บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การทดลองที่ 1. องค์ประกอบทางเคมีและคุณภาพของข้าวโพดหมัก

4.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวโพดหมัก

ข้าวโพดหมักที่ใช้ในการทดลองมีองค์ประกอบทางเคมีดังแสดงไว้ในตาราง 7 พบว่ามี OM 94.62%, DM ประมาณ 30% และ CP 7.92% ใกล้เคียงกับรายงานของ บุญเสริม (2542) คือ 7.9% ซึ่งได้ทำการตัดต้นข้าวโพดมาหมักในระยะที่เมล็ดเป็นแป้งประมาณ 50% ของเมล็ดเช่นเดียวกัน แต่มีคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่าย (NFC) สูงกว่า (30.55% เทียบกับ 26.2%) สำหรับเยื่อใยในรูป NDF และ ADF มีค่าเท่ากับ 52.91% และ 28.91% ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่ารายงานอื่น ๆ ทั้งนี้เนื่องจากค่า NDF และ ADF ในการทดลองครั้งนี้ได้หักค่าเถ้าออกด้วยเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องยิ่งขึ้น

ตาราง 7. องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละของวัตถุแห้ง) ของข้าวโพดหมักที่ใช้ในการทดลองที่ 1 และ 2

Chemical composition (DM basis) of corn silage in experiment 1 and 2

Chemical composition	%DM	Chemical composition	%DM
Dry matter	30.06	Acid detergent lignin	3.00
Organic matter	94.62	Cellulose	26.01
Crude protein	7.92	Hemicellulose[2]	24.00
Ether extract	3.24	Nonfiber carbohydrate [3]	30.55
Ash	5.38	GE (Mcal/kgDM)	4.24
Neutral detergent fiber [1]	52.91	pH	4.10
Acid detergent fiber [1]	28.91		

Note : [1] NDF and ADF are ash free

[2] Hemicellulose = %NDF - %ADF

[3] NFC = DM - Ash - CP - EE - NDF

ข้าวโพดหมักที่ใช้ในการทดลองมี pH 4.1 จัดว่ามีคุณภาพดี ซึ่ง Ely (1988) รายงานไว้ว่า ข้าวโพดหมักที่มีคุณภาพดีควรมี pH น้อยกว่า 4.2 เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของข้าวโพดหมักที่ใช้ในการศึกษานี้กับต้นข้าวโพดหวานหลังเก็บฝักหมัก ตามรายงานของเสาวลักษณ์ และคณะ (2543) พบว่าข้าวโพดหมักมี DM และ NFC สูงกว่า (30.06% เทียบกับ 23.73 และ 30.55% เทียบกับ 12.19% ตามลำดับ) แต่มี CP และ NDF ต่ำกว่า (7.92% เทียบกับ 10.37% และ 52.91% เทียบกับ 66.87% ตามลำดับ) ที่เป็นเช่นนี้เพราะข้าวโพดที่นำมาหมักในการทดลองนี้มีฝักอยู่ด้วย ส่วนของเสาวลักษณ์ และคณะ (2543) ไม่มีฝัก ซึ่งฝักมีส่วนของเยื่อใยน้อยกว่าแต่มีแป้งมากกว่า จึงทำให้ข้าวโพดหมักในการทดลองนี้มีค่า NDF ซึ่งเป็นส่วนของเยื่อใยต่ำกว่า แต่มี NFC ซึ่งเป็นส่วนของคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่ายสูงกว่า สำหรับปริมาณโปรตีนที่มีค่าต่างกันนั้นอาจเนื่องมาจากการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในระดับต่างกัน โดยต้นข้าวโพดหวานของเสาวลักษณ์ และคณะ (2543) เป็นข้าวโพดที่ปลูกเพื่อการบริโภคของคน จึงจำเป็นต้องมีการดูแลรักษาอย่างดีและใส่ปุ๋ยมาก การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในระดับสูงมีผลทำให้ปริมาณโปรตีนในพืชสูงด้วย (O'Leary and Rehm, 1990; DiRienzo *et al.*, 1991)

4.1.2 ปริมาณกรดอินทรีย์ของข้าวโพดหมัก

ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดอินทรีย์ ซึ่งได้แก่ กรดอะซิติก กรดแลคติก และกรดบิวทีริกในข้าวโพดหมัก แสดงในตาราง 8 โดยทั่วไปข้าวโพดหมักที่มีคุณภาพดีควรมีกรดแลคติก 1.5-2.5% กรดอะซิติก 0.5-0.8% และกรดบิทีริกน้อยกว่า 0.01% (Ely, 1988) ข้าวโพดหมักที่ใช้ศึกษามีปริมาณกรดแลคติกและกรดบิวทีริกอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด แต่มีกรดอะซิติกสูงกว่าเกณฑ์ อย่างไรก็ดี Phillip *et al.* (1980) และ Weiss (1995) รายงานว่ากรดแลคติกของพืชหมักสูงถึง 3.6% และ 3.0% ตามลำดับ Catchpoole and Henzell (1971) รายงานว่าพืชในเขตร้อนเมื่อนำมาหมักจะมีความฟ่ามมากกว่าพืชในเขตหนาว นอกจากนี้ยังมีคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่ายต่ำกว่า จึงทำให้มีการผลิตกรดแลคติกต่ำกว่าและผลิตกรดอะซิติกสูงกว่าพืชในเขตหนาว เมื่อให้คะแนนคุณภาพของข้าวโพดหมักในการศึกษานี้ตามเกณฑ์ของ Zimmer (1966, อ้างโดยบุญล้อม และบุญเสริม, 2525) จะได้คะแนน 68 คะแนน ซึ่งอยู่ในเกณฑ์พืชหมักคุณภาพดี รายงานของฉันทนา (2543) พบว่าการนำพืชหมักออกมาจากหลุมหมักและบรรจุถุงใหม่ จะเกิดกระบวนการหมักขึ้นอีกครั้ง (secondary fermentation) ซึ่งมีผลทำให้เพิ่มปริมาณกรดอะซิติกและคุณภาพของข้าวโพดหมักลดลง

ตาราง 8. ปริมาณกรดอินทรีย์และคะแนนคุณภาพของข้าวโพดหมักในการทดลองที่ 1

Organic acid and quality score of corn silage in experiment 1

Organic acid	% fresh matter
Acetic acid	1.3
Butyric acid	0
Lactic acid	1.71
Qual. Score[1]	68

[1] Quality score 0 - 20 = Grade 5 = bad 61 - 80 = Grade 2 = good
21 - 40 = Grade 4 = fair 81 - 100 = Grade 1 = very good
41 - 60 = Grade 3 = average

4.2 การทดลองที่ 2. การหาการย่อยได้และพลังงานของข้าวโพดหมัก

4.2.1 ปริมาณข้าวโพดหมักที่โคกินได้ (voluntary feed intake, VFI)

การทดลองให้โคนมแห้งกินข้าวโพดหมักเป็นอาหารหยาบเดี่ยวอย่างเต็มที่ได้ผลดังแสดงไว้ในตาราง 9 จะเห็นว่าปริมาณวัตถุแห้งที่โคกินได้มีค่าเท่ากับ 5,036.5 กรัม/วัน หรือเท่ากับ 1.13 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว (%BW) หรือเท่ากับ 51.96 กรัม/กิโลกรัมของน้ำหนักตัว$^{0.75}$ (g/kgBW$^{0.75}$) ซึ่งต่ำกว่าของโครีดนม ที่ Huber *et al.* (1965) ได้รายงานไว้คือ 1.27%BW ส่วนในโคนมสาวที่กำลังเจริญเติบโตกินข้าวโพดหมักคิดเป็นวัตถุแห้งเท่ากับ 1.95, 2.03 %BW และ 83.7 g/kgBW$^{0.75}$ ตามลำดับ (Shaver *et al.*,1984; Cleale *et al.*,1990; Waldo *et al.*,1997) การที่โคทดลองกินวัตถุแห้งได้ต่ำอาจเนื่องมาจากเป็นโคนมแห้งที่ไม่อุ้มท้อง ดังนั้นสัตว์จึงต้องการโภชนะไม่สูง นอกจากนี้ยังอาจเนื่องมาจาก pH ของข้าวโพดหมักที่โคกิน ซึ่ง Erdman (1988) และ Shaver *et al.* (1984) รายงานว่าโคจะกินอาหารได้น้อยถ้าข้าวโพดหมักมี pH ต่ำกว่า 4.50 แต่ช่วง pH ที่จะทำให้โคกินอินทรียวัตถุได้สูงสุดคือ 5-6 ข้าวโพดหมักที่ใช้เลี้ยงโคในการทดลองนี้มี pH 4.10 น่าจะเป็นสาเหตุอีกประการหนึ่งที่ทำให้โคทดลองกินอาหารได้น้อย ดังนั้นการที่อาหารมีความชื้นสูงหรือมีกรดอยู่ด้วยอาจเป็นตัวจำกัดปริมาณการกินได้ของสัตว์ได้เช่นกัน ดังที่บุญล้อมและทิพย์วรรณ (2531) ได้รายงานถึงปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้ของเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนในแกะ คือ ถ้าอยู่ในรูปพืชหมักกินได้เพียง 1.2% ของน้ำหนักตัว แต่เมื่ออยู่ในรูปเปลือกสดกินได้ 1.6% ของน้ำหนักตัว และเมื่ออยู่ในรูปเปลือกแห้งกินได้สูงถึง 2.7% ของน้ำหนักตัว เช่นเดียวกับรายงานของ

