

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของถั่วคาวาลเคดแห้ง และสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปที่ใช้ในการทดลองแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.1 พบว่า ถั่วคาวาลเคดแห้งที่ใช้ในการทดลองมีค่าของโปรตีนหยาบเท่ากับ 14.5 เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง เท่ากันกับถั่วคาวาลเคดแห้งที่ผลิตโดยเกษตรกรตัดอายุ 90 วัน (พิมพ์พร และคณะ, 2543)

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปที่ใช้ในการทดลอง

องค์ประกอบทางเคมี, % วัตถุแห้ง	TMR, kg				ถั่วคาวาลเคดแห้ง
	40	50	60	70	
วัตถุแห้ง	96.4	96.1	96.1	95.6	95.4
อินทรีย์วัตถุ	90.3	88.7	88.5	89.7	92.0
ถั่ว	9.80	11.3	11.5	10.4	7.98
โปรตีนหยาบ	13.7	14.2	14.6	14.5	14.5
เยื่อใย NDF	44.0	47.2	49.7	53.8	71.0
เยื่อใย ADF	30.0	33.0	38.1	37.5	51.0
เยื่อใย ADL	6.36	7.42	7.16	7.20	9.50
ไขมัน	6.36	5.47	4.69	3.67	1.58
โปรตีนที่ย่อยสลายได้, % โปรตีนหยาบ	66.4	68.6	68.7	72.6	61.1
โปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลาย, % โปรตีนหยาบ	33.6	31.4	31.3	27.4	38.9
ความหนาแน่น, กรัม/ลิตร	202.7	180.6	161.5	132.4	90.0

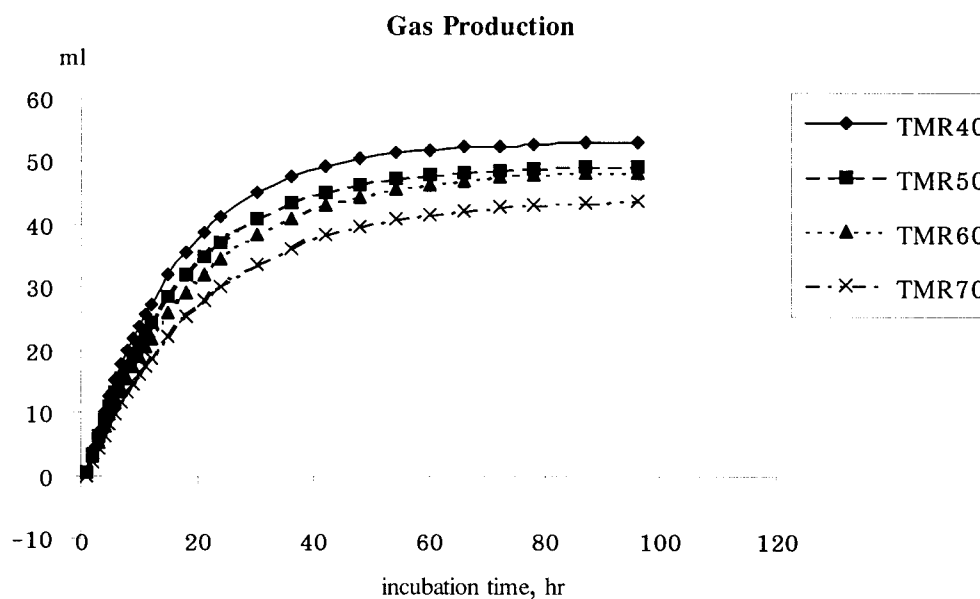
ถั่วคาวาลเคดแห้งมีค่า RDP เท่ากับ 61.1 เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง ต่ำกว่าค่าที่วิเคราะห์โดยใช้ถุงในลอนในโคเนื้อของจินดา และคณะ (2546) ที่รายงานว่าถั่วคาวาลเคดแห้งมีค่า RDP เท่ากับ 83.8 เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในการวิเคราะห์ใช้เทคนิคที่ต่างกัน วิธีที่ใช้ protease enzyme ในการวิเคราะห์นั้นเป็นการวิเคราะห์ภายในห้องปฏิบัติการ (*in vitro* technique) สามารถควบคุมให้มีปัจจัยที่เข้ามาเกี่ยวข้องต่อกระบวนการย่อยสลายโปรตีนในกระเพาะรูเมนนั้นคือ protease enzyme เพียงอย่างเดียวได้ ขณะที่วิธีที่ใช้ถุงในลอนนั้นเป็นการปฏิบัติภายในตัวสัตว์ (*in vivo* technique) มีปัจจัยอื่น ๆ นอกเหนือจาก protease enzyme ที่ผลิตจากตัวจุลินทรีย์ที่ไม่สามารถควบคุมได้เข้ามาเกี่ยวข้องกับกระบวนการย่อยสลายโปรตีนใน

กระเพาะรูเมน จึงทำให้ค่าที่วิเคราะห์โดยใช้ protease enzyme ภายในห้องปฏิบัติการมีค่าแตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม Roe et al. (1991) ได้เปรียบเทียบผลของการใช้ protease enzyme ด้วยวิธีการถูกล่อนในการประเมินค่าการย่อยสลายได้ของโปรตีนในกระเพาะรูเมน พบว่า มีค่าสหสัมพันธ์กันสูง (0.76-0.98) สอดคล้องกับรายงานของ Coblenz et al. (1999) สำหรับค่าเยื่อใย NDF ADF และ ADL ของถั่วคาวาลเคดแห้งที่ใช้ในการทดลองมีค่าเท่ากับ 71.0, 51.0 และ 9.5 เปอร์เซ็นต์วัตถุดิบแห้ง ตามลำดับ สูงกว่าผลวิเคราะห์ของกองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ (2547ข) จินดา และคณะ (2546) และ จินดา และคณะ (2547) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากถั่วคาวาลเคดแห้งที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีอายุการตัดมากกว่า 90 วัน จึงทำให้ส่วนประกอบที่เป็นเยื่อใยของถั่วคาวาลเคดแห้งมีค่าสูงขึ้น

สูตรอาหารผสมสำเร็จรูปทั้ง 4 สูตร ที่มีสัดส่วนระหว่างถั่วคาวาลเคดแห้งต่ออาหารชั้นในสูตรอาหารต่างกัน คือ 40:60, 50:50, 60:40 และ 70:30 มีองค์ประกอบทางเคมีที่เป็นวัตถุดิบ อินทรีย์วัตถุ และเถ้า อยู่ในระดับใกล้เคียงกัน มีระดับโปรตีนหยาบใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณไว้คือประมาณ 14 เปอร์เซ็นต์วัตถุดิบแห้ง สำหรับค่าเยื่อใย NDF ADF และ ADL มีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณถั่วคาวาลเคดแห้งในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป โดย NRC (1989) ให้คำแนะนำว่า ในอาหารโคนมควรมีระดับเยื่อใย NDF ไม่ต่ำกว่า 26-30 เปอร์เซ็นต์ และมีเยื่อใย ADF ไม่ต่ำกว่า 19-21 เปอร์เซ็นต์ (NRC, 2001) สอดคล้องกับ Grant (2000) ที่แนะนำว่า โคนมที่ให้ผลผลิตน้ำนมต่ำกว่า 20 กิโลกรัมต่อวัน ควรมีความเข้มข้นของเยื่อใย NDF เท่ากับ 39 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร การมีเยื่อใยเพิ่มขึ้นในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปส่งผลทำให้ค่าความหนาแน่น (bulk density) มีค่าลดลง และพบว่า ในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปที่มีสัดส่วนของอาหารชั้นสูงทำให้มีค่าของไขมันสูงตามไปด้วย เป็นผลเนื่องจาก ส่วนประกอบของวัตถุดิบในสูตรอาหารที่ใช้ เช่น รำละเอียด กากปาล์ม และกากถั่วเหลือง มีค่าของโภชนะที่เป็นไขมันค่อนข้างสูง โดย Palmquist and Jenkins (1980 อ้างถึงใน เมธา, 2533) กล่าวว่าระดับไขมันในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องควรอยู่ในระหว่าง 3-5 เปอร์เซ็นต์ รวมถึง Church (1979 อ้างถึงใน เมธา, 2533) ได้รายงานว่าการเพิ่มไขมันในปริมาณ 2-5 เปอร์เซ็นต์ของสูตรอาหาร เป็นการช่วยลดความเป็นฝุ่น เพิ่มความเอร็ดอร่อย และอาจช่วยทำให้ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูงขึ้น ทั้งนี้อาจช่วยลดปริมาณแก๊สเมเทนที่สูญเสียออกจากกระเพาะรูเมน แต่การเพิ่มไขมันมากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ของสูตรอาหาร อาจเป็นการลดประสิทธิภาพการย่อยของเซลลูโลสในกระเพาะรูเมน และทำให้มีการสะสมกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวในเนื้อเยื่อไขมัน นอกจากนั้นยังอาจทำให้เกิดท้องอืด และเกิดผิดปกติในกระเพาะรูเมน สอดคล้องกับ วิโรจน์ (2546) ที่รายงานว่าในโครีดนม และโคโตเต็มที ควรมีปริมาณไขมันในสูตรอาหารรวมประมาณ 3-5 เปอร์เซ็นต์ การใช้ปริมาณไขมันที่มากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ อาจทำให้ชะงักการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน และลดประสิทธิภาพในการย่อยสลายอาหารเยื่อใย และกระบวนการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจน (nitrogen metabolism) นอกจากนี้ ปริมาณไขมันในสูตรอาหารอาจมีผลต่อปริมาณการกินได้ของโคนม โดย สมฤทธิ์

