ำกว่า NRC (1988) แนะนำ 10 เปอร์เซ็นต์ ต่อการเจริญเติบโตของโคสาว โดยมีอาหาร 4 สูตร คือ 1) พลังงานและโปรตีน 90 และ 90%NRC 2) 90 และ 110%NRC 3) 110 และ 90%NRC 4) 110 และ 110%NRC จากการทดลองพบว่าการเพิ่มโภชนะพลังงานและโปรตีนมีผลต่อการเพิ่มการเจริญเติบโต (Average daily gain; ADG) คือ 608.1, 658.9, 794.4 และ 847.6 กรัมต่อวัน ตามลำดับ แต่ในโคที่กำลังให้นมโภชนะพลังงานและโปรตีนไม่มี ผลต่อการเจริญเติบ

5.6 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาอิทธิพล ของอาหารที่มีพลังงาน 2 ระดับ คือ ระดับพลังงานที่ 100% และ 110%NRC ร่วมกับอาหารที่มีโปรตีน 2 ระดับ คือ ระดับโปรตีนที่ 100% และ110%NRC (1988) ต่อการกินได้ การผลิตน้ำนม ส่วนประกอบในน้ำนม น้ำหนักตัว และการย่อยสลายของโภชนะในอาหารรวมของโคที่ให้นมปานกลาง จากผลการทดลองสรุปได้ว่า

(1) การกินได้ของวัตถุแห้ง โภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด และโปรตีนรวมในโคกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีพลังงานและโปรตีน 100%NRC (1988) กับโคในกลุ่มที่ได้รับ 110%NRC (1988) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

(2) ปริมาณน้ำนม ปริมาณโปรตีนในนม ปริมาณของแข็งพร่องไขมันนม และของแข็งรวมในนม ในโคกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีพลังงานและโปรตีน 100%NRC (1988) กับโค กลุ่มที่ได้รับ 110%NRC (1988) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่พบว่า โคกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีน 110%NRC (1988) มีผลทำให้ปริมาณไขมันนมต่ำกว่า ($p<0.05$) โคกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มี

โปรตีน 100%NRC (1988) ส่วนพลังงานต่อปริมาณไขมันนม ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

(3) เปอร์เซ็นต์ไขมันนม เปอร์เซ็นต์โปรตีนในนม เปอร์เซ็นต์ของแข็งพร่องไขมันนม และเปอร์เซ็นต์ของแข็งรวมในนม ในโคกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีพลังงานและโปรตีน 110%NRC (1988) กับโคกลุ่มที่ได้รับ 100%NRC (1988) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

(4) น้ำหนักตัวสิ้นสุดการทดลอง ในโคกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีพลังงานและโปรตีน 110% NRC (1988) กับโคกลุ่มที่ได้รับ 100%NRC (1988) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่พบว่าพลังงานมีผลต่อน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง คือ โคกลุ่มที่ได้รับพลังงาน 100%NRC (1988) ทำให้น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลงลดลง ($p<0.05$) ส่วนโภชนะโปรตีนไม่มีผลต่อน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง

จากผลการทดลองที่ 2 สรุปได้ว่าความต้องการพลังงานและโปรตีนของโคนมที่ให้นมปานกลางมีค่าต่ำกว่า 110%NRC (1988)

บทที่ 6
วิจารณ์ผลการวิจัย

6.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารรวม

ส่วนประกอบทางโภชนะขั้นต่ำของอาหารโคนมที่ให้นมปานกลาง ประกอบด้วย NEL, TDN, CP, CF, ADF, NDF และ EE ที่แนะนำโดย NRC (1988) เท่ากับ 1.52 Mcal/kgDM, 70.0%, 15.0%, 17.0%, 21.0%, 28.0% และ 3.0% ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าอาหารรวมที่ใช้ทดลองในแต่ละการทดลองมีส่วนประกอบของ CF, ADF และ NDF สูงกว่าที่ NRC (1988) แนะนำค่อนข้างมาก ทั้งนี้เนื่องจากอาหารหยาบที่ใช้ในทุกการทดลองเป็นผลพลอยได้ทางการเกษตรซึ่งโดยปกติจะมีองค์ประกอบของโภชนะดังกล่าวสูงมากอยู่แล้ว สำหรับส่วนประกอบอื่นๆ เช่น TDN, CP และ EE จะต่ำกว่าที่ NRC (1988) แนะนำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของ EE อย่างไรก็ตามการทดลองนี้ได้ทำการคำนวณส่วนประกอบของโภชนะต่างๆ ในอาหารรวมให้เพียงพอกับความต้องการของโครีดนมเป็นรายตัว โดยมุ่งเน้นถึงความต้องการพลังงานและโปรตีนทั้งในรูป CP, RDP และ UDP เพื่อให้ได้ข้อมูลเบื้องต้นที่จะนำไปสู่การประเมินความต้องการโภชนะของโครีดนมต่อไป

6.2 การกินได้ของโภชนะ

การกินได้อาหารของโคนมขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง กล่าวคือ ความจุกระเพาะของโคนม ชนิดของอาหาร ปริมาณอาหารที่ให้โคกิน สัดส่วนของอาหาร อัตราการย่อยสลายของโภชนะ อัตราการไหลผ่านของอาหารออกจากกระเพาะหมัก ซึ่งปัจจัยต่างๆ เหล่านี้มีความสัมพันธ์กันอย่างยิ่ง อย่างไรก็ตามในงานทดลองนี้ไม่พบความแตกต่างของการกินได้โภชนะต่างๆ ระหว่างโคทั้ง 4 กลุ่มในแต่ละการทดลอง

การกินได้ DM และ TDN จะผันแปรตามระดับพลังงานที่กำหนดในกลุ่มการทดลอง ส่วนโปรตีนจะผันแปรตามระดับโปรตีนที่กำหนดในกลุ่มการทดลองเช่นเดียวกัน การกินได้ DM ของโคนมในกลุ่มที่ได้รับพลังงานสูงกว่าจะมีแนวโน้มสูงกว่าการกินได้ DM ของโคนมที่ได้รับพลังงานต่ำกว่า ทั้งนี้เป็นเพราะในสูตรอาหารที่มีพลังงานสูงกว่านั้นจะมีส่วนประกอบของแป้งสูงกว่า (มีเปอร์เซนต์เยื่อใยต่ำกว่า) ซึ่งเกิดจากการที่ในสูตรอาหารต้องใช้ข้าวโพดบดมากกว่า และแป้งจากข้าวโพดบดนั้นสามารถย่อยได้ง่ายในกระเพาะหมัก อัตราการหมักย่อยจึงเกิดขึ้นเร็ว ทำให้ระยะ

เวลาที่อาหารค้างอยู่ในกระเพาะหมักลดลง ประกอบกับมีอัตราการไหลผ่านเร็วขึ้น ทำให้ความจุของกระเพาะว่างลง โคจึงสามารถกินอาหารได้มากขึ้น (Freer, 1981; Shaver et al., 1986; Forbes, 1986) การทดลองของ Erdman et al. (1998) พบว่าการเพิ่มการย่อยสลายของแป้งในกระเพาะหมักมีผลทำให้ปริมาณน้ำนมสูงขึ้นโดยไม่ทำให้คุณภาพน้ำนมลดลงแต่อย่างใด การที่โคนมสามารถให้ผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้นนั้นเป็นเพราะจุลินทรีย์ที่อยู่ในกระเพาะหมักจะใช้พลังงานจากกลูโคสที่ย่อยสลายได้จากแป้งทำให้จุลินทรีย์ไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานจากการย่อยสลายโปรตีน มีผลทำให้โปรตีนที่สัตว์กินเข้าไปสามารถผ่านกระเพาะหมักได้มากขึ้น ซึ่งทำให้สัตว์ได้รับกรดอะมิโนจากการย่อยสลายของโปรตีนได้มากขึ้น จุลินทรีย์ที่ใช้กลูโคสเป็นแหล่งพลังงานจะผลิตกรดไขมันระเหยได้ (VFA_s) มากขึ้น มีผลทำให้ผลผลิตน้ำนมสูงขึ้นโดยไม่มีผลกระทบต่อองค์ประกอบต่างๆ ในน้ำนม