เสาวลักษณ์ และคณะ (2543) รายงานว่าโคจะกินต้นข้าวโพดหวานหลังเก็บฝักหมักที่มีวัตถุแห้งต่ำ (23.75%) ได้น้อยกว่าต้นข้าวโพดหวานหลังเก็บฝักหมักที่มีวัตถุแห้งสูงกว่า (29%) คือ 0.97 เทียบกับ 2.3% ของน้ำหนักตัว

ตาราง 9. น้ำหนักตัวและปริมาณวัตถุแห้งของข้าวโพดหมักที่โคกินได้

Body weight and corn silage dry matter intake of cows

	Dry matter intake			
	BW (kg)	g/day	%BW	$g/kgW^{0.75}$
Mean	445	5,036.5	1.13	51.96
SD	69.64	777.89	0.09	4.19

4.2.2 การย่อยได้ของโภชนะและพลังงานของข้าวโพดหมัก

ค่าการย่อยได้ของโภชนะต่าง ๆ ที่ทำการศึกษาโดยให้โคกินข้าวโพดหมักเป็นอาหารหยาบเดี่ยว และค่าพลังงานของข้าวโพดหมักแสดงไว้ในตาราง 10 จะเห็นได้ว่าข้าวโพดหมักมีค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง และอินทรียวัตถุ เท่ากับ 61.14% และ 65.19% ตามลำดับ ใกล้เคียงกับที่ Bal *et al.* (1997) ได้รายงานไว้คือ 61.4% และ 63.8% ตามลำดับ ในรายงานของ Huber *et al.* (1965) ได้ผลที่น่าสนใจมาก กล่าวคือ ข้าวโพดหมักที่ตัดมาทำข้าวโพดหมักที่อายุต่างกัน 3 ระยะ ตามความนุ่มหรือแข็งของแป้งเมล็ดข้าวโพด คือ soft, medium และ hard dough ภายในปีเดียวกันมีค่าการย่อยได้ของ CP, CF, NFE และ EE ไม่แตกต่างกัน ขณะที่ความแตกต่างของค่าการย่อยโภชนะระหว่างปีที่ปลูกมีค่าการย่อยได้ของโภชนะต่างกันอย่างเห็นได้ชัด แสดงว่าอิทธิพลของฤดูเพาะปลูกในแต่ละปีมีอิทธิพลต่อคุณค่าทางอาหารของข้าวโพดหมักมากกว่าอายุการเก็บเกี่ยว Cleale *et al.* (1990) รายงานว่าข้าวโพดหมักมีค่าการย่อยได้ของ NDF และ ADF เท่ากับ 61.8% และ 58.4% ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าค่าที่ได้ในการทดลองนี้ ทั้งนี้เนื่องจากข้าวโพดหมักของ Cleale *et al.* (1990) มีค่าโปรตีนสูงกว่าข้าวโพดหมักที่ใช้ในการศึกษานี้ (10.25 เทียบกับ 7.92%) การที่อาหารมีโปรตีนสูงทำให้จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนมีการเจริญเติบโตดีขึ้น ส่งผลให้การย่อยได้ของโภชนะต่าง ๆ สูงขึ้น (Nocek and Russell, 1988)

ตาราง 10. การย่อยได้ของโภชนะและค่าพลังงานในข้าวโพดหมัก

Nutrient digestibility of and energy contents of corn silage

Nutrient	Digestibility (%)	Nutrient	Digestibility (%)
Dry matter	61.14 ± 1.26	Acid detergent fiber	54.05 ± 2.02
Organic matter	65.19 ± 1.27	Nonfiber carbohydrate	82.92 ± 1.88
Crude protein	49.41 ± 1.76	N-balance (g/day)	14.14 ± 8.02
Ether extract	78.54 ± 1.70	TDN (%)	65.22 ± 1.21
Neutral detergent fiber	57.17 ± 2.22	DE (Mcal/kgDM)	2.72 ± 0.02

การที่ค่าการย่อยได้ของโภชนะต่าง ๆ ของข้าวโพดหมักในการทดลองนี้มีค่าแตกต่างจากงานทดลองอื่นไปบ้าง อาจเนื่องมาจากสาเหตุหลายประการ เช่น สภาพการปลูก อายุการเก็บเกี่ยว และกรรมวิธีหมัก เป็นต้น ค่า TDN ของข้าวโพดหมักในการศึกษาครั้งนี้มีค่าเท่ากับ 65.22% มีค่าใกล้เคียงกับรายงานของ Huber *et al.* (1965) และฉันทนา (2543) คือ 66.1 และ 66.49% ตามลำดับ

เมื่อคำนวณสมดุลไนโตรเจน (N-balance) ในโคทดลองซึ่งกินข้าวโพดหมักเพียงอย่างเดียว พบว่า สมดุลไนโตรเจนมีค่าเป็นบวกเท่ากับ 14.4 กรัม/วัน หมายถึงมีการสะสมไนโตรเจนในร่างกายของโค นั่นคือโคที่อยู่ในระยะนมแห้งได้รับข้าวโพดหมักเป็นอาหารเพียงอย่างเดียวจะได้รับโปรตีนสูงกว่าความต้องการในการดำรงชีพ แต่อย่างไรก็ตาม Grieve et al. (1980) แนะนำว่าไม่ควรให้โคที่อยู่ในช่วงระยะท้ายของการให้นม หรือโคที่อยู่ในระยะนมแห้งกินข้าวโพดหมักอย่างเต็มที่ เนื่องจากโคจะได้รับพลังงานเกินความต้องการ เป็นสาเหตุทำให้โคอ้วนเกินไป

4.2.3 ค่าพลังงาน DE, ME และ NEL ของข้าวโพดหมัก

DE, ME และ NEL ที่คำนวณจากค่า TDN ตามสมการที่เสนอโดย NRC (2001) และค่าดังกล่าวที่คำนวณจาก DE ซึ่งวัดโดยตรงจากการย่อยได้แสดงไว้ในตาราง 11 พบว่า พลังงาน ME และ NEL ที่คำนวณจาก TDN (2.45 และ 1.48 Mcal/kg ตามลำดับ) มีค่าสูงกว่าที่คำนวณจาก DE (2.3 และ 1.44 Mcal/kg ตามลำดับ) เล็กน้อย ส่วนค่า DE ที่วัดได้จากค่าการย่อยได้ (2.72 Mcal/kg) มีค่าต่ำกว่าที่คำนวณจาก TDN (2.88 Mcal/kg) เล็กน้อยเช่นกัน ในรายงานการหาค่าพลังงานของวัตถุดิบอาหารสัตว์ของสตางค์ (2543) ซึ่งศึกษาในเปลือกและซังข้าว

โพดหวานหมัก เสาวลักษณ์ (2542) ศึกษาในฟางข้าว และไกรสิทธิ (2543) ศึกษาในต้นอ้อยสับตากแห้ง ได้ผลในทำนองเดียวกันว่าค่า ME และ NEL ที่คำนวณจากค่า TDN มีค่าสูงกว่าที่คำนวณจากค่า DE ส่วนค่า DE ที่วัดโดยตรงจากการทดลองกับสัตว์จะมีค่าต่ำกว่าค่า DE ที่คำนวณจากค่า TDN ในการศึกษานี้เมื่อหาค่าเฉลี่ยจากทั้ง 2 วิธี จะได้ค่า DE, ME และ NEL ของข้าวโพดหมักเท่ากับ 2.80, 2.38 และ 1.46 Mcal/kgDM ตามลำดับ ใกล้เคียงกับรายงานของบุญเสริม (2543) ที่พบว่าข้าวโพดหมักมีค่า DE, ME และ NEL เท่ากับ 2.9, 2.5 และ 1.5 Mcal/kgDM ตามลำดับ

ตาราง 11. พลังงานย่อยได้ พลังงานเมแทบอไลซ์ และพลังงานสุทธิของข้าวโพดหมักที่คำนวณจาก TDN และจาก DE

Digestible energy, metabolizable energy and net energy of corn silage as calculated from TDN and from DE

	Calculated from		
	TDN	DE	Average
TDN (%)	65.22*	-	65.22
DE (Mcal / kgDM)	2.88	2.72*	2.80
ME (Mcal / kgDM)	2.45	2.30	2.38
NEL (Mcal / kgDM)	1.48	1.44	1.46