(2547) รายงานว่า โคนมที่ได้รับสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปที่มีระดับไขมัน 6 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มลดปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบแห้งลง 4.2 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ได้รับการเสริมไขมัน 4 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป สอดคล้องกับ Pattarajinda (2001) ที่รายงานว่ โคนมที่ได้รับการเสริมไขมันเพิ่มขึ้นจาก 3.9 เป็น 7.6 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารรวม ทำให้โคนมมีปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบแห้งลดลง 12.5 เปอร์เซ็นต์ (จาก 10.6 เป็น 9.4 กิโลกรัมต่อวัน) อย่างไรก็ตาม NRC (2001) ได้แนะนำไว้ว่า ปริมาณไขมันในอาหารโคนมไม่ควรมีเกิน 5-7 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้สามารถรักษาระดับของไขมันในน้ำนม

สูตรอาหารผสมสำเร็จรูปมีค่า RDP เท่ากับ 66.4, 68.6, 68.7 และ 72.6 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนในสูตรอาหารที่มีระดับถั่วคาวาลเคดแห้ง 40, 50, 60 และ 70 ตามลำดับ สังเกตเห็นว่า ค่า RDP มีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับถั่วคาวาลเคดแห้ง ทั้งนี้อาจเนื่องจากว่าถั่วคาวาลเคดแห้งมีค่า RDP ค่อนข้างสูง รวมถึงเมื่อใช้ระดับถั่วคาวาลเคดแห้งเพิ่มขึ้นในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปมีการปรับค่าโปรตีนโดยใช้ยูเรีย ซึ่งมีการย่อยสลายของโปรตีนในกระเพาะรูเมนได้ทั้งหมด (NRC, 1988) จึงทำให้ค่า RDP เพิ่มขึ้นตาม นอกจากนี้ยังพบว่า ค่า RDP ในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปจากการทดลองในครั้งนี้มีค่าสูงกว่าระดับที่ ทรงศักดิ์ (2541) ได้รายงานไว้ว่า การให้อาหารที่มี RDP ในระดับ 65 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนในสูตรอาหาร ถือว่าอยู่ในระดับที่เหมาะสม ทำให้มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนนมอยู่ในระดับที่เหมาะสม แต่การศึกษาของพิทยา (2536) และวิศิษฐ์พร (2542) พบว่า ระดับ RDP ที่ 68 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนในสูตรอาหาร ทำให้เปอร์เซ็นต์โปรตีนนมและของแข็งทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สำหรับค่าโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมน (rumen undegradable protein, RUP or bypass protein) ของสูตรอาหารที่ใช้ในการทดลองต่ำกว่าค่าที่ Hopkins and Whitlow (2005) ได้รายงานไว้ว่า ในช่วงต้นการให้นมของโคนม ควรมี RUP อยู่ในช่วง 35-40 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนในสูตรอาหาร สอดคล้องกับ Linn (2005) ที่ได้แนะนำว่า ระดับที่เหมาะสมของ RUP ของโคนมช่วงต้นการให้นมอยู่ในช่วง 35-40 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนในสูตรอาหาร และลดลงอยู่ในช่วง 32-36 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนในสูตรอาหาร เมื่อโคนมอยู่ในช่วงกลาง และปลายของการให้นม



ภาพที่ 4.1 ผลของระดับถั่วคาวเคดแห้งในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปต่อผลผลิตแก๊ส

เมื่อทำการศึกษาผลผลิตแก๊สด้วยวิธีการ *in vitro* gas production technique พบว่า สูตรอาหาร TMR40 มีผลผลิตแก๊สเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและมีปริมาณมากที่สุด และลดลงในสูตรอาหาร TMR50, TMR60 และ TMR70 ตามลำดับ (ภาพที่ 4.1) สามารถอธิบายค่าที่แสดงผลผลิต รูปแบบ และจลนพลศาสตร์การผลิตแก๊ส (ตารางที่ 4.2) โดยการประเมินจากสมการ $y = a + b[1 - \text{Exp}^{(-ct)}]$ (Ørskov and McDonald, 1979) พบว่า ค่า a คือ ค่าปริมาณการผลิตแก๊ส ณ เวลาที่ 0 (จุดตัดแกน y) เป็นค่าที่ใช้บ่งบอกถึงความสามารถในการย่อยสลายที่เกิดจากองค์ประกอบที่สามารถละลายน้ำได้ ไม่มีความแตกต่างกันในสูตรอาหารแต่ละสูตร ($P > 0.05$) ค่า b หมายถึง ปริมาณแก๊สรวมทั้งหมด ณ จุดเส้นกราฟราบเรียบ บ่งบอกถึงส่วนที่มีศักยภาพในการย่อยสลายของสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป หากสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปมีค่า b สูง แสดงว่ามีส่วนที่มีศักยภาพในการย่อยสลายได้สูง เนื่องจากปริมาณแก๊สที่ผลิตได้มีความสัมพันธ์กันโดยตรงกับการย่อยสลายได้ของวัตถุดิบอาหารสัตว์ (Menke et al., 1979; Menke and Steingass, 1988) จากผลการทดลองครั้งนี้พบว่า ค่า b ของสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปแต่ละสูตรมีความแตกต่างกัน ($P < 0.05$) โดยค่า b ของสูตรอาหาร TMR40 มีค่าสูงสุดคือ 55.9 มิลลิลิตร Getachew et al. (1998) ได้อธิบายว่าอาหารพลังงานสามารถถูกย่อยสลายได้เร็วเพราะแหล่งของผลผลิตแก๊สโดยส่วนมากมาจากการถูกย่อยสลายของแหล่งอาหารพลังงาน จากการทดลองพบว่าสูตรอาหาร TMR40 มีจุดที่เส้นกราฟราบเรียบเร็วกว่าสูตรอาหารอื่นๆ สาเหตุเพราะมีสัดส่วนอาหารชั้นที่สูงเป็นแหล่งอาหารพลังงาน จึงทำให้สูตรอาหาร TMR40 สามารถถูกย่อยสลายได้เร็ว ส่วนค่า c หมายถึง อัตราการผลิตแก๊สโดยเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการหมัก มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อชั่วโมง

จากการทดลองพบว่า ในสูตรอาหาร TMR40 และ TMR50 มีค่าสูงกว่าสูตรอื่น ๆ ($P < 0.05$) นั่นคือสูตรอาหารดังกล่าวมีค่าอัตราการผลิตแก๊สที่เร็วกว่าสูตรอาหารอื่น ๆ และเมื่อประเมินศักยภาพการผลิตแก๊สจากสมการ $d = la + b$ ปรากฏว่า ค่า d มีค่าลดลงเป็นแบบเส้นตรง ($P < 0.05$) เมื่อมีปริมาณถั่วคาวาลเคตในสูตรอาหารเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากมีระดับเยื่อใย NDF ADF และ ADL สูงขึ้น จึงทำให้ถูกย่อยสลายได้ลดลง ระดับผนังเซลล์และลิกนินที่อยู่ในวัตถุดิบอาหารมีผลโดยตรงกับความสามารถในการย่อยสลายได้ของวัตถุดิบอาหาร และส่งผลถึงปริมาณการกินได้ด้วย (Ibrahim et al., 1995) นอกจากนี้ปริมาณแก๊สสะสมที่เกิดขึ้นเมื่อบ่มครบเวลา 96 ชั่วโมงพบว่า สูตรอาหาร TMR40 มีปริมาณแก๊สสะสมสูงสุด ($P < 0.05$) คือ 53.6 มิลลิลิตร