6.3 ผลผลิตน้ำนม

การกินได้ DM เมื่อเทียบเป็นเปอร์เซนต์ของน้ำหนักตัว (%DM of body weight) ในการทดลองที่ 1 และ การทดลอง2 อยู่ในช่วง 3.04-3.54 ทั้งนี้ในทั้ง 2 การทดลอง นั้นโคนมทุกกลุ่มให้ผลผลิตน้ำนมเฉลี่ยตัวละระหว่าง 10.9 – 14.4 กิโลกรัมต่อวัน ในงานทดลองนี้พบว่าระดับการกินได้พลังงานจะเป็นตัวกำหนดการให้ผลผลิตน้ำนมมากกว่าการกินได้โปรตีน ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อโคนมได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นจะมีแนวโน้มให้ผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้น ส่วนโคที่รับโปรตีนในระดับที่สูงขึ้นพบว่าผลผลิตน้ำนมไม่ได้เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังงานการทดลองของ Suksombat (1993) ที่พบว่าระดับพลังงานมีผลกระทบโดยตรงต่อผลผลิตน้ำนมส่วนระดับโปรตีนไม่มีผลต่อผลผลิตน้ำนม ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Gaynor et al. (1995) ที่พบว่าในกลุ่มที่ได้รับพลังงานสูงมีแนวโน้มผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้น (23.5 และ 25.3 กิโลกรัมต่อวัน) ทั้งนี้เนื่องจากโคที่ได้รับอาหารที่มีพลังงานมากขึ้นจะเกิดการย่อยสลายของพลังงานในกระเพาะหมักมากขึ้น ทำให้สามารถผลิตกรดไขมันระเหยได้มากขึ้น ส่งผลให้ผลผลิตน้ำนมมีปริมาณเพิ่มขึ้น การศึกษาระดับโปรตีนในอาหารของ Cunningham et al. (1996) โดยทดลองโปรตีน 3 ระดับ (14.5, 16.5 และ 18.5 เปอร์เซ็นต์) ในโคนม พบว่าเมื่อเพิ่มระดับโปรตีนในอาหารจาก 14.5 เป็น 16.5 เปอร์เซ็นต์ ปรากฏว่าปริมาณน้ำนมสูงขึ้น แต่เมื่อระดับโปรตีนเพิ่มเป็น 18.5 เปอร์เซ็นต์ ปรากฏว่าปริมาณน้ำนมไม่แตกต่างจากกลุ่มที่ได้รับโปรตีน 16.5 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากปริมาณโปรตีนที่มากเกินไปนั้นจะลดประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากพลังงาน โดยโคต้องสูญเสียพลังงานส่วนหนึ่งไปในการขจัดยูเรียออกจากร่างกายจึงทำให้สัดส่วนของพลังงานที่นำไปใช้ประโยชน์ได้นั้นลดลงจากอาหารที่กินเข้าไป (เมธา, 2533; NRC, 1988) อย่างไรก็ตามการทดลองของ Pirlo et al. (1997) ที่ศึกษาระดับพลังงานที่สูงและต่ำกว่า NRC แนะนำ พบว่าระดับความต้อง 90%NRC และ110%NRC ไม่มีผลต่อผลผลิตน้ำนม

6.4 การใช้โภชนะโปรตีนจากอาหาร

นำข้อมูลการกินได้ RDP และ UDP (ที่ได้จากการหาค่า *dg* แต่ละกลุ่มการทดลองของทั้งสองการทดลอง) มาเปรียบเทียบกับความต้องการ RDP และ UDP ของโครีดนม แต่ละกลุ่ม และในการทดลองทั้ง 2 การทดลอง รายละเอียดสรุปไว้ในตารางที่ 6.1 และตารางที่ 6.2 โคทุกกลุ่มการทดลองจากทั้ง 2 การทดลองได้รับ RDP เกินกว่าความต้องการ ในทำนองเดียวกันโคในการทดลองที่ 2 ได้รับ UDP เกินกว่าความต้องการ สำหรับการทดลองที่ 1 พบว่าโคเกือบทุกกลุ่มการทดลองได้รับ UDP ไม่เพียงพอกับความต้องการ

ตารางที่ 6.1 แสดงการได้รับและความต้องการโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (UDP) (กรัมต่อตัว) ในการทดลองที่ 1*

กลุ่มการทดลอง	**1**	**2**	**3**	**4**
ระดับพลังงาน (E)	**90% NRC**		**100 %NRC**	
ระดับโปรตีน (P)	**90% NRC**	**100% NRC**	**90% NRC**	**100% NRC**
ความต้องการ RDP	1,060	1,096	1,143	1,154
RDP ที่ได้จากอาหาร	1,280	1,391	1,321	1,411
ขาด/เ กิน	+220	+295	+178	+254
ความต้องการ UDP	785	646	709	730
UDP ที่ได้จากอาหาร	610	654	644	681
ขาด/เ กิน	-176	+8	-65	-49

หมายเหตุ * หมายถึง การคำนวณทั้งหมดแสดงในภาคผนวก ข

การที่โคเกือบทุกกลุ่มในทุกการทดลองได้รับ RDP เกินกว่าความต้องการ เพราะในการประกอบสูตรอาหาร โดยเฉพาะการปรับโปรตีนให้ได้ระดับตามกลุ่มทดลองนั้นใช้กากถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ในการปรับ ประกอบกับโปรตีนในกากถั่วเหลืองมีคุณสมบัติในการย่อยสลายในกระเพาะหมักค่อนข้างมาก เมื่อโคกินอาหารที่ประกอบด้วยกากถั่วเหลืองเข้าไป โปรตีนโดยเฉพาะในกากถั่วเหลืองจะถูกย่อยสลายได้ peptides, amino acids และ ammonia ซึ่งผลพลอยได้จากการย่อยสลายนี้จะนับเป็น RDP ฉะนั้นเมื่อนำ RDP ที่ได้รับจากอาหาร มาเปรียบเทียบกับความต้องการ RDP จึงทำให้โคดังกล่าวได้รับ RDP เกินกว่าความต้องการ

ในโคบางกลุ่มในบางการทดลองที่โคได้รับ UDP ไม่เพียงพอกับความต้องการนั้น การแก้ไขสามารถกระทำได้โดยการใช้วัตถุดิบประเภทโปรตีนที่มีค่าการย่อยสลาย (degradability) ต่ำ อาทิ กากเมล็ดฝ้าย กากถั่วเขียว หรือเมล็ดถั่วเหลืองที่ผ่านความร้อน (heat treated soybean) เป็นต้น

ตารางที่ 6.2 แสดงการได้รับและความต้องการโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะหมัก (RDP) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (UDP) (กรัมต่อตัว) ในการทดลองที่ 2*

กลุ่มการทดลอง	1	2	3	4
ระดับพลังงาน (E)	100% NRC		110%NRC	
ระดับโปรตีน (P)	100% NRC	110% NRC	100% NRC	110% NRC
ความต้องการ RDP	1,144	1,065	1,187	1,116
RDP ที่ได้จากอาหาร	1,387	1,477	1,295	1,369
ขาด/เ กิน	+243	+412	+107	+252
ความต้องการ UDP	581	458	611	549
UDP ที่ได้จากอาหาร	688	720	670	680
ขาด/เ กิน	+106	+244	+60	+131