* Direct measurement

4.2.4 การย่อยสลายของข้าวโพดหมักในกระเพาะรูเมน

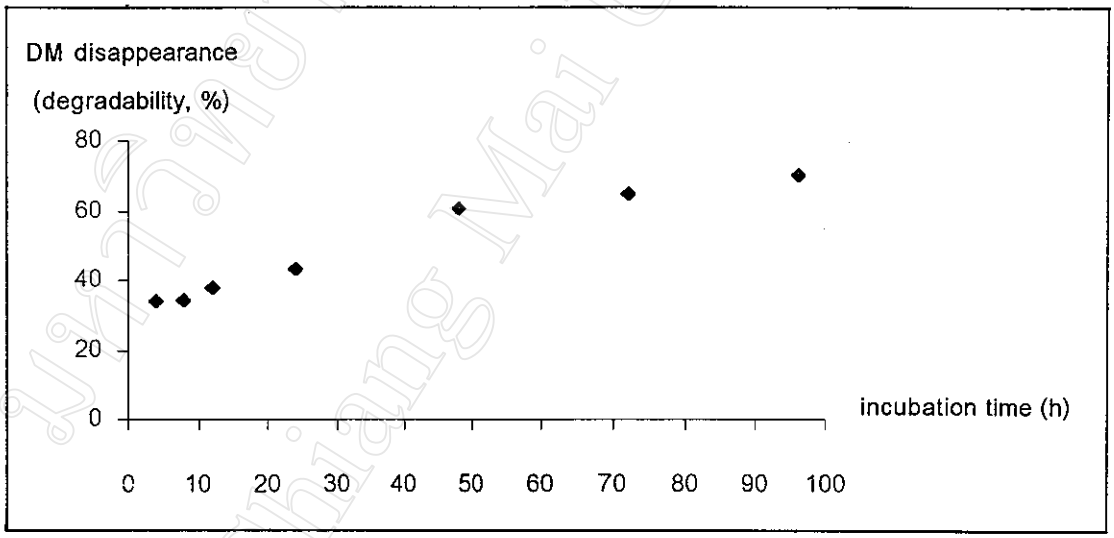
การย่อยสลายวัตถุแห้งและอินทรียวัตถุของข้าวโพดหมักในกระเพาะรูเมนที่เวลา 4, 8, 12, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง โดยใช้เทคนิคถุงไนลอน ได้ผลดังแสดงในตาราง 12, 13, 14 และภาพ 1 พบว่าในระยะ 4 ชั่วโมงแรก วัตถุแห้งของข้าวโพดหมักมีการย่อยสลายค่อนข้างเร็วเมื่อเทียบกับฟางข้าว, หญ้ารูซี่, เปลือกข้าวโพดหวาน และซังข้าวโพดหวาน (34.03 เทียบกับ 7.9, 22.9, 22.4 และ 29.9% ตามลำดับ) แต่มีค่าใกล้เคียงกับใบกระถิน (34.1%) ส่วนการย่อยได้ในชั่วโมงที่ 48 ถึง 96 พบว่า ข้าวโพดหมักมีค่าต่ำกว่าหญ้ารูซี่, ใบกระถิน, เปลือกข้าวโพดหวาน และซังข้าวโพดหวาน (บุญล้อม และคณะ, 2541; สตางค์, 2543) การที่ข้าวโพดหมักมีการย่อยสลายใน

กระเพาะรูเมนในลักษณะที่กล่าวมาแล้วเนื่องจากข้าวโพดหมักมีส่วนของเมล็ดข้าวโพดที่ย่อยได้ค่อนข้างง่ายปนอยู่ด้วย ดังนั้นช่วงแรกจึงย่อยสลายได้ง่ายกว่า

ตาราง 12. เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งและอินทรียวัตถุที่หายไปที่ชั่วโมงต่าง ๆ ของข้าวโพดหมัก วัดโดยใช้เทคนิคถุงไนลอน

Dry matter and organic matter disappearance (%) at various incubation time

ค่าที่หายไป (%)	Incubation time (hrs)						
	4	8	12	24	48	72	96
DM	34.03	34.38	37.80	43.35	60.67	64.97	70.31
OM	33.88	34.27	37.87	43.82	61.25	66.49	71.68



ภาพ 1. เปอร์เซ็นต์การสลายของวัตถุแห้งในข้าวโพดหมักที่ชั่วโมงต่าง ๆ กัน

Dry matter disappearance (%) at various incubation time

ข้าวโพดหมักมีค่าการละลายได้ (A) เท่ากับ 29.8% ค่าการย่อยสลายของส่วนที่ไม่ละลายแต่สามารถเกิดกระบวนการหมักย่อยได้ (B) เท่ากับ 52.3 เมื่อรวมค่า A+B จะได้ค่าการย่อยได้สูงสุด ข้าวโพดหมักจะย่อยสลายในกระเพาะรูเมนได้สูงกว่าหญ้ารูซี่และใบกระถิน (บุญล้อม และคณะ, 2541) ส่วนค่า L ซึ่งหมายถึงระยะเวลาที่รอให้จุลินทรีย์เข้าสัมผัสและย่อยสลายอาหาร ในการทดลองนี้ใช้เวลาเพียง 1.1 ชั่วโมง เมื่อเทียบกับฟางข้าว, หญ้ารูซี่, เปลือกข้าวโพดหวาน และ

ซังข้าวโพดหวาน ซึ่งใช้เวลา 5.7, 3.6, 2.7 และ 3.0 ชั่วโมง (บุญล้อม และคณะ, 2541; สตางค์, 2543) แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนสามารถเข้าย่อยสลายข้าวโพดหมักได้เร็วกว่าอาหารหยาบที่กล่าวข้างต้น

ตาราง 13. ค่าการย่อยสลายของข้าวโพดหมักที่วัดโดยใช้ถุงไนลอน

Degradation characteristic of corn silage incubated *in sacco*

ค่าที่ย่อยสลาย	a	b	c	L	A	B	A + B
	← (%) →		(%/h)	(hrs)	← (%) →		
DM	28.8	53.2	0.016	1.1	29.8	52.3	82.1
OM	28.5	55.7	0.016	1.4	29.8	54.4	84.2

ในตาราง 14 แสดงให้เห็นว่าอาหารที่มีระยะเวลาอยู่ในรูเมนต่างกันจะถูกย่อยสลายต่างกัน โดยอาหารที่อยู่ในรูเมนนาน คือ มีอัตราการไหลออกจากรูเมน (outflow rate) ต่ำ จะมีโอกาสถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายได้มาก โดยทั่วไปอาหารมีระยะเวลาอยู่ในรูเมนเฉลี่ยประมาณ 24 ชั่วโมง ดังนั้นในระยะเวลาเท่ากันอาหารที่มีความสามารถในการย่อยสลาย (effective degradation, ED) สูง จะสามารถย่อยสลายได้ดีกว่า จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลมาคำนวณให้มีอัตราการไหลผ่านออกจากรูเมนเท่ากับ 0.02, 0.05 และ 0.08 fraction/h โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป NEWAY จะพบว่าค่า ED เท่ากับ 52.7, 41.9 และ 37.9 fraction/h ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าค่าที่ไกรสิทธิ (2543) ศึกษาในต้นอ้อยแห้ง และของอิทธิพล (2544) ที่ศึกษาในต้นถั่วเหลืองติดฝักแห้ง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากข้าวโพดหมักมีค่าเยื่อใย (NDF) สูงกว่าอาหารทั้ง 2 ชนิดดังกล่าว (52.3 เทียบกับ 40.75 และ 50.58% ตามลำดับ) จึงมีค่าการย่อยสลายต่ำกว่า

ตาราง 14. ความสามารถในการย่อยสลายของข้าวโพดหมักที่อัตราการไหลผ่านระดับต่าง ๆ

Effective degradation of corn silage at various outflow rate

	Outflow rate (fraction/h)		
	0.02	0.05	0.08
DM	52.7	41.9	37.9
OM	53.4	42.1	37.9

4.2.5 การประเมินค่าการย่อยได้ของอินทรียวัตถุ และค่าพลังงานของข้าวโพดหมักโดยวิธีวัดปริมาณแก๊ส

จากการนำตัวอย่างมา incubate กับ rumen fluid buffer ที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง แล้ววัดปริมาณแก๊ส เพื่อคำนวณหาค่าการย่อยได้ของอินทรียวัตถุและพลังงาน โดยสมการของ Menke and Steingass (1988) ได้ค่าดังแสดงในตาราง 15

ตาราง 15. ปริมาตรแก๊สที่ 24 ชั่วโมง การย่อยได้ของอินทรียวัตถุและพลังงานที่ได้จากการคำนวณ

Gas volume at 24 hours, organic matter digestibility (OMD) and calculated energy value

Adjusted gas production (ml)	XA (g/kgDM)	XL (g/kgDM)	XP (g/kgDM)	OMD (%)	ME (Mcal/kgDM)	NEL (Mcal/kgDM)
35.61	53.8	32.4	79.2	53.82	2.22	1.28

การย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ (OMD) ที่คำนวณจากปริมาณแก๊สที่ 24 ชั่วโมง มีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยที่วัดจากการย่อยได้ (53.82% เทียบกับ 64.14%) เช่นเดียวกับรายงานของสตางค์ (2543) และเสาวลักษณ์ (2542) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการหา OMD โดยการวัดปริมาณแก๊สนั้นอินทรียวัตถุจะถูกย่อยโดยจุลินทรีย์เพียงอย่างเดียว แต่การหา OMD จากการย่อยได้ในตัวสัตว์นั้นอินทรียวัตถุจะถูกย่อยโดยจุลินทรีย์และเอนไซม์ในทางเดินอาหาร ดังนั้นจึงมีค่าการย่อยได้สูงกว่า