ตารางที่ 4.2 ผลของระดับถั่วคาวาลเคตในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป ต่อজননপলসাসত্রকারผลিতแก๊ส ปริมาตรแก๊ส และปริมาณพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (ME)

รายการ	TMR				SEM	Contrast ³		
	40	50	60	70		L	Q	C
Gas production characteristic ¹								
a	-2.16	-2.31	-2.67	-2.90	0.62	0.43	0.77	0.74
b	55.9 ^a	52.2 ^b	50.9 ^b	46.7 ^c	1.08	<0.01	0.86	0.29
c	0.07 ^a	0.06 ^a	0.05 ^b	0.05 ^b	0.00	<0.01	0.83	0.48
d	58.9 ^a	54.9 ^{ab}	53.1 ^{bc}	49.0 ^c	1.45	<0.01	0.99	0.51
ปริมาตรแก๊ส (มิลลิลิตร/0.2 กรัม)								
	53.6 ^a	50.1 ^b	48.7 ^b	44.5 ^c	1.07	<0.01	0.76	0.31
ME ² , Mcal/kg DM	2.60	2.43	2.33	2.09	0.03	<0.01	0.25	0.19

^{abc} ค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกันกับมีกำกับอักษร แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

¹ a = the intercept and ideally reflects the fermentation of the soluble fraction (ml), b = the fermentation of the insoluble (but with time fermentation, ml), c = rate of gas production (ml/hr), d = $la + b$

² ME (MJ/kg DM) = $1.24 + 0.146(\text{gas, ml/200 mg DM}) + 0.007(\text{CP}) + 0.0224(\text{EE})$ in g/kg DM.

³ เปรียบเทียบระดับอิทธิพลของถั่วคาวาลเคตในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป; L=เส้นตรง, Q=เส้นโค้งกำลังสอง, C=เส้นโค้งกำลังสาม

นอกจากนี้ เมื่อคำนวณระดับพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้จากการวัดผลผลิตแก๊สใน ห้องปฏิบัติการ โดยใช้สมการของ Menke and Steingass (1988) พบว่า ค่าพลังงานที่ใช้ ประโยชน์ได้มีแนวโน้มลดลงตามระดับของถั่วคาวาลเคดแห้งที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป และมีเพียงสูตรอาหาร TMR70 เท่านั้นที่มีระดับพลังงานต่ำกว่าความต้องการของโคนมที่ให้ผล ผลิตน้ำนมเฉลี่ย 15 กิโลกรัมต่อวัน (2.30 McalME/kgDM) (NRC, 1989) คือเพียง 2.09 McalME/kgDM (ตารางที่ 4.3) อีกทั้งยังต่ำกว่าการรายงานของสมคิด และบุญล้อม (2540) ที่ ได้ประเมินความต้องการโภชนะของอาหารรวมของโคนมลูกผสมขาวดำที่เลี้ยงในประเทศไทย พบว่า สำหรับโคนมน้ำหนัก 400 กิโลกรัม ให้ผลผลิตน้ำนม 10-15 กิโลกรัมต่อวัน มีความ ต้องการโปรตีนเท่ากับ 14-16 เปอร์เซ็นต์วัตถุดิบแห้ง และพลังงานเท่ากับ 2.32-2.42 McalME/kgDM

4.2 ปริมาณการกินได้และสัมประสิทธิ์การย่อยได้

จากการทดลองครั้งนี้ พบว่า ระดับถั่วคาวาลเคดแห้งที่เพิ่มขึ้นจาก 40 เป็น 50, 60 และ 70 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป ทำให้ปริมาณการกินได้อย่างอิสระของวัตถุดิบแห้งต่อวัน ของโคนมลดลงแบบเส้นตรง ($P < 0.05$) (ตารางที่ 4.3) และพบว่า การให้สูตรอาหารผสม สำเร็จรูปที่มีระดับถั่วคาวาลเคดแห้ง 40 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณการกินได้สูงสุดคือ 13.4 กิโลกรัม ต่อวัน นอกจากนี้ โคนมที่ได้รับสูตรอาหารสำเร็จรูปที่มีระดับถั่วคาวาลเคดแห้งแตกต่างกัน ทำให้ ปริมาณการกินได้น้ำหนักตัว และปริมาณการกินได้ต่อน้ำหนักตัว^{0.75} มีความแตกต่างกัน ($P < 0.05$) โดยมีค่าลดลงแบบเส้นตรงตามปริมาณถั่วคาวาลเคดแห้งในสูตรอาหารที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจากระดับเยื่อใยที่เพิ่มขึ้นตามระดับถั่วคาวาลเคดแห้งในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปนั้น ทำให้ อาหารมีความฟาม (bulkiness) มากขึ้น ส่งผลต่อความจุแน่นในกระเพาะรูเมน (gut fill) โดยเยื่อ ใยไปจำกัดปริมาณการกินอาหาร ทำให้ปริมาณการกินได้ของโคนมลดลง สอดคล้องกับ Mertens (1995) และ NRC (2001) ที่รายงานว่า ปริมาณเยื่อใยในอาหารมีผลต่อการใช้ประโยชน์ของ อาหาร เมื่อเยื่อใยในอาหารมากส่งผลให้มีปริมาณการกินได้ลดลง และพบว่าในสูตรอาหาร TMR70 มีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัวที่ลดลง 0.31 กิโลกรัมต่อวัน ($P < 0.05$) อาจเนื่องจาก โคนมมีปริมาณการกินได้วัตถุดิบเพียง 2.48 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ต่ำกว่าระดับที่ NRC (1989) รายงานไว้ว่า โคนมที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 400 กิโลกรัม ให้ผลผลิตน้ำนมเมื่อปรับไขมันนม 4 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 10-15 กิโลกรัมต่อวัน ควรมีปริมาณการกินได้วัตถุดิบประมาณ 2.7-3.2 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว จึงทำให้โคนมที่ได้รับสูตรอาหาร TMR70 ได้รับพลังงานต่ำกว่าระดับที่ ต้องการ อาจไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิต โคนมจึงมีการชดเชยการขาด พลังงานจากอาหารโดยการดึงเอาพลังงานจากไขมันที่สะสมไว้ในร่างกายนำมาใช้ในการให้ผลผลิต ส่งผลทำให้โคนมมีน้ำหนักตัวที่ลดลง

จากการประเมินสัมประสิทธิ์การย่อยได้โดยใช้เส้นที่ไม่ละลายในกรดเป็นตัวบ่งชี้ พบว่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุดิบ และอินทรีย์วัตถุ มีค่าลดลงแบบเส้นตรง ($P < 0.05$) ตามระดับถั่วคาวาลเคดแห้งที่เพิ่มขึ้น ขณะที่สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโปรตีนหยาบ เยื่อใย NDF เยื่อใย ADF และไขมันของการให้สูตรอาหารผสมสำเร็จรูปที่มีถั่วคาวาลเคดแห้งเป็นแหล่งอาหารหยาบไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) (ตารางที่ 4.3) และเมื่อประเมินความสามารถในการย่อยได้ในห้องปฏิบัติการ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับการทดลองในสัตว์ โดยความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุดิบ และอินทรีย์วัตถุ ณ ชั่วโมงที่ 24 หลังการบ่มของสูตรอาหาร TMR40 มีค่าสูงสุดประมาณ 65.9 และ 71.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื่องจากสูตรอาหาร TMR40 นี้มีส่วนประกอบที่ละลายน้ำได้ และสามารถย่อยสลายได้ง่ายในกระเพาะรูเมนอยู่สูง เมื่อการย่อยสลายในกระเพาะรูเมนเกิดขึ้นเร็ว อัตราการไหล (rate of passage) ของสารอาหารออกจากกระเพาะรูเมนเร็ว ส่งผลให้โคนมมีการกินอาหารได้เพิ่มขึ้นตามมา และพบว่าความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุดิบ และอินทรีย์วัตถุมีค่าลดลงเป็นแบบเส้นตรง ($P < 0.05$) เมื่อเพิ่มปริมาณถั่วคาวาลเคดแห้งในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป สาเหตุเพราะเมื่อมีระดับเยื่อใยในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปสูงขึ้น ทำให้การย่อยได้ของอาหารลดลง สอดคล้องกับ Van Soest (1971 อ้างถึงใน เมธา, 2533) ที่ได้รายงานว่า การย่อยได้จะลดลงมากหากมีเปอร์เซ็นต์เซลลูโลสในอาหารเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุดิบ และอินทรีย์วัตถุ เมื่อประเมิน ณ ชั่วโมงที่ 48 หลังการบ่ม โดยมีค่าสูงสุดในสูตรอาหาร TMR40 เช่นกัน คือมีความสามารถในการย่อยได้ประมาณ 69.4 และ 72.5 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุดิบ และอินทรีย์วัตถุ ตามลำดับ (ตารางที่ 4.3)