หมายเหตุ * หมายถึง การคำนวณทั้งหมดแสดงในภาคผนวก ข

6.5 พลังงานที่ใช้เพื่อกิจกรรมต่าง ๆ

ถ้าหากว่าเรานำการกินได้พลังงานและการใช้พลังงานเพื่อกิจกรรมต่างๆ มาพิจารณาดังแสดงไว้ในตารางที่ 6.3 และ 6.4 การคำนวณใช้สมการที่ให้ไว้ใน NRC (1985; 1988) จะเห็นว่าเมื่อนำพลังงานที่ใช้ในกิจกรรมเพื่อการดำรงชีพ (NE_M) เพื่อการให้ผลผลิตน้ำนม (NE_L) และเพื่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว (NE_G) ไปหักลบออกจากพลังงานที่ได้รับ แล้วมีพลังงานส่วนหนึ่งที่หายไป

ถ้าเราเชื่อว่า NRC (1988) ถูกต้องและเหมาะสมกับการนำมาใช้ในประเทศไทย เพื่อประเมินความต้องการของโคนม เราไม่สามารถอธิบายได้ว่าพลังงานส่วนหนึ่งนั้นหายไปไหน เมื่อพิจารณาให้ลึกลงไป โดยพิจารณาสมการที่แนะนำโดย NRC (1988) ทีละสมการ เราจะพบว่าสมการที่ใช้ประเมินค่าพลังงานในน้ำนมนั้นน่าจะถูกต้อง เพราะความเข้มข้นพลังงานในน้ำนมมาจากองค์ประกอบของน้ำนม ซึ่งไม่ว่าน้ำนมจะถูกผลิตโดยโคนมที่ไหน เมื่อสามารถวิเคราะห์องค์

ประกอบในน้ำนมได้โดยถูกต้องก็น่าจะมีพลังงานตามองค์ประกอบของน้ำนม ทำนองเดียวกันถ้าการชั่งและบันทึกน้ำหนักตัวโคได้อย่างถูกต้องแม่นยำแล้ว ค่าพลังงานที่ประเมินจากการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวโคก็น่าจะเหมือนกันในทุกสถานที่ทดลอง มีเพียงค่าพลังงานเพื่อการดำรงชีพเท่านั้นที่น่านำมาพิจารณา เพราะว่าความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง อาทิ สายพันธุ์โคนม สภาพแวดล้อม สภาพภูมิอากาศ ชนิดและประเภทของอาหารที่โคนมได้รับ คุณภาพของอาหารที่โคได้รับ ฯลฯ

ตารางที่ 6.3 แสดงการใช้พลังงานเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ (Mcal/day) ในการทดลองที่ 1 *

กลุ่มการทดลอง	**1**	**2**	**3**	**4**
ระดับพลังงาน (E)	**90% NRC**		**100 %NRC**	
ระดับโปรตีน (P)	**90% NRC**	**100% NRC**	**90% NRC**	**100% NRC**
NEL (intake)	19.16	19.72	20.45	20.62
NE_m	7.70	7.65	7.46	7.75
NE_l	10.22	9.56	10.64	10.28
NE_g	0.83	-0.13	-0.24	0.62
NE retention	11.05	9.44	10.41	10.90
NEL-NE_m	11.46	12.07	12.98	13.08
Efficiency (%)	0.96	0.79	0.81	0.87

หมายเหตุ

*	หมายถึง การคำนวณทั้งหมดแสดงในภาคผนวก ข
NEL intake	หมายถึง พลังงานสุทธิที่กินได้จากอาหาร
NE_M	หมายถึง พลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ
NE_L	หมายถึง พลังงานสุทธิเพื่อการผลิตน้ำนม
NE_G	หมายถึง พลังงานสุทธิเพื่อการสร้างน้ำนม
NE retention	หมายถึง พลังงานสุทธิเพื่อการสร้างผลผลิต = $NE_L + NE_G$
Efficiency	หมายถึง ประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพื่อผลผลิต = NE retention/(NEL intake – NE_M)

ตารางที่ 6.4 แสดงการใช้พลังงานเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ ในการทดลองที่ 2 *

กลุ่มการทดลอง	1	2	3	4
ระดับพลังงาน (E)	100% NRC		110%NRC	
ระดับโปรตีน (P)	100% NRC	110% NRC	100% NRC	110% NRC
NEL intake	20.46	19.23	21.14	20.03
NE_m	7.78	7.47	7.42	7.53
NE_l	10.15	8.77	9.39	8.36
NE_g	-1.32	-2.80	0.78	0.21
NE retention	8.83	5.97	10.17	8.58
NEL-NE_m	12.68	11.76	13.72	12.50
Efficiency (%)	0.69	0.51	0.74	0.68

หมายเหตุ * หมายถึง การคำนวณทั้งหมดแสดงในภาคผนวก ข

NEL intake หมายถึง พลังงานสุทธิที่กินได้จากอาหาร

NE_M หมายถึง พลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ

NE_L หมายถึง พลังงานสุทธิเพื่อการผลิตน้ำนม

NE_G หมายถึง พลังงานสุทธิเพื่อการสร้างน้ำนม

NE retention หมายถึง พลังงานสุทธิเพื่อการสร้างผลผลิต

$= NE_L + NE_G$

Efficiency หมายถึง ประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพื่อผลผลิต

$= NE\ retention/(NEL\ intake - NE_M)$

โคนมมีความต้องการพลังงานเพื่อกิจกรรมต่างๆ ภายในร่างกาย ซึ่งประกอบด้วยความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพ (Requirement for maintenance) เพื่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว (Requirement for liveweight gain or loss) เพื่อการตั้งท้อง (Requirement for pregnancy) และเพื่อการผลิตน้ำนม (Requirement for lactation) ในส่วนต่อไปนี้จะพิจารณาว่าความต้องการพลังงาน NE เพื่อการผลิตน้ำนม และ เพื่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว เป็นไปตามที่ NRC (1988) แนะนำ ดังนี้

$$NE_L = [0.3512 + (0.0962 \times \%Fat)] \times kg\ milk/day$$

$$NE_M = 5.12 \times kg\ Gain/day;\ = 4.92 \times kg\ Loss/day$$

เมื่อได้ค่า NE_L และ NE_G แล้ว นำไปลบออกจากค่า NEL intake ได้ค่าที่เหลือ สมมติว่าให้เป็นพลังงาน NE_Mทั้งหมด นำค่าที่ได้ไปเข้าสมการ

$$NE_M = aLW^{0.75}$$

เมื่อ NE_M (Mcal/day) = NEL intake – (NE_L + NE_G)

a = unknown

$LW^{0.75}$ = metabolic liveweight

จะได้ค่า NE_M ที่คำนวณได้เป็นสัดส่วนกับ $LW^{0.75}$ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 6.5 ซึ่งได้แยกคำนวณเป็นแต่ละการทดลอง และรวมกันทั้ง 2 การทดลอง

ค่า a ที่ได้จะอยู่ระหว่าง 0.100 – 0.125 หรือคิดเป็นร้อยละเมื่อเทียบกับ NRC (0.08) ระหว่าง 25.48 ถึง + 56.58 และมีค่าเฉลี่ยจาก 2 การทดลองเท่ากับ 0.113 หรือคิดเป็นร้อยละ + 41.03 เมื่อเทียบกับค่า 0.08 ของ NRC (1988)

ในกรณีนี้ต้องยอมรับว่าค่าการทำนาย NE_L และ NE_G เป็นไปตามที่ NRC (1988) กำหนด และมีเงื่อนไขว่าการบันทึกผลผลิตน้ำนม การวิเคราะห์ไขมันในน้ำนม และการชั่งน้ำหนักตัวโคถูกต้อง