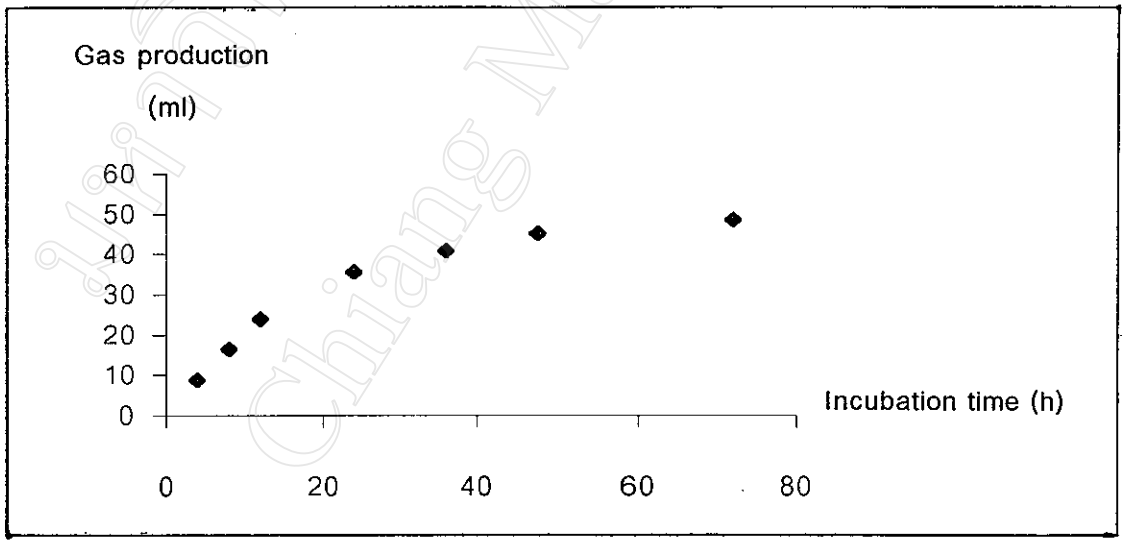
สำหรับค่า ME ที่คำนวณจากวิธีวัดปริมาณแก๊สโดยใช้สมการทำนายมีค่าเท่ากับ 2.22 Mcal/kgDM ใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณจาก DE (2.30 Mcal/kgDM) แต่ต่ำกว่าค่าที่คำนวณได้จาก TDN (2.45 Mcal/kgDM) ในการศึกษาหาการย่อยได้แบบ *in vivo* เล็กน้อย ส่วน NEL ที่คำนวณจากวิธีวัดปริมาณแก๊สมีค่าเท่ากับ 1.28 Mcal/kgDM ซึ่งต่ำกว่าเล็กน้อยเช่นกันเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณจาก TDN และ DE (1.48 และ 1.44 Mcal/kgDM ตามลำดับ)

เมื่อนำปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นที่ชั่วโมงต่าง ๆ มาเขียนกราฟ และเข้าสมการ $P = a+b(1-c^{-ct})$ เช่นเดียวกับเทคนิคการใช้ถุงไนลอน ตามวิธีการของ Blummel and Orskov (1993) ได้ค่าดังแสดงไว้ในตาราง 16 และภาพ 2 จะเห็นได้ว่า ปริมาณแก๊สเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก แต่หลังจากชั่วโมงที่ 24 การเกิดแก๊สจะเป็นไปในอัตราที่ช้าซึ่งสอดคล้องกับค่าการย่อยสลายของวัตถุแห้งโดยวิธีใช้ถุงไนลอน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากข้าวโพดหมักมีส่วนของเมล็ดซึ่งมีเยื่อใยต่ำและมีโภชนะ

ย่อยได้สูง จึงทำให้เกิดการหมักและเกิดแก๊สอย่างรวดเร็วในระยะแรก ส่วนของลำต้นซึ่งมีเยื่อใยมากย่อยได้ยาก จึงเกิดการหมักและเกิดแก๊สอย่างช้า ๆ ซึ่งอัตราการเกิดแก๊ส (c) ในงานทดลองนี้เท่ากับ 0.053 มล./ชม. มีค่าใกล้เคียงกับต้นอ้อยตากแห้ง (0.054 มล./ชม.) (ไกรสิทธิ, 2543) ที่มีทั้งคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่ายและเยื่อใยในปริมาณสูงเช่นเดียวกับข้าวโพดหมัก

ตาราง 16. ปริมาตรแก๊ส (ml/200mgDM) จากการบ่มข้าวโพดหมักที่ชั่วโมงต่างๆ
Gas volume (ml/200mgDM) from incubation of corn silage at various incubation time

Incubation time (hrs)							A	B	c
4	8	12	24	36	48	72	← (ml) →		(ml/h)
8.83	16.33	23.86	35.62	40.97	45.15	48.62	-0.6	54.2	0.053



ภาพ 2. ปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายที่ชั่วโมงต่าง ๆ
Gas volume from incubation at various incubation time

4.2.6 สรุปค่าพลังงานของข้าวโพดหมัก

จากการนำค่า TDN, DE, ME และ NEL ทั้งที่วัดได้โดยตรงและที่คำนวณจากการวัดปริมาณแก๊สมาหาค่าเฉลี่ย พบว่าได้ค่าพลังงานดังแสดงในตาราง 17 คือ TDN เท่ากับ 65.22% ส่วนค่า DE, ME และ NEL เท่ากับ 2.80, 2.30 และ 1.37 Mcal/kgDM ตามลำดับ

ตาราง 17. ค่าเฉลี่ยของโภชนะย่อยได้รวม พลังงานย่อยได้ พลังงานเมแทบอไลซ์และพลังงานสุทธิของข้าวโพดหมักจากการทดลองในโค และวิธีวัดปริมาณแก๊ส
Average TDN, DE, ME and NEL of corn silage determined by *in vivo* and *in vitro* gas production technique

TDN	DE (Mcal/kgDM)			ME (Mcal/kgDM)			NEL (Mcal/kgDM)		
(%)	*in vivo*	Gas	Avg	*in vivo*	Gas	Avg	*in vivo*	Gas	Avg
65.22	2.80	-	2.80	2.38	2.22	2.30	1.46	1.28	1.37

4.3 การทดลองที่ 3. ศึกษาการใช้ข้าวโพดหมักเป็นอาหารหยาบหลักในอาหารผสมครบส่วนเลี้ยงโคให้นมสูง

4.3.1 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารสัตว์

อาหารผสมครบส่วนที่มีข้าวโพดหมักเป็นฐานประกอบด้วยวัตถุดิบอาหารสัตว์ ได้แก่ ข้าวโพดหมัก, หญ้ารูซี่แห้ง, เมล็ดฝ้าย, กากถั่วเหลือง, ข้าวโพดบด และน้ำมันถั่วเหลือง องค์ประกอบทางเคมีของข้าวโพดหมักที่ใช้ในการทดลองนี้มีวัตถุแห้ง 29.65% ส่วนค่า TDN คำนวณโดยอาศัยสมการของ Keard (1982) ได้ค่าเท่ากับ 65.93% ซึ่งค่าเหล่านี้ใกล้เคียงกับข้าวโพดหมักที่ใช้ในการทดลองที่ 1 แต่มีค่า CP, ADF และ NDF สูงกว่าเล็กน้อย มีค่า pH เท่ากับ 3.68 มีปริมาณแอมโมเนีย (NH_3) เท่ากับ 0.14 % และมีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) เท่ากับ 9.76 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนทั้งหมด (ตาราง 18) ซึ่งต่ำกว่าที่ Shaver *et al.* (1984) และ Shaver *et al.* (1985) ได้รายงานไว้คือ 10.78 และ 11.47 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนทั้งหมด ตามลำดับ การที่พืชหมักมี NH_3-N ต่ำแสดงว่ามีการสลายตัวของโปรตีนในพืชน้อย ซึ่งเป็นลักษณะที่ต้องการ เพราะการสลายตัวของโปรตีนในพืชหมักเกิดจากปฏิกิริยาของจุลินทรีย์ Clostridium ทำให้พืชหมักมีคุณค่าทางอาหารลดลง

เมื่อสุ่มตัวอย่างข้าวโพดหมักมาวิเคราะห์หาปริมาณกรดอินทรีย์เพื่อประเมินคุณภาพพืชหมัก พบว่ามีปริมาณกรดแลคติก 1.97% กรดอะซิติก 1.5% และมีกรดบิวทีริกน้อยมาก มีคะแนนคุณภาพเท่ากับ 68 คะแนน (ตาราง 19) เท่ากับการทดลองที่ 1 ซึ่งเป็นค่าที่ไม่สูงนักเมื่อเทียบกับข้าวโพดหมักของฉันทนา และคณะ (2543) ที่หมักในถุงขนาด 20 กิโลกรัม (มีคะแนน 85.2) หรือของบุญเสริม และคณะ (2544) ที่หมักข้าวโพดแบบกองใหญ่ขนาดประมาณ 40 ตัน (มีคะแนน 99.0) ทั้งนี้เนื่องจากข้าวโพดหมักที่ใช้ในการทดลองนี้ได้นำออกมาจากหลุมหมักมาบรรจุลงถุงใหม่เพื่อนำมาเลี้ยงโคทดลองเช่นเดียวกัน ซึ่งเมื่อข้าวโพดหมักสัมผัสกับอากาศคุณภาพจึงลดลง อย่างไรก็ตามข้าวโพดหมักนี้ยังมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นอาหารหยาบเลี้ยงโคที่ให้ผลผลิตน้ำนมสูงได้