ตารางที่ 4.3 ผลของระดับถั่วवालเคดแห้งในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป ต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว ปริมาณการกินได้ สัมประสิทธิ์การย่อยได้ และการย่อยได้ของวัตถุดิบ และอินทรีย์วัตถุในห้องปฏิบัติการ ณ ชั่วโมงที่ 24 และ 48

รายการ	TMR				SEM	Contrast ¹		
	40	50	60	70		L	Q	C
น้ำหนักเริ่มต้น, กิโลกรัม	402.8	412.3	405.3	407.8				
น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง, กิโลกรัม/วัน	0.66 ^a	0.27 ^{ab}	0.32 ^{ab}	-0.31 ^b	0.21	0.02	0.57	0.28
ปริมาณการกินได้อย่างอิสระ								
กิโลกรัม/วัน	13.4 ^a	12.2 ^b	11.1 ^c	10.0 ^d	0.27	<0.01	0.82	0.98
% น้ำหนักตัว	3.35 ^a	2.98 ^b	2.75 ^c	2.48 ^d	0.06	<0.01	0.47	0.51
กรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว ^{0.75}	149.4 ^a	134.5 ^b	123.6 ^c	110.5 ^d	3.14	<0.01	0.78	0.68
สัมประสิทธิ์การย่อยได้, %								
วัตถุดิบ	71.1 ^a	70.2 ^a	68.2 ^b	65.4 ^c	0.41	<0.01	0.06	0.90
อินทรีย์วัตถุ	72.8 ^a	71.6 ^{ab}	69.4 ^{cb}	67.7 ^c	0.67	<0.01	0.68	0.65
โปรตีนหยาบ	74.7	74.6	74.0	71.5	1.37	0.15	0.41	0.87
เยื่อใย NDF	57.1	58.1	57.7	57.5	0.85	0.82	0.48	0.66
เยื่อใย ADF	50.0	51.8	52.4	50.1	1.30	0.88	0.17	0.78
ไขมัน	93.2	92.6	92.9	91.1	1.61	0.42	0.73	0.70
การย่อยได้ในห้องปฏิบัติการ, %								
การย่อยได้ของวัตถุดิบ								
ชั่วโมงที่ 24	65.9 ^a	64.8 ^{ab}	63.2 ^{ab}	61.0 ^b	2.00	0.02	0.67	0.99
ชั่วโมงที่ 48	69.4 ^a	67.2 ^{ab}	66.1 ^{ab}	63.9 ^b	1.91	0.01	0.98	0.73
การย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ								
ชั่วโมงที่ 24	71.3 ^a	68.0 ^{ab}	67.7 ^{ab}	65.9 ^b	2.11	0.02	0.60	0.49
ชั่วโมงที่ 48	72.5 ^a	70.0 ^{ab}	69.4 ^{ab}	68.5 ^b	1.68	0.04	0.54	0.29

^{abc} ค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกันกับมีกำกับอักษร แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

¹ เปรียบเทียบระดับอิทธิพลของถั่วवालเคดแห้งในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป; L=เส้นตรง, Q=เส้นโค้งกำลังสอง, C=เส้นโค้งกำลังสาม

4.3 โภชนะที่โคนมได้รับ

เมื่อประเมินโภชนะที่โคนมได้รับจากสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปแต่ละสูตร พบว่า โคนมได้รับ อินทรียัตถุ โปรตีนหยาบ ไขมัน และพลังงานลดลงแบบเส้นตรง ($P < 0.05$) ตามปริมาณ ถั่วคาวาลเคดแห่งที่มีระดับเพิ่มขึ้นในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป (ตารางที่ 4.4) เนื่องจากโคนมมี ปริมาณการกินได้ลดลงทำให้ได้รับโภชนะลดลงไปด้วย แต่ระดับโปรตีนที่ได้รับยังคงอยู่ในช่วงที่ เหมาะสม ดังที่ NRC (1989) รายงานว่า โปรตีนหยาบสำหรับโคนมที่ให้ผลผลิตน้ำนม 12.5-14.0 กิโลกรัมต่อวัน ควรได้รับโปรตีน 1.47-1.66 กิโลกรัมต่อวัน ส่วนปริมาณเยื่อใย NDF และ ADF ที่ได้รับไม่มีความแตกต่างกัน ($P > 0.05$) ในโคนมที่ได้รับอาหารแต่ละสูตรอาหารทดลอง

ตารางที่ 4.4 ผลของระดับถั่วคาวาลเคดแห่งในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป ต่อโภชนะที่ได้รับและ ปริมาณพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (ME)

รายการ	TMR				SEM	Contrast ³		
	40	50	60	70		L	Q	C
โภชนะที่ได้รับ, กิโลกรัม/วัน								
อินทรีย์วัตถุ	12.1 ^a	10.8 ^b	9.80 ^{cb}	9.00 ^c	0.31	<0.01	0.51	0.96
โปรตีนหยาบ	1.84 ^a	1.74 ^{ab}	1.62 ^{ab}	1.46 ^c	0.06	<0.01	0.61	0.97
IDP	1.22 ^a	1.19 ^{ab}	1.11 ^{ab}	1.06 ^b	0.04	0.02	0.81	0.65
IUP	0.62 ^a	0.55 ^b	0.51 ^b	0.40 ^c	0.02	<0.01	0.35	0.22
MCP ¹	1.15 ^a	1.01 ^b	0.89 ^c	0.79 ^c	0.03	<0.01	0.59	0.91
เยื่อใย NDF	5.88	5.75	5.49	5.37	0.20	0.10	0.10	0.77
เยื่อใย ADF	4.01	4.03	3.88	3.75	0.09	0.06	0.45	0.67
ไขมัน	0.85 ^a	0.67 ^b	0.52 ^c	0.37 ^d	0.03	<0.01	0.64	0.78
ME ² , Mcal/d	33.5 ^a	29.5 ^b	25.9 ^c	23.1 ^c	0.97	<0.01	0.56	0.94
ME, Mcal/kgDM	2.50 ^a	2.42 ^{ab}	2.34 ^b	2.31 ^b	0.04	<0.01	0.52	0.73

IDP = intake of degradable protein

IUP = intake of undegradable protein

¹ MCP (microbial crude protein), kg/d = 0.130 x kg DOMI

² 1 kg DOMI = 3.8 McalME/kgDM (Kearl, 1982)

³ เปรียบเทียบระดับอิทธิพลของถั่วคาวาลเคดแห่งในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป; L=เส้นตรง, Q=เส้นโค้งกำลังสอง, C=เส้นโค้งกำลังสาม

^{abc} ค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกันกับมีกำกับอักษร แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

เมื่อประเมินการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนจากอินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้ (digestible organic matter intake, DOMI) ที่โคนมได้รับ พบว่า โคนมที่ได้รับสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปแต่ละสูตรมีการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนลดลงแบบเส้นตรง ($P < 0.05$) ตามปริมาณถั่วคาวาลเคดแห้งที่มีระดับเพิ่มขึ้นในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป (ตารางที่ 4.4) โดย Chen and Gomest (1992) กล่าวว่า การสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนสามารถประเมินจากอินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้ และปริมาณการสังเคราะห์จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณการกินได้ นอกจากนี้ ยังเสนอว่า การสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนไม่ได้มีปัจจัยจากปริมาณการกินได้อย่างเดียว แต่ขึ้นอยู่กับลักษณะความฟามของอาหารหยาบที่มีผลต่อความจุแน่นในกระเพาะรูเมนด้วย ดังจะเห็นได้จากการทดลองครั้งนี้ว่า โคนมกลุ่มที่ได้รับสูตรอาหาร TMR40 มีปริมาณการกินได้ที่สูง การสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนก็จะสูงกว่ากลุ่มอื่น