จากการทดลองสรุปเบื้องต้นได้ว่า สมการการทำนายค่า NE_M สำหรับโคนมที่ให้นมปานกลางในสภาพการเลี้ยงดูในเมืองไทยนั้นน่าจะเป็นดังนี้

$$NE_M = 0.113LW^{0.75}$$

ตารางที่ 6.5 แสดงค่าคงที่ที่ใช้ในสมการทำนายค่า NE_M ที่ได้จากการทดลอง

การทดลองที่	**$NE_M = aLW^{0.75}$**	**% of NRC**
1	0.100	+25.48
2	0.125	+56.58
รวมทั้ง 2 การทดลอง	0.113	+41.03

จากที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้นเพื่อทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตน้ำนมกับโภชนะที่โคนมได้รับในการทดลองนี้ จึงนำข้อมูลผลผลิตน้ำนม หรือ NE_L (NE requirement for lactation)

ไปหาสมการ multiple regression โดยวิธี stepwise (SAS, 1985) กับการกินได้ NEL, RDP และ UDP ได้สมการต่างๆ ดังสรุปไว้ในตารางที่ 6.6

ตารางที่ 6.6 สมการ Multiple regression ระหว่าง ปริมาณน้ำนม (กิโลกรัมต่อวัน) หรือ NE_L (Mcal/day) กับ NEL (Mcal/day), RDP (g/day) และ UDP (g/day)

Multiple regression equation *			R^2
Milk yield	=	-1.730 + 0.712NEL	0.53
	=	-2.301 + 0.497NEL + 0.003RDP	0.54
	=	-4.515 + 1.135NEL + 0.023RDP – 0.056UDP	0.65
NE_L	=	-1.725 + 0.567NEL	0.59
	=	-2.055 + 0.443NEL + 0.002RDP	0.61
	=	-2.953 + 0.702NEL + 0.010RDP – 0.023UDP	0.64

หมายเหตุ * หมายถึง ข้อมูลที่ใช้มาจากทั้งสองการทดลอง

ทุกสมการที่แสดงในตารางที่ 6.6 สามารถใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตน้ำนมหรือ NE_L กับการกินได้พลังงานและโปรตีนทั้งในรูป RDP และ UDP ได้เป็นอย่างดี แต่ถ้าพิจารณาจากค่า coefficient of determination (R^2) แล้วจะเห็นว่าผลผลิตน้ำนมนั้นมีความสัมพันธ์กับการกินได้ทั้งพลังงานและโปรตีน แต่จากวิธีการ stepwise ที่ใช้จะเห็นได้ชัดว่าผลผลิตน้ำนมไม่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับการกินได้โปรตีน ซึ่งต้องมีพลังงานร่วมด้วยถึงจะเกิดการสร้างผลผลิตน้ำนม ฉะนั้นข้อสรุปข้างต้นที่ว่าระดับการกินได้พลังงานเป็นตัวกำหนดการให้ผลผลิตน้ำนมมากกว่าการกินได้โปรตีนนั้น ไม่น่าจะเป็นข้อสรุปที่ถูกต้องนักเพราะการกลั่นสร้างน้ำนมนั้นต้องการโภชนะทั้งในรูปพลังงานและโปรตีนรวมทั้งโภชนะอื่นๆ ที่ไม่ได้แสดงไว้ในรายงานนี้

บทที่ 7
สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาหาความต้องการพลังงานและโปรตีนในโคที่ให้นมปานกลาง ประกอบด้วย 2 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 ศึกษาถึงผลของความต้องการพลังงานและโปรตีนที่ระดับ 90% และ 100%NRC (1988) และการทดลองที่ 2 ศึกษาถึงผลของความต้องการพลังงานและโปรตีนที่ระดับ 100% และ 110%NRC (1988) ต่อการกินได้ ผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบในน้ำนม น้ำหนักตัว และการย่อยสลายของโภชนะในอาหารรวมของโคที่ให้นมปานกลาง จากผลการทดลองสรุปได้ว่า

1. การกินได้

การทดลองที่ 1 พบว่าการกินได้ของวัตถุแห้ง พลังงานและโปรตีน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ของโคทั้ง 4 กลุ่มการทดลอง และไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและโปรตีน

การทดลองที่ 2 พบว่าการกินได้ของวัตถุแห้ง พลังงานและโปรตีน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ของโคทั้ง 4 กลุ่มการทดลอง และไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและโปรตีน

2. ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบในน้ำนม

การทดลองที่ 1 พบว่า ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบในน้ำนม ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ของโคทั้ง 4 กลุ่มการทดลอง และไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและโปรตีน ยกเว้นเปอร์เซ็นต์ของแข็งพร่องไขมันและของแข็งรวมในน้ำนมที่พบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและโปรตีน ($p<0.05$)

การทดลองที่ 2 พบว่า ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบในน้ำนม ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ของโคทั้ง 4 กลุ่มการทดลองและไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและโปรตีนยกเว้นปริมาณไขมันนม พบว่ากลุ่มที่ได้รับโปรตีน 110%NRC มีปริมาณไขมันนมต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับโปรตีน 100%NRC ($p<0.05$) แต่ไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและโปรตีน

3. น้ำหนักตัว

การทดลองที่ 1 พบว่า น้ำหนักตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลองและน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ของโคทั้ง 4 กลุ่มการทดลอง และไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและโปรตีน

การทดลองที่ 2 พบว่า น้ำหนักตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ของโคทั้ง 4 กลุ่มการทดลอง และไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและโปรตีน

ส่วนน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง พบว่ากลุ่มที่ได้รับพลังงาน 110%NRC มีน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มที่ได้รับพลังงาน 100%NRC ($p<0.05$) แต่ไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและโปรตีน

ดังนั้นในการทดลองนี้ความต้องการพลังงานและโปรตีนเมื่อเปรียบเทียบกับ NRC (1988) ที่เกิดประโยชน์ต่อโคและให้ผลผลิตที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดโดยภาพรวมควรจะมีระดับพลังงานอยู่ระหว่าง 100%-110%NRC (1988) ส่วนระดับโปรตีนอยู่ระหว่าง 90%-100%NRC (1988)

ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาหาความต้องการพลังงานและโปรตีนในโคนมที่ให้นมปานกลาง ในระดับที่ต่ำและสูงกว่า NRC แนะนำ 10 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากว่าในเมืองไทยยังมีการศึกษาเรื่องนี้อยู่น้อยมาก ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้จึงมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. ในการคำนวณสูตรอาหารควรคำนึงถึงระดับไขมันในอาหารไม่ให้ต่ำเกินไป เนื่องจากระดับไขมันที่ต่ำเกินไปอาจมีผลกระทบต่อปริมาณไขมันนมได้

2. การนำเสนอ RDP และ UDP ที่ได้รับจากอาหาร และความต้องการ RDP และ UDP ของโคนม โดยใช้ข้อมูลจากการประเมินค่า CP degradability ด้วยวิธี nylon bag technique ค่อนข้างมีปัญหาเนื่องจากข้อมูลที่ได้จากการทำซ้ำหลายๆ ครั้งมีความผันแปรสูงและในบางครั้งเมื่อนำข้อมูลที่ได้จาก nylon bag technique มาเข้าสมการ exponential แล้ว ข้อมูลบางชุดไม่สามารถใช้ได้ ดังนั้นในกรณีของการประเมินคุณค่าของโปรตีนต้องมีการทำการวิจัยโดยละเอียดเพิ่มเติมก่อนที่จะหาข้อสรุปที่แน่ชัดได้

3. การทดลองนี้ใช้ข้อมูลรายตัวในการสร้างสมการทำนายค่า NE_M ซึ่งใช้ข้อมูลรวมทั้งสิ้น 48 ชุดข้อมูล พอจะเป็นแนวทางเบื้องต้นในการทำนายค่า NE_M ได้ แต่ถ้าจะให้ได้ผลดีและทำให้การทำนายค่า NE_M แม่นยำยิ่งขึ้น ควรมีการนำข้อมูลการทดลองในลักษณะที่คล้ายคลึงกันนี้มาร่วมกันสร้างสมการการทำนายค่า NE_M

4. การสรุปความต้องการโภชนะพลังงานและโปรตีนสำหรับโคให้นมปานกลางในสภาพเมืองไทยนั้น ต้องการข้อมูลจากการทดลองจำนวนมากที่จะนำมาประเมินรวมกันเพื่อที่จะได้ระดับการประเมินความต้องการที่ถูกต้อง แม่นยำยิ่งขึ้น

5. การทดลองควรมีระดับพลังงานและโปรตีนหลายๆ ระดับเพื่อที่จะประเมินผลการตอบสนองของพลังงานและโปรตีนได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

รายการอ้างอิง

ชวนิศนดากร วรวรรณ. ม.ร.ว.. (2534). **การเลี้ยงโคนม**. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ:ไทยวัฒนาพานิช.