ตาราง 18. องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ใช้ในอาหารผสมครบส่วน

Chemical composition of feed

Composition (%DM)	Corn silage	Ruzi grass hay	Whole cotton seed	Soybean meal	Ground corn	Oil soybean
DM	29.65	88.83	87.68	87.72	87.15	100.00
CP	9.05	5.38	22.55	47.34	8.33	-
EE	3.99	1.78	18.89	2.51	5.39	99.9
ADF	31.06	42.39	35.24	10.23	4.50	-
NDF	56.27	69.70	48.17	18.46	10.14	-
CF	22.65	31.37	25.87	6.63	2.22	
ADL	4.47	7.51	10.69	1.46	0.80	-
Ash	6.83	7.18	4.18	7.17	1.52	-
Cellulose	26.61	34.60	26.88	10.05	3.81	-
Hemicellu.	25.22	27.31	9.93	7.23	5.42	-
NFC	23.86	15.96	6.21	24.52	74.62	-
NFE	57.48	54.29	28.51	36.35	82.54	-
Total N (%)	1.23	-	-	-	-	-
NH_3(%)	0.14	-	-	-	-	-
NH_3-N (% total N)	9.76	-	-	-	-	-
TDN[1]	65.93	53.02	73.91	80.97	82.91	177.00
pH	3.68	-	-	-	-	-

[1/] TDN was calculated from the equation of Kearl (1982)

ตาราง 19. ปริมาณกรดอินทรีย์และคะแนนคุณภาพของข้าวโพดหมักที่ใช้ในการทดลองที่ 3

Organic acid and quality score of corn silage in experiment 3

Organic acid	% fresh matter
Acetic acid	1.50
Butyric acid	0
Lactic acid	1.97
Qual. Score[1]	68

[1] Quality score 0 - 20 = Grade 5 = bad 61 - 80 = Grade 2 = good
21 - 40 = Grade 4 = fair 81 - 100 = Grade 1 = very good
41 - 60 = Grade 3 = average

4.3.2 สูตรอาหารผสมครบส่วน

ในระยะเริ่มต้นของการทดลองได้จัดอาหารผสมครบส่วนตามแผนการทดลองที่กำหนดไว้ โดยส่วนประกอบหลักได้แก่ ข้าวโพดหมัก ข้าวโพดบด น้ำมันถั่วเหลือง และกากถั่วเหลือง เมื่อนำไปใช้เลี้ยงโคทดลอง ปรากฏว่า โคทดลองแสดงอาการของ acidosis หลังจากที่เลี้ยงไปได้ประมาณ 4 สัปดาห์ คือมีอาการหอบ ท้องเสีย นมลด ไม่กินอาหาร สาเหตุสำคัญของการเกิด acidosis คือ เกิดความเป็นกรดในกระเพาะรูเมนมาก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสูตรอาหารที่ใช้เลี้ยงมีคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่ายสูงเกินไป และมีเยื่อใยต่ำ ดังนั้นเพื่อกระตุ้นให้โคมีการเคี้ยวเอื้องและหลั่งน้ำลายมากขึ้น ซึ่งจะช่วยลดความเป็นกรดในกระเพาะรูเมน จึงได้ปรับชนิดของเยื่อใยโดยใช้หญ้าแห้ง และเมล็ดฝ้ายมาเป็นส่วนประกอบของสูตรอาหาร สูตรอาหารได้มีการปรับตามปริมาณน้ำนมทุก ๆ 5 วัน ซึ่งตัวอย่างของสูตรอาหารที่ได้คำนวณให้มีโปรตีนและพลังงานระดับต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในแผนการทดลอง

องค์ประกอบทางเคมี, TDN และ อัตราส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้นของอาหารผสมครบส่วนในแต่ละสูตรมีระดับของ TDN และ โปรตีน (CP) แตกต่างกันตามแผนการทดลอง ส่วนประกอบอื่น ๆ มีค่าใกล้เคียงกัน คือมี DM ประมาณ 51.6-52.9%, EE ประมาณ 10-10.5%, ADF ประมาณ 21-22%, NDF ประมาณ 36.3-37.7% และ NFC ประมาณ 24-33% ดังแสดงในตาราง 20

ตาราง 20. องค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมครบส่วน

Chemical composition of total mixed ration

Item	Diet			
	T_1	T_2	T_3	T_4
TDN & CP	1.0 & 1.0	1.0 & 1.2	1.2 & 1.0	1.2 & 1.2
Chemical composition (%DM)				
DM	51.57	52.89	52.41	52.61
CP	18.30	22.43	15.11	18.24
EE	10.46	10.09	10.60	10.43
ADF	21.92	22.05	21.06	21.17
NDF	37.63	37.67	36.28	36.40
NFC	28.17	23.88	33.12	29.63
TDN	77.71	77.71	78.02	78.16
Roughage : Concentrate ratio	43:57	42:58	43:57	43:57

4.3.3 ปริมาณการกินอาหารและโภชนะที่โคได้รับ

การเพิ่มระดับโปรตีน หรือพลังงาน หรือเพิ่มทั้งระดับโปรตีนและพลังงานในสูตรอาหาร จะทำให้โคได้รับโปรตีนและพลังงานแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังแสดงในตาราง 21 จะเห็นว่าโคที่ได้รับอาหารที่มีโภชนะตามที่ NRC แนะนำ (T_1) กินอาหารคิดเป็นวัตถุแห้งได้ต่ำที่สุด (12.02 กิโลกรัม/วัน หรือ 2.55%BW) ได้รับ TDN เท่ากับ 9.34 กิโลกรัม/วัน และได้โปรตีน 2.20 กิโลกรัม/วัน

การเพิ่มเฉพาะระดับโปรตีนเป็น 1.2 เท่าของ NRC (T_2) โคจะกินอาหารคิดเป็นวัตถุแห้งได้เท่ากับ 12.44 กิโลกรัม/วัน หรือ 2.64%BW ซึ่งสูงกว่าโค T_1 และ T_3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

($p<0.05$) สอดคล้องกับรายงานของ Macleod et al. (1984); Poole (1986) และกังวานและคณะ (2544) ที่รายงานว่าโคที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนสูงจะกินอาหารได้มากขึ้น แต่แตกต่างจากพวนและคณะ(2544) ที่พบว่าการเพิ่มระดับโปรตีนในอาหารไม่มีผลต่อปริมาณการกินอาหารของโค ปริมาณ TDN และโปรตีนที่โค T_2 ได้รับเท่ากับ 9.66 และ 2.79 กิโลกรัม/วัน

การเพิ่มเฉพาะพลังงาน (T_3) โคจะกินอาหารคิดเป็นวัตถุแห้งได้สูงกว่าโค T_1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (14.39 เทียบกับ 12.02 กิโลกรัมวัตถุแห้ง/วัน หรือ 3.05 เทียบกับ 2.55 %BW ตามลำดับ) สอดคล้องกับรายงานของ Poole (1986) และพวน และคณะ (2544) นอกจากนี้ยังพบว่าแม่โคทดลองในกลุ่ม T_3 มีสภาพร่างกายสมบูรณ์มาก สังเกตได้จากมีไขมันสะสมบริเวณโคนหางและโคนขา และมีคะแนนร่างกาย (body condition score) สูงถึง 3.5 ปริมาณ TDN และโปรตีนที่โค กลุ่มนี้ได้รับเท่ากับ 11.23 และ 2.17 กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ

ตาราง 21. ปริมาณการกินวัตถุแห้ง, โปรตีน และพลังงานของโคทดลองที่ได้รับ TMR สูตรต่าง ๆ
Dry matter, protein and energy intake of the cows in different TMR

Item	Diet			
	T_1	T_2	T_3	T_4
TDN & CP	1.0 & 1.0	1.0 & 1.2	1.2 & 1.0	1.2 & 1.2
Dry matter intake				
- kg/cow/day	12.02[a]	12.44[b]	14.39[c]	14.59[c]
- %BW	2.55[a]	2.64[b]	3.05[c]	3.09[d]
TDN intake (kg/cow/day)	9.41[a]	9.81[b]	11.23[c]	11.35[c]
CP intake (kg/cow/day)	2.22[a]	2.79[b]	2.17[c]	2.66[d]

[a, b, c, d] superscript with in the same row differ significantly ($p<0.05$)

ส่วนการเพิ่มทั้งระดับพลังงานและโปรตีนให้เป็น 1.2 เท่าของ NRC (T_4) จะทำให้โคกินอาหารคิดเป็นวัตถุแห้งได้สูงที่สุดคือ 14.59 กิโลกรัม/วัน หรือ 3.09%BW ทำให้โคได้รับ TDN และโปรตีนเพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มอื่น ๆ คือ 11.35 และ 2.66 กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ Dewhurst *et al.* (2000) รายงานว่าการเพิ่มทั้งพลังงานและโปรตีนในอาหาร ทำให้โคกินอาหารเพิ่มขึ้นมีการใช้ประโยชน์ของพลังงานและโปรตีนเพิ่มขึ้น