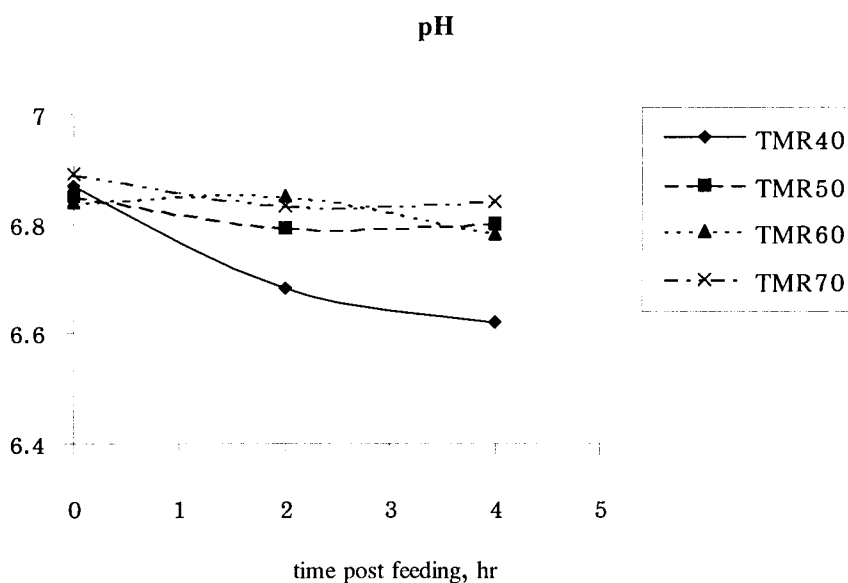
เมื่อคำนวณระดับพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้จากอินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้ที่โคนมได้รับในการทดลองนี้ พบว่า มีค่าลดลงแบบเส้นตรง ($P < 0.05$) เมื่อมีปริมาณถั่วคาวาลเคดแห้งในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.4) เนื่องจากระดับเยื่อใยที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปมีผลต่อการย่อยได้ ปริมาณการกินได้ ของโคนมที่ลดลง ส่งผลทำให้ตัวสัตว์ได้รับระดับพลังงานสุทธิลดลงตามมาด้วย (Van Soest, 1971 อ้างถึงใน เมธา, 2533) และพบว่าโคนมกลุ่มที่ได้รับสูตรอาหาร TMR40 ได้รับพลังงานสูงสุดคือ 33.5 McalME/d สูงกว่า NRC (1989) ที่แนะนำว่า ความต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีพและให้ผลผลิตน้ำนมสำหรับโคให้นมไม่เกิน 20 กิโลกรัมต่อวัน ควรได้รับเฉลี่ย 32.1 McalME/d และ โคนมที่ให้ผลผลิตน้ำนม 12.5-14.0 กิโลกรัมต่อวัน ควรได้รับพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ 26-30 McalME/d ดังนั้นโคนมกลุ่มที่ได้รับสูตรอาหาร TMR70 ที่มีปริมาณพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ต่ำกว่าความต้องการ ทำให้มีผลต่อการตั้งโภชนะในร่างกายมาใช้ และส่งผลต่อการลดลงของน้ำหนักรีดตัวได้ นอกจากนี้ ค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่คำนวณจากอินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้ มีค่าใกล้เคียงกับค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่คำนวณจากการวัดผลผลิตแก๊ส

4.4 รูปแบบของกระบวนการหมัก และผลผลิตสุดท้ายของกระบวนการหมัก

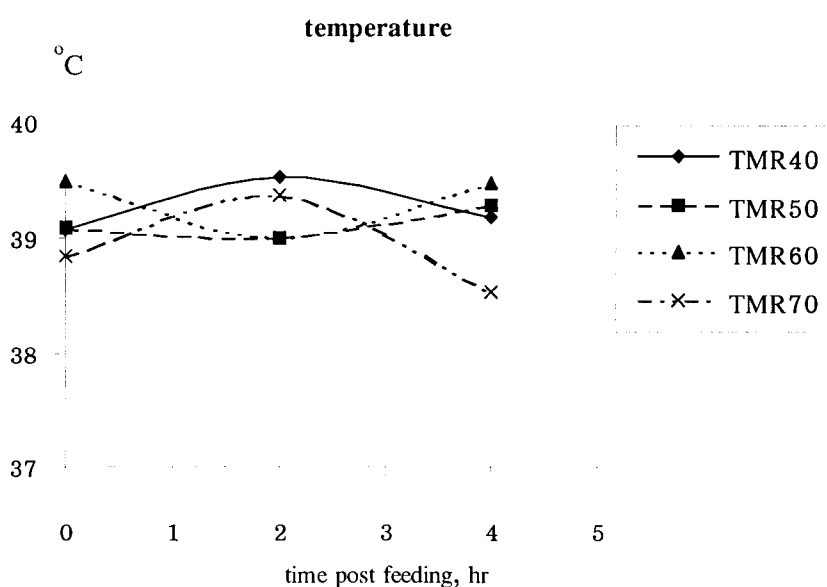
4.4.1 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และอุณหภูมิ

ระยะเวลาการสุมเก็บของเหลวจากกระเพาะรูเมน ณ ชั่วโมงที่ 0, 2 และ 4 พบว่าระดับถั่วคาวาลเคดแห้งที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง (ภาพที่ 4.2) และอุณหภูมิในกระเพาะรูเมน (ภาพที่ 4.3) สอดคล้องกับ Bargo et al. (2002) ที่กล่าวว่า การให้สูตรอาหารผสมสำเร็จรูปช่วยรักษาระดับความเป็นกรด-ด่างให้คงที่ ไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน อีกทั้งการให้สูตรอาหารผสมสำเร็จรูปทำให้ความผันแปรของความเป็นกรด-ด่างของของเหลวในกระเพาะรูเมนน้อยกว่าการให้อาหารแบบแยกประเภท มีผลทำให้การทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนดีกว่า (Ørskov, 1994; จลอง, 2541) และ Kirchgeßner et al. (1981) พบว่า การให้สูตรอาหารผสมสำเร็จรูป

เป็นการช่วยปรับสภาพกระเพาะรูเมนให้เหมาะสมต่อจุลินทรีย์ และช่วยเพิ่มปริมาณการกินอาหาร และการให้ผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4.2 ผลของระดับถั่วคาวาลเคดแห้งในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป ต่อความเป็นกรด-ด่าง ในกระเพาะรูเมน ณ ชั่วโมงที่ 0, 2 และ 4 ภายหลังจากกินอาหาร



ภาพที่ 4.3 ผลของระดับถั่วคาวาลเคดแห้งในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป ต่ออุณหภูมิในกระเพาะรูเมน ณ ชั่วโมงที่ 0, 2 และ 4 ภายหลังจากกินอาหาร

ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างของของเหลวในกระเพาะรูเมนมีค่าสูงขึ้นแบบเส้นตรง ($P < 0.05$) ตามปริมาณถั่วคาวาลเคดแห้งที่มีระดับเพิ่มขึ้นในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป (ตารางที่ 4.5) เนื่องจากระดับเยื่อใยที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปมีผลต่อกระบวนการเคี้ยวเอื้อง และการหลั่งน้ำลาย ไอออนจากน้ำลายจะทำหน้าที่ต่อต้านกรดที่เกิดจากกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน อย่างไรก็ตาม ค่าความเป็นกรด-ด่างที่วัดค่าได้ในโคนมแต่ละกลุ่มทดลองนั้นยังมีค่าอยู่ในระดับปกติ ตามการรายงานของ Van Soest (1983 อ้างถึงใน ฉลอง, 2541) ที่กล่าวว่า สภาวะภายในกระเพาะรูเมนควรมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 6.0-7.0 จึงอาจกล่าวได้ว่า สูตรอาหารผสมสำเร็จรูปช่วยรักษาสภาวะความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนให้มีความเหมาะสม

ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของของเหลวในกระเพาะรูเมนในโคนม ไม่มีความแตกต่างกัน ($P > 0.05$) เมื่อเพิ่มระดับถั่วคาวาลเคดแห้งในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป (ตารางที่ 4.5) โดยมีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนคือ $38-40^{\circ}\text{C}$ (ฉลอง, 2541)

ตารางที่ 4.5 ผลของระดับถั่วคาวาลเคดแห้งในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป ต่อความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ กรดไขมันที่ระเหยได้ง่าย แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) ยูเรีย-ไนโตรเจนในพลาสมา (PUN) และกลูโคสในกระแสเลือด (BG)