ทวี คงแก้ว. (2527). **วิชาการให้อาหารสัตว์เบื้องต้นและการให้อาหาร**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: เกษตรไทย.

บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. (2541). **โภชนศาสตร์สัตว์**. พิมพ์ครั้งที่ 6. เชียงใหม่:ธนบรรณการพิมพ์

พานิช ทินนิมิตร. (2535). **โภชนะศาสตร์สัตว์ประยุกต์**. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

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

วิบูลย์ศักดิ์ กาวิละ และ ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ. (2534). **การผลิตโคนม**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โอ.เอส.พริ้นติ้ง เฮ้าส์.

วิศิษฐิพร สุขสมบัติ. (2538). เอกสารประกอบการเรียนการสอน: **การผลิตโคนม**. นครราชสีมา. สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

วิศิษฐิพร สุขสมบัติ. (2539). เอกสารประกอบการเรียนการสอน: **โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง**. สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ศรีสกุล วรจันทรา และ รณชัย สิทธิไกรพงษ์. (2539). **โภชนศาสตร์สัตว์**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โอ.เอส.พริ้นติ้ง เฮ้าส์.

เสาวนิต คูประเสริฐ. (2537). **โภชนศาสตร์สัตว์**. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์: วิทยาเขตหาดใหญ่.

Agricultural Research Council. (1965). Requirements for Energy. (pp.193-247). In**: The Nutrient Requirements of Farm Livestock**. No. 2 Ruminants. Agricultural Research Council. London.

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

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

Amstrong, D.G. (1964). Evaluation of artificially dried grass as a source of energy for sheep. **Journal of Agricultural Science.** 62: 399-417.

Andrews, S.M., Tyrrell, H.F., Reynolds, C.K. and 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 Methods of Analysis**. Washington D.C. p.1298.

Baldwin, R.L., Lin, H.J., Cheng, W., Cabrera, R., and Ronning, M. (1969). Enzyme and metabolite levels in mammary and abdominal adipose tissue of lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**. 52: 183-192.

Bar-Peled, U., Aharoni, Y., Robinzon, B., Bruckental, I., Lehrer, R., Maltz, E., Knight, C., Gacitua, H., and Tagari, H. (1998). The effect of enhanced milk yield of dairy cows by frequent milking or suckling on intake and digestibility of the diet. **Journal of Dairy Science**. 81: 1420-1427.

Blaxter, K.L. (1962). **Energy metabolism in ruminant**. Hutchinson; Scientific and Technical, London.

Blaxter, K.L. and Clapperton, J.L. (1965). Prediction of the amount of methane produced by ruminants. **British Journal of Nutrition**. 19: 511-522.

Cannas, A., Pes, A., Mancuso, R., Vodret, B., and Nudda, A. (1998). Effect of dietary energy and protein concentration on the concentration of milk urea nitrogen in dairy ewes. **Journal of Dairy Science**. 81: 499-508.

Capuco, A.V., Smith, J.J., Waldo, R.R., and Elsasser, T.H. (1988). Effect of diet and prepubertal growth rate of Holstein heifers on mammary gland growth and milk production. **Journal of Dairy Science.** 71: (Suppl. 1): 229. (Abstr.)

Church, D.C. (1979). **Digestive Physiology and Nutrition of Ruminants.** O&B Books, Inc., Corvallis, Oregon, U.S.A.

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

Crooker, B.A., Sniffen, C.J., Hoover, W.H. and Johnson, L.L. 1978. Solvents for soluble nitrogen measurements in feedstuffs. **Journal of Dairy Science.** 4: 437.

Cunningham, K.D., Cecava, M.J., Johnson, T.R., and Ludden, P.A. (1996). Influence of source and amount of dairy protein on milk yield by cows in early lactation**. Journal of Dairy Science**. 79: 620-630.

Erdman, R.A., Knowlton, K.F., and Glenn, B.P. (1998). Performance, ruminal fermentation, and sit of starch digestion in early lactation cows fed corn grain harvested and processed differently. **Journal of Dairy Science**. 81: 1972-1984.

Fonnesbeck, P.V., Wardeh, M.F. and Harris, L.E. (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 animals**. Butterworths, London. 206 p.

Freer, M. (1981). The control of food intake by grazing animals. **In: Grazing Animal, World Animal Science**. Edited by Morley, F.H.W. Elsevier scientific publishing company: Amsterdom. pp.105-124.

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

Georing, H.K., and Van Soest, P.J. (1970). Forage fiber analysis. **Agricultural handbook, Agricultural research council**. Jecket No. 379. Washington, D.C. USDA.

Holm, J. (1973). **Feeding tables: composition and nutritive value of feedstuffs in northern Thailand**. (p.33). 2nd Ed. Chiang Mai, Thailand.

Jurjanz, S., Colin-Schoellen, O., Gsrdeur, J.N., and Laurent, F. (1998). Alteration of milk fat by variation in the source and amount of starch in a total mixed diet fed to dairy cows. **Journal of Dairy Science.** 81: 2924-2933.

Lemoquet, S., Rideau, N.,Rulquin, H., Faverdin, P., Simon, J., and Verite, R. (1997). Effects of a duodenal glucose infusion on the relationship between plasma concentration of glucose and insulin in dairy cows. **Journal of Dairy Science.** 80: 2854-2865.

Lindberg, J.E. (1985). Estimation of rumen degradability of feed proteins with the *in sacco* technique and various *in vitro* methods: A review. **Acta Agriculturae Scandinavica**. Supplement No. 25:64-97.

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

Minson, D.J. (1980). **In: Grazing Animals.** Ed. F.H.W. Morky. Elsevier Publishing Company. Amsterdam. The Netherlands.

Moe, P.W., Flatt, W.P. and Tyrell, H.F. (1972). Net energy value of feeds for dairy cattle. **Journal of Dairy Science.** 55: 945-958.

Morgan, D.E. and Barber, W.P. 1979. The advisor's approach to predicting the metabolisable energy value of feeds for ruminants. **In: Recent Advances in Animal Nutrition.** W. Haresign and D. Lewis (Eds), Butterworths, London.

Nakamura, T., Klopfenstein, T.J. and Britton, R.A. (1994). Evaluation of acid detergent insoluble nitrogen as an indicator of protein quality in nonforage proteins. **Journal of Animal Science.** 72: 1043.

National Research Council. 1985. **Ruminant Nitrogen Usage**. U.S. National Academy of Science, Washington, D.C., 138 p.

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

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

Ørskov, E.R. and Mehrez, A.Z. (1977). Estimation of extent of protein degradation from basal feeds in the ruminant of sheep. **Proceedings of the Nutrition Society.** 36: 78A.

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

Pirlo, G., Capelletti, M., and Marchetto, G. (1997). Effect of energy and protein allowances in the diets of prpubertal heifers on growth and milk production. **Journal of Dairy Science**. 80: 730-739.

Promma, S., Tasaki, I., Cheva-Isarakul, B. and Indratul, T. (1994). Digestibility of neutralised urea-treated rice straw and nitrogen retained in crossbred Holstein steers. **AJAS.** 7(4): 487-491.