สำหรับผลของระดับพลังงานและโปรตีนในอาหารเมื่อพิจารณาทีละปัจจัย ตลอดจนปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างปัจจัยทั้งสองแสดงไว้ในตาราง 24 อย่างไรก็ดีการที่มีพลังงาน และ/หรือโปรตีนในสูตรอาหารสูงขึ้น แล้วมีผลทำให้โคกินอาหารได้มากขึ้นนั้นอาจเนื่องมาจากอาหารดังกล่าวมีส่วนของวัตถุดิบที่มีคุณภาพสูงและย่อยได้ง่ายเป็นองค์ประกอบอยู่มาก ซึ่งเมื่ออาหารมีการย่อยได้ดีขึ้นจะทำให้มีอาหารหายไปจากทางเดินอาหารเร็ว สัตว์จึงมีที่ว่างในกระเพาะที่สามารถรับอาหารใหม่ได้มากขึ้น อย่างไรก็ดีถ้าอาหารมีคุณค่าทางอาหารและการย่อยได้เพิ่มขึ้นจนถึงระดับหนึ่ง ปริมาณอาหารที่กินได้จะลดลง เพราะถูกควบคุมโดยปริมาณพลังงาน และ/หรือระดับโภชนะที่สัตว์ได้รับเพียงพอแล้ว (NRC, 1988; Mcdonald *et al.*, 1995 และ Pond *et al.*, 1995)

4.3.4 ผลผลิตและส่วนประกอบทางเคมีของน้ำนม

จากตาราง 22 พบว่า โค T_3 ให้น้ำนมต่ำกว่าทุกกลุ่ม แต่ไม่แตกต่างจากโค T_1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แม้ว่าองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม เช่น เปอร์เซ็นต์ของไขมัน, โปรตีน, แลคโตส และของแข็งที่ปราศจากไขมันของโค T_3 มีค่าใกล้เคียงกับกลุ่มอื่น ๆ แต่เมื่อคิดเป็นปริมาณไขมันนม, แลคโตส, ของแข็งในนม และของแข็งปราศจากไขมัน (กิโลกรัม/วัน) แล้วพบว่ามีค่าต่ำที่สุด เมื่อปรับไขมันนมให้อยู่ที่ระดับ 4% โค T_3 คงมีปริมาณน้ำนม 4%FCM ต่ำกว่าทุกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สอดคล้องกับรายงานของ Macleod *et al.* (1984) ส่วนโค T_2 และ T_4 แม้ว่าผลิตน้ำนมได้ใกล้เคียงกัน (18.79 เทียบกับ 18.25 กิโลกรัม/วัน) แต่เมื่อปรับไขมันนมให้อยู่ที่ระดับ 4% พบว่า โค T_2 มีปริมาณน้ำนม 4%FCM สูงที่สุดแตกต่างจากกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีการผลิตส่วนประกอบของน้ำนม (กิโลกรัม/วัน) ได้แก่ ไขมันนม, โปรตีนนม, แลคโตส, ของแข็งในนม และของแข็งที่ปราศจากไขมัน สูงกว่าโค T_1 และ T_3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับโค T_4 การเพิ่มระดับโปรตีนมีผลทำให้โคให้นมเพิ่มขึ้นนี้สอดคล้องกับรายงานของ Sutton *et al.* (1994) ที่พบว่าการเพิ่มโปรตีนในอาหารส่งผลให้โคผลิตน้ำนม, โปรตีนนม และแลคโตสในน้ำนมได้มากกว่าการเพิ่มพลังงานในอาหาร แต่กังวาน และคณะ (2544) ซึ่งใช้โคนมให้น้ำนมระดับปานกลาง (อยู่ในช่วง 10-15 กิโลกรัม/วัน) เป็นสัตว์ทดลอง รายงานว่าการเพิ่มโปรตีนในอาหารเพียงอย่างเดียวหรือเพิ่มทั้งพลังงานและโปรตีนในอาหารเท่ากับ 1.2 เท่าของ NRC (1988) มีแนวโน้มทำให้โคผลิตนมลดลง ความแตกต่างนี้อาจเนื่องมาจากโคที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นโคที่ให้นมระดับสูง (เฉลี่ย 18 กิโลกรัม/วัน) ดังนั้นเมื่อได้รับโภชนะสูงขึ้นโคจึงตอบสนองโดยให้ผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้น เป็นที่น่าสังเกตว่าการเพิ่มระดับพลังงานในอาหาร T_3 เป็นการเพิ่มปริมาณของทั้งข้าวโพดบดและน้ำมันถั่วเหลืองในเวลาเดียวกัน แม่โคกลุ่มนี้ให้นมลดลงอาจเนื่อง

มาจากกระเพาะรูเมนมีความเป็นกรด (acidosis) หรือเนื่องจากผลของน้ำมันถั่วเหลืองต่อจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน ดังนั้นจึงน่าจะมีการศึกษาในเรื่องนี้ต่อไป

ตาราง 22. ผลผลิตน้ำนม,ยูเรียไนโตรเจนในนม และองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมของโคทดลองที่ได้รับ TMR สูตรต่าง ๆ

Milk yield, MUN and milk composition of the cows in different TMR

	Diet			
Item	T_1	T_2	T_3	T_4
TDN & CP	1.0 & 1.0	1.0 & 1.2	1.2 & 1.0	1.2 & 1.2
Milk yield (kg/day)	17.46^{a}	18.79^{b}	17.16^{a}	18.25^{b}
4%FCM (kg/day)	16.74^{a}	18.16^{b}	16.07^{c}	17.38^{d}
Milk urea nitrogen (mg/dl)	15.32^{b}	16.70^{c}	12.89^{a}	15.88^{bc}
Milk composition (%)				
Fat	3.64^{ab}	3.90^{a}	3.49^{b}	3.77^{ab}
Protein	3.11^{a}	3.22^{a}	3.18^{ab}	3.24^{b}
Lactose	4.65^{a}	4.72^{a}	4.77^{a}	4.79^{a}
Total solid	12.09^{a}	12.73^{ab}	12.14^{a}	12.76^{b}
Solid-not fat	8.45^{a}	8.83^{ab}	8.65^{b}	8.72^{b}
Yield, kg/day				
Fat	0.65^{a}	0.71^{b}	0.62^{c}	0.67^{d}
Protein	0.55^{a}	0.59^{b}	0.55^{a}	0.59^{b}
Lactose	0.84^{ab}	0.86^{ac}	0.82^{b}	0.87^{c}
Total solid	2.17^{a}	2.34^{b}	2.11^{a}	2.32^{b}
Solid-not fat	1.52^{a}	1.63^{b}	1.49^{a}	1.59^{b}

$^{a, b, c, d}$ superscript with in the same row differ significantly ($p<0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

ตาราง 23. ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร, ต้นทุนค่าอาหาร และรายได้หักค่าอาหาร ของโคที่ได้รับ TMR สูตรต่าง ๆ

Feed conversion ratio, feed cost and income over feed of cows fed with different TMR

	Diet			
Item	T_1	T_2	T_3	T_4
TDN & CP	1.0 & 1.0	1.0 & 1.2	1.2 & 1.0	1.2 & 1.2
FCR (feed DM/kg milk)	0.70[a]	0.67[b]	0.84[c]	0.80[d]
Feed cost (bath/day/cow)	92.83	103.91	101.93	110.90
Income over feed (baht/kg milk)[1/]	7.18	6.97	6.56	6.42

[a, b, c, d] superscript with in the same row differ significantly ($p<0.05$)

[1/] Income over feed (baht/kg milk) = $\frac{[\text{milk yield (kg/d)} \times \text{milk price (baht/kg)}^{2/}] - \text{feed cost}}{\text{milk yield (kg/d)}}$

[2/] milk price = 12.5 baht/kg milk

น้ำนมของโค T_2 มีปริมาณยูเรียไนโตรเจนสูงที่สุด (16.70 mg/dl) รองลงมาคือโค T_4, T_1 และ T_3 ตามลำดับ (15.88, 15.32 และ 12.89 mg/dl ตามลำดับ) ซึ่ง Roseler *et al.* (1993) รายงานว่าโคที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีนสูงมีผลทำให้น้ำนมและเลือดมีปริมาณของยูเรียไนโตรเจนเพิ่มขึ้น การที่โค T_2 และ T_4 ซึ่งได้รับโปรตีนเพิ่มขึ้นเหมือนกัน แต่มีระดับยูเรียไนโตรเจนในนมต่างกัน โดยโค T_2 มีค่าดังกล่าวสูงกว่านั้น อาจเนื่องมาจากโค T_2 ได้รับระดับพลังงานต่ำกว่า ทำให้เมื่อโปรตีนถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมนเกิดเป็นแอมโมเนีย แล้วแอมโมเนียนั้นถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ในการสังเคราะห์โปรตีนของตัวมันได้มีประสิทธิภาพน้อยกว่า เพราะอาจมีพลังงาน และ/หรือสายคาร์บอน (carbon chain) ที่ได้จากอาหารประเภทพลังงานไม่เพียงพอต่อการนำแอมโมเนียที่เกิดขึ้นไปสังเคราะห์เป็นโปรตีนของจุลินทรีย์ แอมโมเนียจึงเข้าสู่กระแสเลือดและถ่ายทอดไปในน้ำนม อย่างไรก็ดี นอกจากเรื่องของอาหารแล้ว Mason (2001) ยังพบว่ามีปัจจัยอื่น ๆ อีกที่มีผลต่อความเข้มข้นของยูเรียไนโตรเจนในน้ำนม ได้แก่ น้ำหนักโค, จำนวนการตั้งท้อง, จำนวนวันให้นม, ผลผลิตน้ำนม, ระยะเวลาและจำนวนครั้งของการกินอาหาร และความแปรปรวนของฤดูกาล สำหรับ ปริมาณยูเรียไนโตรเจนในน้ำนมที่ได้จากการทดลองนี้ พบว่าทั้ง 4 กลุ่มมีค่าอยู่ภายในเกณฑ์ที่กำหนด คือ 12-18 mg/dl (Grant et al., 1996)

สำหรับอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำนม โดยคิดเป็นกิโลกรัมของวัตถุแห้งที่กินต่อปริมาณน้ำนมที่ผลิตได้ ตลอดจนส่วนต่างระหว่างรายได้จากน้ำนมและค่าอาหาร (Income over feed) เมื่อโคได้รับอาหารต่างกัน แสดงไว้ในตาราง 23 พบว่าโค T_2 มีอัตราการเปลี่ยนอาหารดีที่สุด (0.67) รองลงมาคือโค T_1, T_4 และ T_3 ตามลำดับ (0.70, 0.80 และ 0.84 ตามลำดับ) นอกจากนี้ยังพบว่าโค T_2 แม้จะเสียค่าอาหารต่อตัวต่อวันค่อนข้างสูง แต่เนื่องจากให้นมได้สูงที่สุด จึงทำให้มีรายได้หักค่าอาหารต่อวันสูงที่สุด ในขณะที่โค T_4 ซึ่งได้รับพลังงานและโปรตีนสูงขึ้นทำให้มีรายได้หักค่าอาหารต่อวันต่ำที่สุด

4.3.5 ผลของระดับของ TDN และ CP ต่อปริมาณการกินอาหารและผลผลิตนม

ตาราง 24 และ 25 แสดงผลตอบสนองของแม่โคนมที่ได้รับอาหารซึ่งมีระดับ TDN และ CP แตกต่างกัน ในการศึกษานี้พบว่า ระดับ TDN และ CP มีผลต่อปริมาณการกินอาหาร, การให้นม และส่วนประกอบของน้ำนมอย่างมีนัยสำคัญ แต่ระดับ TDN และ CP ในอาหารไม่มีปฏิสัมพันธ์กัน ยกเว้นในกรณีของปริมาณการกินวัตถุแห้งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว, ปริมาณ TDN และ CP ที่สัตว์ได้รับ

4.3.5.1 ระดับ TDN

การเพิ่มรับระดับ TDN ในอาหารจะทำให้โคกินอาหารได้เพิ่มขึ้น (14.49 เทียบกับ 12.23 กิโลกรัม/วัน หรือ 3.07 เทียบกับ 2.64%BW) ส่งผลให้โคได้รับ TDN และ CP สูงกว่าด้วย ในด้านปริมาณการกินอาหารคิดเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวและปริมาณ TDN ที่โคได้รับ พบว่าระดับ TDN มีปฏิสัมพันธ์กับระดับของ CP ในอาหารอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$) การเพิ่ม TDN ในอาหารทำให้โคให้นมลดลง (17.73 เทียบกับ 18.12 กิโลกรัม/วัน) ซึ่งเมื่อคิดเป็นปริมาณนมที่ปรับไขมันให้อยู่ที่ระดับ 4% (4% fat-corrected milk, 4%FCM) พบว่าความแตกต่างนี้มีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.001$) เนื่องจากการเพิ่ม TDN ในอาหารทำให้โคได้รับอาหารข้นและไขมันในอาหารสูงซึ่งมีผลทำให้ pH ในกระเพาะรูเมนมีความเป็นกรดสูง ทำให้การผลิตน้ำนมและไขมันนมลดลง ดังนั้นเมื่อคิดอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นนมจึงด้อยกว่าโคกลุ่มที่ได้รับ TDN ตามเกณฑ์ที่ NRC (1988) แนะนำ (ตาราง 24) ทำนองเดียวกับรายงานของรัชนีกรและวิศิษฐิพร (2544) และเกียรติศักดิ์และวิศิษฐิพร (2544) พบว่าการเพิ่มระดับ TDN ในอาหารเป็น 1.1 หรือลดระดับ TDN ในอาหารลงเหลือเพียง 0.9 เท่าของความต้องการโภชนะตามที่แนะนำโดย NRC จะทำให้โคผลิตน้ำนมได้น้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับระดับ TDN ตามความต้องการของสัตว์ สอดคล้องกับรายงานของ Macleod *et al.* (1984) และ Poole (1986) ที่กล่าวว่าโคนำพลังงานส่วนที่ได้รับเพิ่มขึ้นนี้ไปใช้สะสมเป็นไขมันในร่างกาย ซึ่งการให้อาหารที่มีระดับพลังงานสูงในช่วงหลังคลอด 90 วันเป็นต้นไปไม่ได้ช่วยให้โคผลิตน้ำนม

เพิ่มขึ้นแต่อย่างใด (Lalman *et al.*, 2000) แต่ถ้าเพิ่มระดับพลังงานในอาหารให้แก่โคในระยะแรกของการให้นม (early lactation) จะช่วยให้โคมีความสมบูรณ์พันธุ์เพิ่มขึ้น (Lalman *et al.*, 2000; Staples *et al.*, 1998) การเพิ่มระดับพลังงานให้สูงขึ้นนั้นอาจมีผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมภายในกระเพาะรูเมน เช่น ทำให้ pH ในกระเพาะรูเมนลดลงเหลือ 5.9 ซึ่ง pH ระดับนี้มีผลยับยั้งการเจริญเติบโตและการทำงานของจุลินทรีย์ที่ย่อยเยื่อใย อาหารที่มีพลังงานสูงจะมีปริมาณวัตถุดิบที่ถูกย่อยได้ง่ายในกระเพาะรูเมนสูงมากทำให้กระเพาะรูเมนมี osmolality สูง การเคี้ยวเอื้องลดลง การที่ pH ลดต่ำมีผลทำให้ papillae ของผนังกระเพาะรูเมนเกิดการรวมตัวกันเป็นก้อนทำให้การดูดซึมโภชนะลดลง จึงเป็นสาเหตุทำให้การผลิตน้ำนมและส่วนประกอบต่าง ๆ ของน้ำนมลดลงด้วย (Cooper *et al.*, 1995)

ตาราง 24. ผลของระดับ TDN และ CP ต่อปริมาณการกินอาหาร, โภชนะที่โคได้รับ, ผลผลิตน้ำนม , ยูเรียไนโตรเจนในนม และอัตราการเปลี่ยนอาหาร

Effect of TDN and CP level in the diets on dry matter and nutrients intake, milk yield, MUN and FCR

	TDN		CP		TDN	CP	TDN*CP
Item	1.0	1.2	1.0	1.2	← Sig. →		
Dry matter intake							
- kg/day	12.23	14.49	13.21	13.52	***	***	NS
- %BW	2.64	3.07	2.77	2.90	***	***	**
TDN intake (kg/cow/day)	9.61	11.29	10.32	10.58	***	***	**
CP intake (kg/cow/day)	2.51	2.42	2.20	2.73	***	***	***
Milk yield (kg/day)	18.12	17.73	17.32	18.50	*	***	NS
4% FCM (kg/day)	17.45	16.76	16.42	17.77	***	***	NS
Milk urea-nitrogen (mg/dl)	16.01	14.28	14.15	16.33	***	***	NS
FCR (feed DM/kg milk)	0.70	0.82	0.78	0.74	***	***	NS

Note : TDN*CP = interaction between the dietary level of TDN and CP

* $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$

NS = nonsignificant

อย่างไรก็ตามการเพิ่ม TDN ในอาหารมีส่วนช่วยให้ปริมาณยูเรียไนโตรเจนในน้ำนมลดลง จาก 16.01 mg/dl เป็น 14.28 mg/dl (ตาราง 24) แต่ส่วนประกอบทางเคมีของน้ำนมไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นมีการผลิตไขมันนมลดลง (ตาราง 25) เนื่องจากการเพิ่มพลังงานทำให้จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนสามารถจับแอมโมเนียไนโตรเจนมาใช้สร้างเป็นโปรตีนของตัวมันเองได้มีประสิทธิภาพขึ้น เป็นเหตุให้โคมีสมดุลของไนโตรเจนในร่างกายดีขึ้น (Moorby *et al.*, 2000) สอดคล้องกับรายงานของ Macleod et al. (1984) ที่พบว่าการเพิ่มพลังงานในอาหารทำให้ความเข้มข้นของยูเรียไนโตรเจนในเลือดลดลง จากการศึกษาของ Doreau and Ferlay (1995) พบว่าการเสริมน้ำมันถั่วเหลืองหรือน้ำมัน linseed ลงในอาหารไม่มีผลกระทบต่อ pH ในกระเพาะรูเมน แต่ลดความแปรปรวนของแอมโมเนียในกระเพาะรูเมน ทำให้การย่อยได้ของสารประกอบไนโตรเจนลดลง เนื่องมาจากการเสริมไขมันทำให้การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ย่อยโปรตีนลดลง