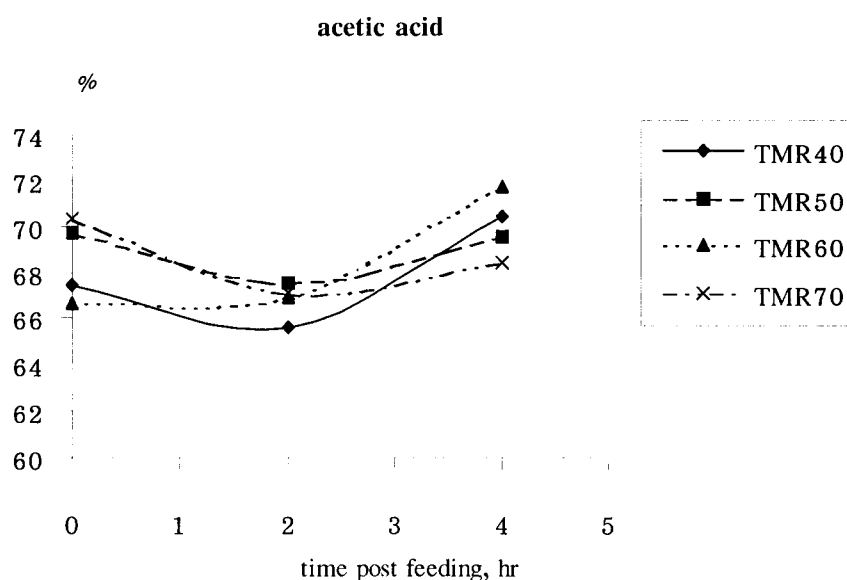
รายการ	TMR				SEM	Contrast ¹		
	40	50	60	70		L	Q	C
ความเป็นกรด-ด่าง	6.72 ^b	6.81 ^{ab}	6.83 ^{ab}	6.85 ^a	0.05	0.01	0.31	0.51
อุณหภูมิ, °C	39.3	39.1	39.3	38.9	0.26	0.13	0.25	0.09
กรดไขมันที่ระเหยได้ง่าย, %								
Acetic acid, C ₂	67.8	68.9	68.4	68.6	2.08	0.55	0.50	0.47
Propionic acid, C ₃	22.5	21.9	22.6	22.8	2.19	0.53	0.45	0.50
Butyric acid, C ₄	9.70	9.21	9.02	8.60	0.85	0.01	0.90	0.67
C ₂ :C ₃	3.42	3.59	3.48	3.60	0.27	0.30	0.78	0.22
$\text{NH}_3\text{-N}$, mg%	7.36	7.07	7.61	7.99	0.59	0.01	0.10	0.26
PUN, mg%	13.2	14.5	15.2	16.5	1.68	<0.01	0.96	0.45
BG, mg%	58.1	57.2	54.9	54.1	2.58	<0.01	0.94	0.31

^{abc} ค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกันกับมีกำกับอักษร แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

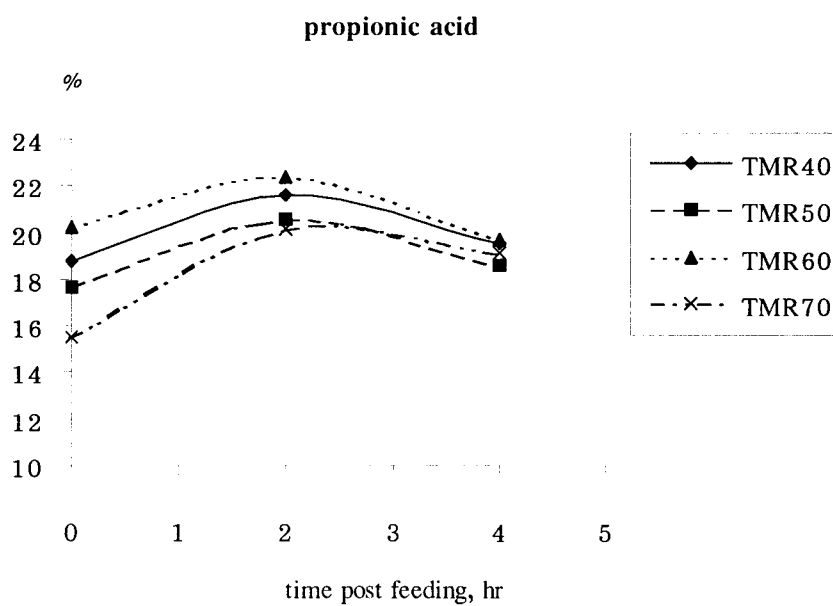
¹ เปรียบเทียบระดับอิทธิพลของถั่วคาวาลเคดแห้งในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป; L=เส้นตรง, Q=เส้นโค้งกำลังสอง, C=เส้นโค้งกำลังสาม

4.4.2 ปริมาณกรดไขมันที่ระเหยง่ายในของเหลวจากกระเพาะรูเมน

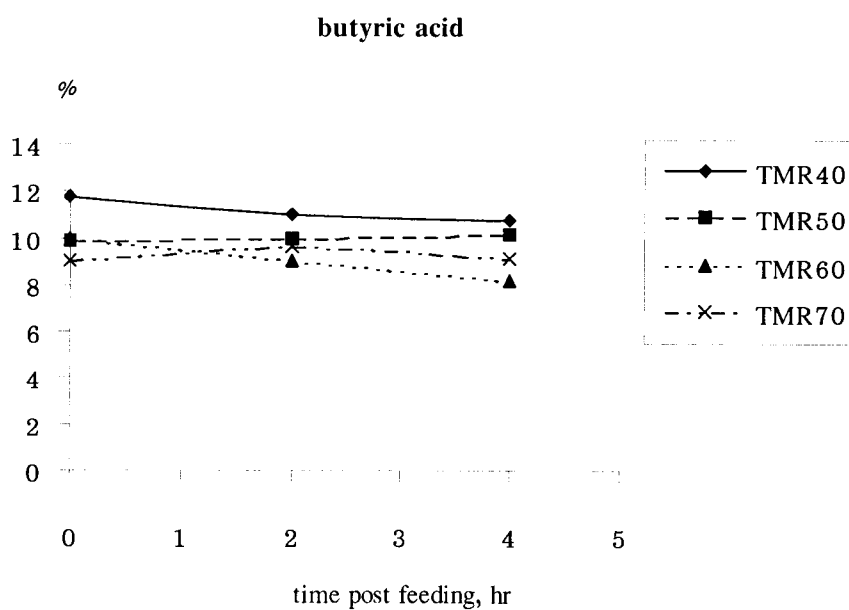
ความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ ได้แก่ กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และ กรดบิวทิริกในแต่ละสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปมีค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงในภาพที่ 4.4 ภาพที่ 4.5 และภาพที่ 4.6 เนื่องจาก โภชนะที่เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้าง ได้แก่ พวคน้ำตาล แป้ง และคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ จะถูกย่อยสลายได้ก่อนคาร์โบไฮเดรตชนิดที่เป็นโครงสร้างได้แก่ พวกลำใย จึงทำให้ความเข้มข้นของกรดโพรพิโอนิกสูงขึ้นในชั่วโมงที่ 2 ภายหลังจากโคนมได้กินอาหาร ขณะที่ในชั่วโมงที่ 4 ภายหลังจากการกินอาหารนั้นพบว่า ความเข้มข้นของกรดอะซิติกมีค่าสูงขึ้น สำหรับความเข้มข้นของกรดบิวทิริกนั้นไม่แตกต่างกันมากนักในชั่วโมงที่ 0, 2 และ 4 ภายหลังจากการกินอาหาร



ภาพที่ 4.4 ผลของระดับถั่วคาวาลเคดแห้งในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป ต่อการผลิตกรดอะซิติก ณ ชั่วโมงที่ 0, 2 และ 4 ภายหลังจากกินอาหาร



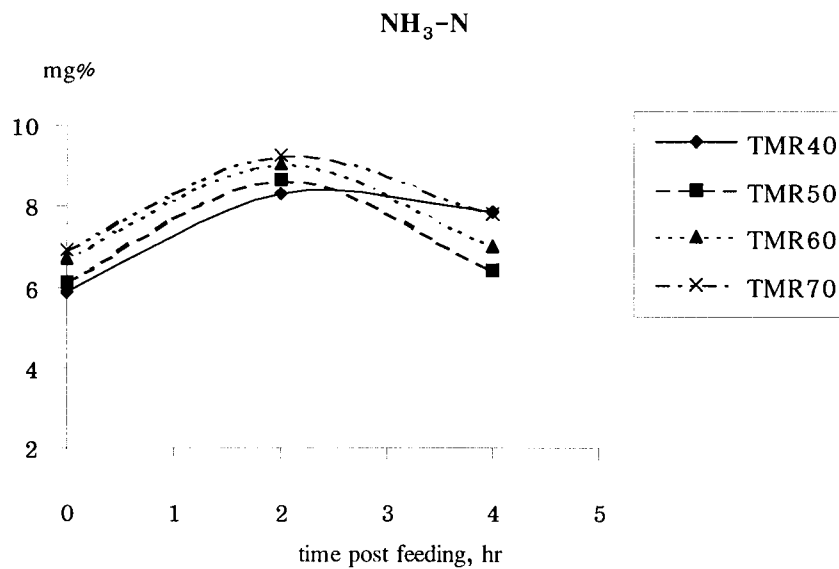
ภาพที่ 4.5 ผลของระดับถั่วคาวาลเคดแห้งในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป ต่อการผลิตกรดโพรพิโอนิก ณ ชั่วโมงที่ 0, 2 และ 4 ภายหลังกินอาหาร