Schmidt, G.H. and Van Vleck, L.D. (1974). **Principles of Dairy Sciences**. W.H. Freeman and company. San francisco.

Shaver, R.D., Nytes, A.J., Satter, L.D., and Jorgensen, N.A. (1986). Influence of amount of feed intake and forage physical form on digestion and passage of prebloom alfalfa hay in dairy cows. **Journal of Dairy Science**. 69: 1545-1559.

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

Statistical analysis system. (1985). **SAS User's Guide**: Statistics, Version 5 edition. Cary, NC : SAS institute.

Suksombat, W. (1993). Effect of concentrate supplementation on dairy cows performance, with emphasis on tropical forages. **Ph.D. Thesis,** Massey University, Palmerston North, New Zealand.

Tilley, J.M.A. and Terry, R. 1963. A two stage technique for *in vitro* diegstion of forgae crops. **Journal of the British Grassland Society**. 18: 104-111.

Van der Honing, Y. and Anderman, G. (1988). Feed evaluation and nutritional requirements: 2. Ruminants. **Livestock Production Science.** 19: 217-278.

Van Soest, P.J. (1982). **Nutrition Ecology of the Ruminant**. O&B Books, Inc., Corvallis, Oregon, U.S.A.

Vicini, J.L., Olson, P.K., Barnes, B., and Collier, R.J. (1995). Effect of prepubertal accelerated growth rate and somatotropin on subsequent milk production. **Journal of Dairy Science**. 78(Suppl. 1):180.(Abstr.)

Waldo, D.R. and Glenn, B.P. (1982). Comparison of new protein systems for lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science.** 65: 1115-1133.

Weiss, W.P. (1996). Estimating net energy of feeds. **Journal of Dairy Science.** 79: (Suppl.1): 262 (abstr.).

Weiss, W.P. and Shockey, W.L. (1991). Value of Orchard grass and alfalfa silage fed with varying amount of concentrates to dairy cows. **Journal of Dairy Science.** 74: 1933-1943.

Weiss, W.P., Conrad, H.R. and Shockey, W.L. (1983). Predicting digestible protein using acid detergent insoluble nitrogen. **Journal of Dairy Science.** 66 (Suppl.1): 192(abstr.).

Weiss, W.P., Conrad, H.R. and St.Pierre, N.R. (1992). A theoretically-based model for predicting total digestible nutrient values for forages and concentrates. **Animal Feed Science and Technology**. 39:95.

ภาคผนวก ก

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการทดลองแบบแฟกตอเรียล (Factorial experiment)

$$X_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

เมื่อกำหนดให้ X คือ ค่าสังเกตแต่ละค่า

μ คือ ค่าเฉลี่ยของประชากร

α , β คือ อิทธิพลหลักของแฟกเตอร์ A และ B ตามลำดับ

$\alpha\beta$ คือ ปฏิกิริยาระหว่างอิทธิพลหลัก

ε คือ ค่าความคาดเคลื่อนในการทดลอง

i คือ จำนวนระดับของแฟกเตอร์ A

j คือ จำนวนระดับของแฟกเตอร์ B

k คือ จำนวนค่าสังเกตในแต่ละทรีทเมนต์

ตารางวิเคราะห์วาเรียนซ์ของการทดลองที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์ปริมาณการกินได้ของโภชนะในอาหารรวม จากตารางที่ 4.4

Source	df	SS	MS	F value	Pr > F
การกินได้วัตถุแห้ง					
Treatment	3	1.34	0.45	0.23	0.8723
Energy (E)	1	0.92	0.92	0.48	0.4971
Protein (P)	1	0.30	0.30	0.16	0.6953
ExP	1	0.12	0.12	0.06	0.8050
Error	20	38.47	1.92		
Total	23	39.82			
$\mathbf{R^2}$ = 0.03		**C.V.** = 9.99			
การกินได้โภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด					
Treatment	3	1.48	0.49	0.41	0.7471
Energy (E)	1	1.23	1.23	1.02	0.3244
Protein (P)	1	0.21	0.21	0.18	0.6773
ExP	1	0.04	0.04	0.03	0.8586
Error	20	24.06	1.20		
Total	23	25.55			
$\mathbf{R^2}$ = 0.06		**C.V.** = 12.56			
การกินได้โปรตีนรวม					
Treatment	3	142788.79	47596.26	0.63	0.6031
Energy (E)	1	22143.37	22143.37	0.29	0.5937
Protein (P)	1	119427.04	119427.04	1.58	0.2225
ExP	1	1218.37	1218.37	0.02	0.9001
Error	20	1507027.83	75351.39		
Total	23	1649816.63			
$\mathbf{R^2}$ = 0.09		**C.V.** = 13.74			

ตารางที่ 2 **ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์ปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบในน้ำนม จากตารางที่ 4.5**

Source	df	SS	MS	F value	Pr > F
ปริมาณน้ำนม					
Treatment	3	9.16	3.05	0.43	0.7343
Energy (E)	1	7.04	7.04	0.99	0.3318
Protein (P)	1	2.04	2.04	0.29	0.5982
ExP	1	0.08	0.08	0.01	0.9158
Error	20	142.36	7.12		
Total	23	151.52			
$\mathbf{R^2}$ = 0.06		**C.V.** = 19.73			
ปริมาณไขมันในน้ำนม					
Treatment	3	10579.79	3526.60	0.26	0.8514
Energy (E)	1	2380.04	2380.04	0.18	0.6782
Protein (P)	1	5859.37	5859.37	0.44	0.5164
ExP	1	2340.37	2340.37	0.17	0.6807
Error	20	268506.17	13425.31		
Total	23	279085.95			
$\mathbf{R^2}$ = 0.38		**C.V.** = 20.55			
ปริมาณโปรตีนในน้ำนม					
Treatment	3	5703.50	1901.17	0.36	0.7796
Energy (E)	1	4482.67	4482.67	0.86	0.3652
Protein (P)	1	1204.17	1204.17	0.23	0.6363
ExP	1	16.67	16.67	0.00	0.9555
Error	20	104440.33	5222.02		
Total	23	110143.83			
$\mathbf{R^2}$ = 0.05		**C.V.** = 16.99			

ตารางที่ 2 ต่อ

Source	df	SS	MS	F value	Pr > F
ปริมาณของแข็งพร่องไขมันนม					
Treatment	3	44448.12	14816.04	0.27	0.8452
Energy (E)	1	31610.04	31610.04	0.58	0.4556
Protein (P)	1	1001.04	1001.04	0.02	0.8936
ExP	1	11837.04	11837.04	0.22	0.6465
Error	20	1091723.50	54586.17		
Total	23	1136171.63			
$\mathbf{R^2}$ = 0.04		**C.V.** = 19.76			
ปริมาณของแข็งรวมในน้ำนม					
Treatment	3	87706.17	29235.39	0.25	0.8591
Energy (E)	1	51337.50	51337.50	0.44	0.5137
Protein (P)	1	11792.67	11792.67	0.10	0.7533
ExP	1	24576.00	24576.00	0.21	0.6504
Error	20	2322139.67	116106.98		
Total	23	2409845.83			
$\mathbf{R^2}$ = 0.04		**C.V.** = 19.51			

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์เปอร์เซ็นต์องค์ประกอบในน้ำนม จากตารางที่ 4.6