Parker (1994) รายงานว่าแม่โคในช่วงกลางของการให้นมควรมีคะแนนร่างกาย (body condition score) ประมาณ 3.0 จะทำให้ได้ผลผลิตสูงสุด แต่โคนมส่วนใหญ่จะมีคะแนนร่างกายอยู่ระหว่าง 3-3.5 ถ้าโคมีคะแนนร่างกายมากกว่า 3.5 ควรให้อาหารด้วยความระมัดระวัง มิฉะนั้นโคจะอ้วนเกินไปเมื่ออยู่ในช่วงท้ายของการให้นม และทำให้เกิดปัญหาการคลอดลูกยากและผสมติดยากตามมา ซึ่งโดยทั่วไปแล้วคะแนนร่างกาย 3.5 นี้ควรเป็นคะแนนร่างกายของโคที่อยู่ในช่วงพักรีดนม (dry period) เพราะจะทำให้โคมีสุขภาพดีและมีสมรรถภาพที่ดีในการให้นมในช่วงต้นในระยะการให้นมถัดไป

ตาราง 25. ผลของระดับ TDN และ CP ต่อส่วนประกอบทางเคมีของน้ำนม

Effect of TDN and CP level in the diets on milk composition

Item	TDN		CP		TDN	CP	TDN*CP
	1.0	1.2	1.0	1.2	← Sig. →		
Milk composition (%)							
Fat	3.77	3.63	3.57	3.84	NS	**	NS
Protein	3.16	3.21	3.14	3.23	NS	NS	NS
Lactose	4.68	4.78	4.70	4.81	NS	NS	NS
Total solid	12.41	12.47	12.11	12.75	NS	*	NS
Solid-not fat	8.64	8.69	8.55	8.76	NS	NS	NS
Yield, kg/day							
Fat	0.68	0.64	0.64	0.65	***	***	NS
Protein	0.57	0.57	0.55	0.59	NS	***	NS
Lactose	0.85	0.85	0.83	0.87	NS	**	NS
Total solid	2.26	2.22	2.14	2.33	NS	***	NS
Solid-not fat	1.58	1.54	1.51	1.61	NS	***	NS

Note : TDN*CP = interaction between the dietary level of TDN and CP

* p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

NS = nonsignificant

4.3.5.2 ระดับ CP

โคที่ได้รับอาหารซึ่งมี CP สูงขึ้นจะมีกินอาหารได้มากขึ้น (13.52 เทียบกับ 13.21 กิโลกรัม/วัน หรือ 2.90 เทียบกับ 2.77%BW) และให้นมมากกว่ากลุ่มควบคุม (18.50 เทียบกับ 17.32 กิโลกรัม/วัน) เมื่อคิดเป็นปริมาณน้ำนมที่ปรับให้มีไขมัน 4% (4%FCM) เท่ากับ 17.77 เทียบกับ 16.42 กิโลกรัม/วัน ซึ่งแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.001$) ดังแสดงในตาราง 24 ซึ่งปริมาณโปรตีนที่โคได้รับพบว่าระดับ TDN มีปฏิสัมพันธ์กับระดับ CP ในอาหารอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.001$) การเพิ่มระดับ CP ในอาหารทำให้อาหารมีการย่อยได้ดีขึ้นดังได้กล่าวมาแล้ว โคจึงมีเนื้อที่ในทางเดินอาหารที่สามารถรับอาหารใหม่เข้าไปได้เพิ่มขึ้น และเมื่อโคกินอาหารได้มากขึ้นจะทำให้โคได้รับทั้งโปรตีนเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถถูกย่อยเป็นกรดอะมิโนได้ใน

ปริมาณมากขึ้น กรดอะมิโนที่สัตว์ได้รับสูงขึ้นนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายทาง ทั้งในแง่ของการเพิ่มผลผลิตน้ำนมและส่วนประกอบของน้ำนม ดังจะสังเกตเห็นได้ว่าส่วนประกอบของน้ำนม เช่น ปริมาณไขมัน, ปริมาณของแข็งทั้งหมดในนม (total solid), ของแข็งที่ปราศจากไขมัน (solid-not fat) และปริมาณน้ำตาลแลคโตสในนมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตาราง 25) สอดคล้องกับรายงานของ Moorby *et al.* (1996) และ Sawal and Kurar (1998) ที่รายงานว่าโคที่ให้นมสูงจะต้องการโปรตีนสูงซึ่งส่วนใหญ่จะได้รับจากโปรตีนของจุลินทรีย์และจากการเพิ่มระดับโปรตีนในสูตรอาหารให้สูงขึ้น ส่งผลให้โคผลิตน้ำนมและมีปริมาณโปรตีนในน้ำนมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อคิดอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำนม พบว่าการให้โคได้รับอาหารโปรตีนสูงขึ้นมีผลทำให้ประสิทธิภาพการใช้อาหารดีขึ้นคือ ใช้อาหารน้อยกว่าในการผลิตน้ำนม 1 กิโลกรัม จึงทำให้ได้รับรายได้เพิ่มขึ้น

อย่างไรก็ตามโปรตีนก็มีความสำคัญพอ ๆ กับพลังงาน เพราะถ้าขาดโปรตีนจะทำให้อัตราการเจริญเติบโตช้า ผลผลิตน้ำนมน้อย ระบบภูมิคุ้มกันเสีย อ่อนแอและป่วยง่าย อัตราการผสมติดลดลง แต่ถ้าในอาหารมีโปรตีนสูงเกินความต้องการมากเกินไปจะมีปัญหาการผสมไม่ติดเช่นกัน (Moorby *et al.*, 2000) นอกจากนี้ยังทำให้มีปริมาณยูเรียไนโตรเจนในเลือดสูงด้วย แต่ในการทดลองนี้ทำการวัดปริมาณยูเรียไนโตรเจนในน้ำนมแทนเพราะว่าปริมาณยูเรียไนโตรเจนในเลือดและในน้ำนมจะมีความสหสัมพันธ์กันสูง (DePeter and Ferguson., 1992; Roseler *et al.*, 1993; Lyatuu and Eastridge., 2001) ซึ่งการสุ่มตัวอย่างน้ำนมสามารถทำได้ง่ายและสะดวกกว่าการสุ่มตัวอย่างเลือด

จากตาราง 24 จะเห็นว่าโคที่ได้รับระดับโปรตีนในอาหารเป็น 1.2 เท่าของ NRC มีปริมาณยูเรียไนโตรเจนในน้ำนมสูงกว่าโคที่ได้รับระดับโปรตีนในอาหารเท่ากับที่ NRC กำหนด คือเท่ากับ 16.33 เทียบกับ 14.15 mg/dl ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.001$) ปริมาณยูเรียไนโตรเจนในน้ำนมระดับนี้ถือว่าเป็นระดับปกติ คืออยู่ในช่วง 12-18 mg/dl (Grant *et al.*, 2001) ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้น้ำมันถั่วเหลืองเป็นตัวเพิ่มระดับพลังงาน ซึ่ง Doreau and Ferlay (1995) ได้รายงานว่าการเสริมน้ำมันถั่วเหลือง หรือน้ำมัน linseed ลงในอาหารจะไปชะงักการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่มที่ย่อยโปรตีน ดังนั้นโปรตีนในอาหารจึงถูกย่อยในกระเพาะรูเมนได้น้อยลง ด้วยเหตุนี้เมื่อเพิ่มระดับโปรตีนในอาหารเป็น 1.2 เท่าของความต้องการจึงไม่มีผลทำให้ปริมาณยูเรียไนโตรเจนในน้ำนมสูงเกินไป ปริมาณยูเรียไนโตรเจนในน้ำนมนี้เป็นเครื่องบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพการใช้โปรตีนในอาหาร แสดงว่าการเพิ่มระดับโปรตีนในอาหารเป็น 1.2 เท่าของความ

ต้องการตามที่ NRC กำหนด โคสามารถนำโปรตีนในอาหารไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ถ้าเพิ่มระดับโปรตีนสูงกว่านี้อาจทำให้ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนด้อยลงซึ่งจะทำให้เกิดผลเสียมากกว่าผลดี เพราะจะทำให้มีปริมาณยูเรียไนโตรเจนในเลือดและในน้ำนมเพิ่มขึ้นจนเกินมาตรฐานที่กำหนด ส่งผลให้โคขับไนโตรเจนออกจากร่างกายโดยขับออกทางมูลและปัสสาวะสู่สิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้น (Roseler *et al.*, 1993) ซึ่งถ้าปริมาณยูเรียในน้ำนมสูงกว่า 18-19 mg/dl ทำให้อัตราการตั้งท้อง และโปรตีนนมลดลง (Grant, 1996; Butler *et al.*, 1998)

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University