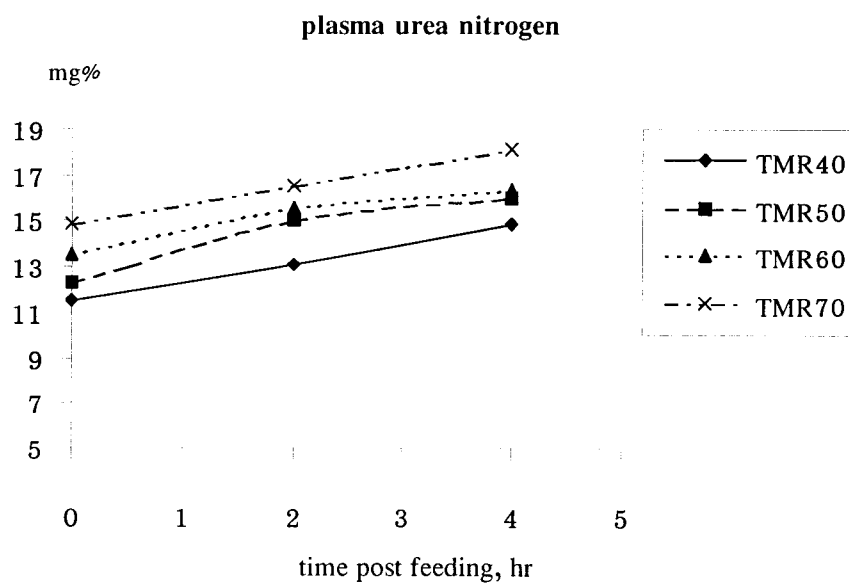
ภาพที่ 4.6 ผลของระดับถั่วคาวาลเคดแห้งในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป ต่อการผลิตกรดบิวทิริก ณ ชั่วโมงที่ 0, 2 และ 4 ภายหลังกินอาหาร

ค่าเฉลี่ยของการผลิตกรดไขมันที่ระเหยง่ายทั้ง 3 ชนิด คือ กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทิริก ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) ในโคนมที่ได้รับสูตรอาหารแต่ละสูตร (ตารางที่ 4.5) จากการทดลองครั้งนี้พบว่า มีค่าเฉลี่ยของกรดอะซิติกต่อกรดโพรพิโอนิกและกรดบิวทิริก เท่ากับ 68.4 ต่อ 22.4 ต่อ 9.1 ซึ่งใกล้เคียงกับรายงานของ Hungate (1966 อ้างถึงใน เมธา, 2533) ที่กล่าวว่า ความเข้มข้นของกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทิริก มีค่าประมาณ 62, 22 และ 16 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ความเข้มข้นของกรดอะซิติกจากการทดลองครั้งนี้มีค่าค่อนข้างสูง อาจเนื่องจากสภาวะความเป็นกรด-ด่างของของเหลวภายในกระเพาะรูเมน มีค่าประมาณ 6.8 เป็นช่วงที่เหมาะสมต่อจุลินทรีย์กลุ่มที่ย่อยสลายเยื่อใย (cellulolytic bacteria) (เมธา, 2533) ผลพลอยได้จากการย่อยสลายเยื่อใยส่วนใหญ่ได้กรดอะซิติกเป็นผลผลิตสุดท้าย อย่างไรก็ตาม จลน (2541) กล่าวว่า สัดส่วนของกรดไขมันที่ระเหยง่ายขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร โคนมที่ได้รับอาหารหยาบมากจะมีการผลิตกรดอะซิติกสูงขึ้น และส่วนที่เพิ่มขึ้นมีผลยับยั้งต่อปริมาณการกินอาหารของสัตว์ (เมธา, 2533) กรณีที่มีการเสริมอาหารชั้นในระดับสูง ทำให้ความเข้มข้นของกรดโพรพิโอนิกเพิ่มสูงขึ้น สอดคล้องกับการรายงานของ Sutton et al. (2004) ที่ทำการศึกษการให้อาหารโคนม 2 ระดับ คือ การให้อาหารระดับปกติโดยให้อาหารหยาบต่ออาหารชั้นประมาณ 39.5 ต่อ 60.5 เปรียบเทียบกับการให้อาหารหยาบ และอาหารชั้นที่ระดับ 1.2 ต่อ 11.5 กิโลกรัมต่อวัน (สัดส่วนอาหารหยาบต่ออาหารชั้นประมาณ 9.4 ต่อ 90.6) โดยแบ่งให้ 2 เวลา พบว่า การให้อาหารหยาบต่ออาหารชั้นที่ระดับ 9.4 ต่อ 90.6 ทำให้ความเข้มข้นของกรดโพรพิโอนิกเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า ขณะที่ความเข้มข้นของกรดอะซิติก และกรดบิวทิริกมีปริมาณลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับโคนมที่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนระหว่างอาหารหยาบต่ออาหารชั้นที่ระดับ 39.5 ต่อ 60.5

สัดส่วนระหว่างกรดอะซิติกและกรดโพรพิโอนิก มีค่าไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) แต่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีระดับถั่วคาวาลเคดแห้งในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปสูงขึ้น (ตารางที่ 4.5) ทั้งนี้เนื่องจากว่าเมื่อมีระดับถั่วคาวาลเคดแห้งสูง ทำให้มีระดับของเยื่อใยในสูตรอาหารเพิ่มขึ้นและส่งผลทำให้มีการผลิตกรดอะซิติกในปริมาณที่มากขึ้น ขณะที่การผลิตกรดโพรพิโอนิกมีปริมาณน้อยลง สอดคล้องกับ Russell (1998) ได้ทำการทดลองให้โคนมได้รับอาหารที่มีระดับอาหารชั้น 90 เปอร์เซ็นต์ พบว่า สัดส่วนของกรดอะซิติกและกรดโพรพิโอนิกมีค่าต่ำกว่า (2.24) เมื่อเปรียบเทียบกับโคนมที่ได้รับระดับอาหารหยาบ 100 เปอร์เซ็นต์ (4.12) เช่นเดียวกับกับ Bauman et al. (1971) ที่รายงานว่ามีสัดส่วนของพืชอาหารสัตว์ในสูตรอาหารเพิ่มสูงขึ้นส่งผลทำให้สัดส่วนระหว่างกรดอะซิติกและกรดโพรพิโอนิกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย เพราะมีการผลิตกรดโพรพิโอนิกน้อยลง และจากการทดลองครั้งนี้สัดส่วนระหว่างกรดอะซิติกและกรดโพรพิโอนิกมีค่าอยู่ในช่วง 3.42-3.60 มีค่าสูงกว่า Davis (1967 อ้างถึงใน Sheperd and Combs, 1998) ที่รายงานว่ามีค่าแปรผันอยู่ในช่วง 1.3-3.3 อย่างไรก็ตาม ขึ้นอยู่กับสัดส่วนระหว่างอาหารหยาบและอาหารชั้นในสูตรอาหาร (Siciliano-Jones and Murphy, 1989)



ภาพที่ 4.7 ผลของระดับถั่วคาวาลเคตแห้งในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป ต่อการผลิตแอมโมเนียไนโตรเจน ณ ชั่วโมงที่ 0, 2 และ 4 ภายหลังกินอาหาร