Source	df	SS	MS	F value	Pr > F
เปอร์เซ็นต์ไขมันนม					
Treatment	3	0.4683	0.1561	1.30	0.3034
Energy (E)	1	0.2017	0.2017	1.67	0.2105
Protein (P)	1	0.0267	0.0267	0.22	0.6431
ExP	1	0.2400	0.2400	1.99	0.1735
Error	20	2.4100	0.1205		
Total	23	2.8783			
$\mathbf{R^2}$ = 0.16		**C.V.** = 8.28			
เปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนม					
Treatment	3	0.0479	0.0160	0.23	0.8724
Energy (E)	1	0.0037	0.0037	0.05	0.8175
Protein (P)	1	0.0104	0.0104	0.15	0.7009
ExP	1	0.0337	0.0337	0.49	0.4911
Error	20	1.3717	0.0686		
Total	23	1.4196			
$\mathbf{R^2}$ = 0.03		**C.V.** = 8.39			
เปอร์เซ็นต์ของแข็งพร่องไขมันนม					
Treatment	3	1.5012	0.5004	3.02	0.0540
Energy (E)	1	0.1504	0.1504	0.91	0.3524
Protein (P)	1	0.3504	0.3504	2.11	0.1617
ExP	1	1.0004	1.0004	6.03	0.0233
Error	20	3.3183	0.1659		
Total	23	4.8196			
$\mathbf{R^2}$ = 0.31		**C.V.** = 4.65			

ตารางที่ 3 ต่อ

Source	df	SS	MS	F value	Pr > F
เปอร์เซ็นต์ของแข็งรวมในนม					
Treatment	3	3.1350	1.0450	3.84	0.0254
Energy (E)	1	0.7350	0.7350	2.70	0.1159
Protein (P)	1	0.2400	0.2400	0.88	0.3589
ExP	1	2.1600	2.1600	7.94	0.0106
Error	20	5.4433	0.2722		
Total	23	8.5783			
$\mathbf{R^2}$ = 0.37		**C.V.** = 4.03			

ตารางที่ 4 **ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์น้ำหนักตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลองและน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของโค จากตารางที่ 4.7**

Source	df	SS	MS	F value	Pr > F
น้ำหนักตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลอง					
Treatment	3	1364.33	454.78	0.19	0.8989
Energy (E)	1	1040.17	1040.17	0.44	0.5124
Protein (P)	1	1.50	1.50	0.00	0.9800
ExP	1	322.67	322.67	0.14	0.7142
Error	20	46761.00	2338.05		
Total	23	48125.33			
$\mathbf{R^2}$ = 0.03		**C.V.** = 11.15			
น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง					
Treatment	3	210755.33	70251.78	0.32	0.8076
Energy (E)	1	5280.67	5280.67	0.02	0.8775
Protein (P)	1	864.00	864.00	0.00	0.9503
ExP	1	204610.67	204610.67	0.95	0.3425
Error	20	4329328.00	216466.40		
Total	23	4540083.33			
$\mathbf{R^2}$ = 0.05		**C.V.** = 976.07			

ตารางวิเคราะห์วาเรียนซ์ของการทดลองที่ 2

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์ปริมาณการกินได้ของโภชนะในอาหารรวมจากตารางที่ 5.4

Source	df	SS	MS	F value	Pr > F
การกินได้วัตถุแห้ง					
Treatment	3	2.13	0.71	0.31	0.8170
Energy (E)	1	0.20	0.20	0.09	0.7686
Protein (P)	1	1.93	1.93	0.84	0.3690
ExP	1	0.00	0.00	0.00	0.9968
Error	20	45.74	2.29		
Total	23	47.88			
$\mathbf{R^2}$ = 0.05		**C.V.** = 10.36			
การกินได้ TDN					
Treatment	3	1.88	0.63	0.48	0.6976
Energy (E)	1	0.41	0.41	0.32	0.5789
Protein (P)	1	1.47	1.47	1.13	0.3001
ExP	1	0.00	0.00	0.00	0.9914
Error	20	25.99	1.30		
Total	23	27.87			
$\mathbf{R^2}$ = 0.07		**C.V.** = 12.32			
การกินได้โปรตีนรวม					
Treatment	3	140012.34	46670.78	0.70	0.5620
Energy (E)	1	86614.51	86614.51	1.30	0.2672
Protein (P)	1	52790.27	52790.27	0.79	0.3835
ExP	1	607.56	607.56	0.01	0.9248
Error	20	1329826.86	66491.34		
Total	23	1469839.20			
$\mathbf{R^2}$ = 0.10		**C.V.** = 12.48			

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์ปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนม จากตารางที่ 5.5

Source	df	SS	MS	F value	Pr > F
ปริมาณน้ำนม					
Treatment	3	12.51	4.17	1.16	0.3501
Energy (E)	1	4.51	4.51	1.25	0.2764
Protein (P)	1	7.04	7.04	1.96	0.1772
ExP	1	0.96	0.96	0.27	0.6112
Error	20	71.97	3.60		
Total	23	84.48			
$\mathbf{R^2}$ = 0.15		**C.V.** = 16.29			
ปริมาณไขมันในน้ำนม					
Treatment	3	48681.79	16227.26	1.63	0.2150
Energy (E)	1	4959.37	4959.37	0.50	0.4890
Protein (P)	1	43605.37	43605.37	4.37	0.0496
ExP	1	117.04	117.04	0.01	0.9148
Error	20	199616.17	9980.81		
Total	23	248297.96			
$\mathbf{R^2}$ = 0.20		**C.V.** = 18.90			
ปริมาณโปรตีนในน้ำนม					
Treatment	3	6640.46	2213.49	0.65	0.5937
Energy (E)	1	513.37	513.37	0.15	0.7025
Protein (P)	1	6112.04	6112.04	1.79	0.1962
ExP	1	15.04	15.04	0.00	0.9478
Error	20	68385.17	3419.26		
Total	23	75025.62			
$\mathbf{R^2}$ = 0.09		**C.V.** = 14.94			

ตารางที่ 6 ต่อ

Source	df	SS	MS	F value	Pr > F
ปริมาณของแข็งพร่องไขมัน					
Treatment	3	92857.50	30952.50	0.99	0.4164
Energy (E)	1	23437.50	23437.50	0.75	0.3962
Protein (P)	1	63654.00	63654.00	2.04	0.1685
ExP	1	5766.00	5766.00	0.18	0.6718
Error	20	623582.33	31179.12		
Total	23	716439.83			
$\mathbf{R^2}$ = 0.13		**C.V.** = 17.42			
ปริมาณของแข็งรวมในนม					
Treatment	3	269859.00	89953.00	1.25	0.3175
Energy (E)	1	50233.50	50233.50	0.70	0.4129
Protein (P)	1	212064.00	212064.00	2.95	0.1012
ExP	1	7561.50	7561.50	0.11	0.7490
Error	20	1436807.00	71840.35		
Total	23	1706666.00			
$\mathbf{R^2}$ = 0.16		**C.V.** = 17.38			

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์เปอร์เซ็นต์องค์ประกอบในน้ำนม จากตารางที่ 5.6

Source	df	SS	MS	F value	Pr > F
เปอร์เซ็นต์ไขมันนม					
Treatment	3	07077	0.2359	1.00	0.4139
Energy (E)	1	0.0513	0.0513	0.22	0.6461
Protein (P)	1	0.5075	0.5075	2.15	0.1583
ExP	1	0.1488	0.1488	0.63	0.4367
Error	20	4.7251	0.2363		
Total	23	5.4328			
$\mathbf{R^2}$ = 0.13		**C.V.** = 10.69			
เปอร์เซ็นต์โปรตีนในนม					
Treatment	3	0.1483	0.0494	1.01	0.4079
Energy (E)	1	0.1067	0.1067	2.18	0.1550
Protein (P)	1	0.0150	0.0150	0.31	0.5856
ExP	1	0.0267	0.0267	0.55	0.4685
Error	20	0.9767	0.0488		
Total	23	1.1250			
$\mathbf{R^2}$ = 0.13		**C.V.** = 6.74			
เปอร์เซ็นต์ของแข็งพร่องไขมันนม					
Treatment	3	0.1033	0.0344	0.37	0.7747
Energy (E)	1	0.0600	0.0600	0.65	0.4309
Protein (P)	1	0.0417	0.0417	0.45	0.5106
ExP	1	0.0017	0.0017	0.02	0.8947
Error	20	1.8567	0.0928		
Total	23	1.9600			
$\mathbf{R^2}$ = 0.05		**C.V.** = 3.50			

ตารางที่ 7 ต่อ

Source	df	SS	MS	F value	Pr > F
เปอร์เซ็นต์ของแข็งรวมในนม					
Treatment	3	1.1446	0.3815	0.83	0.4938
Energy (E)	1	0.1504	0.1504	0.33	0.5740
Protein (P)	1	0.8437	0.8437	1.83	0.1910
ExP	1	0.1504	0.1504	0.33	0.5740
Error	20	9.2117	0.4606		
Total	23	10.3562			
$\mathbf{R^2}$ = 0.11		**C.V.** = 5.13			

ตารางที่ 8 **ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์น้ำหนักตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลองและน้ำหนักเปลี่ยนแปลงของโค จากตารางที่ 5.7**

Source	df	SS	MS	F value	Pr > F
น้ำหนักตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลอง					
Treatment	3	3629.83	1209.94	0.54	0.6594
Energy (E)	1	2128.17	2128.17	0.95	0.3408
Protein (P)	1	121.50	121.50	0.05	0.8180
ExP	1	1380.17	1380.17	0.62	0.4411
Error	20	44688.00	2234.40		
Total	23	48317.83			
$\mathbf{R^2}$ = 0.08		**C.V.** = 10.93			
น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง					
Treatment	3	1894259.00	631419.67	2.72	0.0716
Energy (E)	1	1590320.17	1590320.17	6.86	0.0165
Protein (P)	1	252970.67	252970.67	1.09	0.3088
ExP	1	50968.17	50968.17	0.22	0.6443
Error	20	4639808.33	231990.42		
Total	23	6534067.33			
$\mathbf{R^2}$ = 0.29		**C.V.** = 291.62			

ภาคผนวก ข

การประมาณค่าโปรตีนที่ได้รับจากอาหารกับความต้องการโภชนะโปรตีนของโค

การประมาณค่าโปรตีนที่ได้รับจากอาหารกับความต้องการโภชนะโปรตีนของโคว่าเพียงพอกับความต้องการหรือไม่ ทั้ง 2 การทดลอง ในตารางที่ 4.8 และตารางที่ 5.8 สามารถคำนวณได้ด้วยวิธีการ ดังนี้

การคำนวณโภชนะโปรตีนที่ได้รับจากอาหาร TMR

การคำนวณค่าโปรตีนที่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (RDP) ค่าโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (UDP) และค่าโปรตีนหยาบ (CP) ที่โคได้รับในอาหาร TMR ทั้ง 4 กลุ่มการทดลองสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$UDP = CP - RDP$$

โดยที่ CP และ RDP คำนวณได้จากสมการ

$$CP\ (g/day) = (CP_{\text{ของ TMR ก่อนกิน}} - CP_{\text{ของ TMR หลังกิน}}) \times dg_{\text{ของ TMR ในแต่ละกลุ่มการทดลอง}}\ (kgDM)$$

$$RDP = (CP_{\text{ที่กินได้ของ TMR}} \times dg_{\text{ของ TMR ในแต่ละกลุ่มการทดลอง}})$$

การประมาณค่าความต้องการโปรตีนของโค

การคำนวณค่า UDP RDP และ CP ตามความต้องการของโคทั้ง 4 กลุ่ม คำนวณได้จากสมการ

$$CP\ (g/day) = (RDP + UDP) \times 1.15$$

เนื่องจากโคสามารถนำค่า Recycled protein N มาใช้ได้อีกประมาณ 15 % ดังนั้น จึงทำให้ค่าความต้องการโปรตีนของโคสูงกว่าโปรตีนที่กินได้จากอาหาร โดยที่ค่า RDP และ UDP สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$RDP = MCP \times 0.9$$

เมื่อ MCP (Microbial crude protein)$= 6.25 \times [-30.93+(11.45 \times NE_{intake})]$

$UDP = AP_{UDP} / (0.66 \times 0.8)$

เมื่อ AP_{UDP} (Absorbed protein from UDP)

คำนวณได้จาก $AP_{UDP} = AP_R - AP_{MCP}$

โดยที่ค่า AP_R (Total absorbed protein requirement) และ AP_{MCP} (Absorbed protein from microbial crude protein) นั้นสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$AP_{MCP} = MCP \times 0.64$$

$$AP_R = AP_m + AP_l + AP_g$$

เมื่อค่า AP_m (Absorbed protein for maintenance) AP_l (Absorbed protein for lactation) และ AP_g (Absorbed protein for growth)สามารถคำนวณได้จากสมการ

$AP_m = [(EUP + DPL)/0.67] + MFP$

EUP (Endogenous urinary protein) = $2.75\ LW^{0.5}$ (g/day)

DPL (Dermal protein loss) = $0.2\ LW^{0.6}$ (g/day)

MFP (Metabolic fecal protein) = 0.03 DMintake (g/day)

AP_l = (milk x protein g/kg milk) / 0.65

AP_g = 175-188 g/kg gain

(181.5 g/kg gain และ 160 g/kg loss)

พลังงานสุทธิ (NE) ที่กินได้และค่าพลังงานที่โคใช้เพื่อกิจกรรมต่างๆ ของโคนม

การประมาณค่าพลังงานสุทธิที่กินได้ของโคนม และค่าพลังงานที่โคใช้เพื่อกิจกรรมต่างๆ รวมถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโคที่ได้รับอาหารทั้ง 4 กลุ่มการทดลอง ของทั้ง 2 การทดลอง ในตารางที่ 4.9 และ 5.9 สามารถคำนวณได้ดังนี้

1) พลังงานรวมสุทธิที่กินได้ (Total NEL_{intake}) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$NEL_{intake} = NE_L \times DM_{intake}$$

เมื่อ $NE_L = (0.0245 \times TDN) - 0.125$

โดยที่ NE_L สามารถคำนวณได้จากค่า TDN ที่ได้คำนวณมาจากค่าพลังงานของโภชนะต่างๆ คือ CP, Fat, NFC และ NDF โดยในการคำนวณต้องใช้ค่า True digestibility (TD) ของโภชนะนั้นๆ ด้วย ค่า TDN จึงสามารถคำนวณได้จากสมการ

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

โดยที่ค่า E_{CP} (Energy of crude protein) E_{FA} (Energy of fatty acid) E_{NDF} (Energy of Neutral detergent fiber) และ E_{NFC} (Energy of nitrogen-free extract)สามารถคำนวณได้จาก

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

เมื่อค่า $TD_{CP} = 1 - (0.004 \times ADIN)$

$E_{FA} = [1.03 - (0.03\ FA)] \times 2.25\ FA$

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

เมื่อค่า NDF_N = NDF – NDICP (โดยที่ NDICP เท่ากับ NDIN x 6.25)

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

2) พลังงานสุทธิเพื่อการดำรงชีพ (NE_m) คำนวณได้จากสมการ

$$NE_m = 0.08 \times LW^{0.75}$$

3) พลังงานสุทธิเพื่อใช้ในการผลิตนม (NE_l) คำนวณได้จากสมการ

$$NE_l = [0.3512 \times (0.0962 \times \%\text{Milk fat})] \times \text{Milk yield (g/day)}$$

4) พลังงานสุทธิเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต (NE_g) คำนวณได้จากสมการ

$$NE_g = \begin{matrix} 4.92 \times \text{BW change (kg loss)} \\ 5.12 \times \text{BW change (kg gain)} \end{matrix}$$

ประวัติผู้เขียน

นางสาวรัชนีกร มูลปา เกิดเมื่อวันที่ 19 มิถุนายน พ.ศ. 2517 จังหวัดขอนแก่น ศึกษาระดับปริญญาตรีในสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาเมื่อปี พ.ศ. 2541 และได้ศึกษาต่อระดับปริญญาโทในสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ในปี พ.ศ. 2541