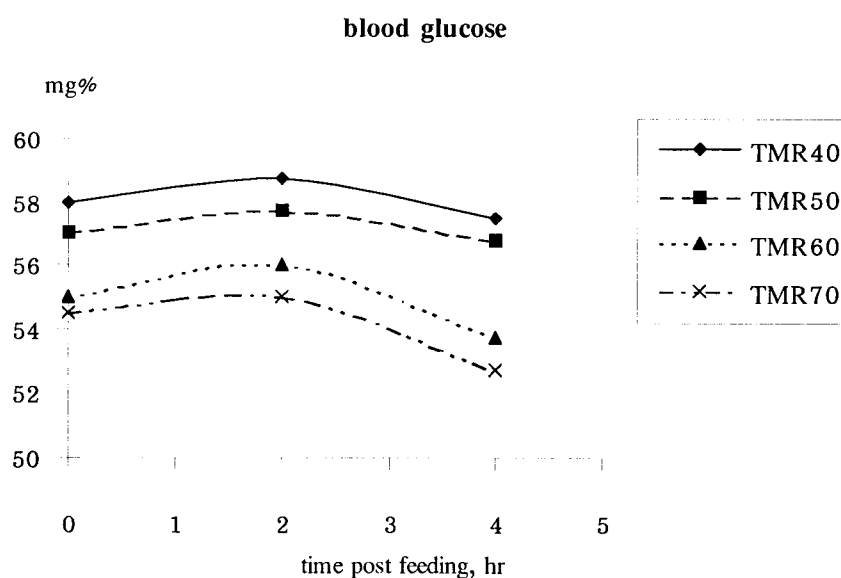
ภาพที่ 4.8 ผลของระดับถั่วคาวาลเคตแห้งในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป ต่อการผลิตยูเรียไนโตรเจนในพลาสมา ณ ชั่วโมงที่ 0, 2 และ 4 ภายหลังกินอาหาร

4.4.3 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของของเหลวในกระเพาะรูเมนและค้ำยูเรีย-ไนโตรเจนในพลาสมา

การเพิ่มระดับถั่วคาวาลเคดในสูตรอาหารสำเร็จรูป ส่งผลต่อความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในของเหลวจากกระเพาะรูเมน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงที่ 2 และลดลงในช่วงที่ 4 (ภาพที่ 4.7) ขณะที่ ยูเรีย-ไนโตรเจนในพลาสมายังมีค่าสูงขึ้นจนถึงช่วงที่ 4 ภายหลังการกินอาหาร (ภาพที่ 4.8) สอดคล้องกับ NRC (1989) ที่ได้รายงานไว้ว่า โคมนจะมีแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของของเหลวในกระเพาะรูเมนสูงสุดเมื่อสัตว์ได้รับอาหารมาแล้ว 1.5-2 ชั่วโมง และหลังจากนั้นประมาณ 4 ชั่วโมง มีระดับยูเรีย-ไนโตรเจนในพลาสมาสูงสุด

ค่าเฉลี่ยแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของของเหลวในกระเพาะรูเมน และค้ำยูเรีย-ไนโตรเจนในพลาสมาไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) (ตารางที่ 4.5) เมื่อเพิ่มระดับถั่วคาวาลเคดในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป ระดับของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน เป็นค่าหนึ่งที่น่าบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน และส่งผลกระทบต่อกิจกรรมการย่อยอาหารในกระเพาะรูเมน ระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และกิจกรรมของจุลินทรีย์ อยู่ระหว่าง 5-25 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ (Preston and Leng, 1978) นอกจากนี้มีรายงานไว้ว่า ระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนที่ทำให้ปริมาณการกินได้ของอาหารเหมาะสมที่สุด ควรอยู่ที่ระดับ 20 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ และที่ทำให้การทำงานของเอนไซม์ที่ย่อยเซลลูโลส (cellulolytic enzyme) เหมาะสมควรอยู่ที่ระดับ 6-10 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ (Perdok et al., 1988 อ้างถึงใน Leng et al., 1994) อย่างไรก็ตาม ในการทดลองครั้งนี้พบว่าค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของของเหลวในกระเพาะรูเมนเฉลี่ยในโคมนแต่ละกลุ่มทดลองอยู่ระหว่าง 7.07-7.99 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงกว่าความเข้มข้นต่ำสุดของแอมโมเนียในกระเพาะรูเมนที่ทำให้มีการผลิตมวลของจุลินทรีย์ได้ผลดีจากสารที่มีอยู่ (5.6-7.0 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์) (Satter and Slyter, 1974) และพบว่า ยูเรีย-ไนโตรเจนในพลาสมามีค่าอยู่ในช่วง 13.2-16.5 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ มีค่าใกล้เคียงกันกับ Bargo et al. (2002) ที่รายงานไว้ว่า ในโคที่ได้รับสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป มีค่าความเข้มข้นของยูเรีย-ไนโตรเจนในพลาสมาเฉลี่ย 14 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้จะแตกต่างกันขึ้นกับชนิดอาหาร แต่การให้สูตรอาหารผสมสำเร็จรูปมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก เนื่องจากสัตว์ได้รับโปรตีนในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปอย่างสม่ำเสมอ ขณะที่ Roseler et al. (1993) ได้รายงานไว้ว่า โครีดนมควรมีค่าความเข้มข้นของยูเรีย-ไนโตรเจนในพลาสมาเฉลี่ย 12 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ และ Nousiainen et al. (2004) กล่าวว่า ยูเรีย-ไนโตรเจนในพลาสมาที่สูงเกินไปบ่งบอกถึงการใช้ประโยชน์จากไนโตรเจนในอาหารของโคมนั้นไม่มีประสิทธิภาพ และจากการทดลองครั้งนี้ยังพบว่ายูเรีย-ไนโตรเจนในพลาสมามีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันกับค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมน คือ หากมีความเข้มข้นของค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของของเหลวในกระเพาะรูเมนสูง ความเข้มข้นของยูเรีย-ไนโตรเจนในพลาสมาจะสูงตามไปด้วย เนื่องจากการดูดซึมแอมโมเนียจากกระเพาะรูเมนแล้วถูกเปลี่ยนแปลงให้อยู่ในรูปของยูเรียที่ตับ

เพื่อป้องกันความเป็นพิษของแอมโมเนีย สอดคล้องกับรายงานของเมธา (2533) และปราโมทย์ (2541) ที่กล่าวว่า การเพิ่มขึ้นของระดับยูเรียในพลาสมามีความสัมพันธ์กับระดับของแอมโมเนียในกระเพาะรูเมน ที่เป็นผลมาจากแหล่งโปรตีนจากอาหารที่สามารถย่อยสลายได้ในกระเพาะรูเมนในปริมาณที่ต่างกัน รวมถึงงานทดลองที่ผ่านมาของ Pimpa et al. (1996) ที่ได้ศึกษาผลของระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนต่อระดับยูเรียในพลาสมา โดยการให้ $\text{NH}_4\text{-HCO}_3$ ที่ระดับ 0, 150, 300, 450 และ 600 กรัมต่อวัน พบว่า เมื่อมีการให้ $\text{NH}_4\text{-HCO}_3$ ในปริมาณสูงขึ้น ทำให้ระดับของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมน ความเป็นกรด-ด่าง และความเข้มข้นของยูเรียในพลาสมาเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ค่ายูเรีย-ไนโตรเจนในพลาสมายังมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับค่ายูเรีย-ไนโตรเจนในน้ำนมด้วย (Broderick and Clayton, 1997; Hof et al., 1997)



ภาพที่ 4.9 ผลของระดับถั่วคาวาลเคดแห้งในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป ต่อกลูโคสในกระแสเลือด ณ ชั่วโมงที่ 0, 2 และ 4 ภายหลังกินอาหาร

4.4.4 กลูโคสในกระแสเลือด

ในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปที่มีถั่วคาวาลเคดแห้งเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อความเข้มข้นของกลูโคสในกระแสเลือด โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในชั่วโมงที่ 2 และลดลงในชั่วโมงที่ 4 (ภาพที่ 4.9) และพบว่ามีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับค่าความเข้มข้นของกรดไพรูฟิอิก (ภาพที่ 4.5) เนื่องจากการสังเคราะห์กลูโคสได้มาจากกรดไพรูฟิอิกที่เป็นสารตั้งต้น ดังนั้นหากความเข้มข้นของกรดไพรูฟิอิกมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความเข้มข้นของกลูโคสในกระแสเลือดย่อมมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

ค่าเฉลี่ยกลูโคสในกระแสเลือดของงานทดลองในครั้งนี้ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) ระหว่างโคนมที่ได้รับสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปที่มีระดับถั่วขาวเคดแห้งที่ 40, 50, 60 และ 70 เปอร์เซ็นต์ โดยวัดค่าได้ 58.1, 57.2, 54.9 และ 54.1 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 4.5) แต่ค่ากลูโคสในกระแสเลือดมีแนวโน้มลดลงเมื่อในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปมีส่วนส่วนของอาหารชั้นต่ำลง ทั้งนี้อาจเนื่องจากการสังเคราะห์กรดโพรพิโอนิกที่เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์กลูโคสลดลง จึงอาจทำให้กลูโคสในกระแสเลือดมีแนวโน้มลดลง นอกจากนี้อาจเนื่องจากมีปริมาณของแป้ง (starch) ในสูตรอาหารไหลผ่านออกจากส่วนของกระเพาะรูเมนไปยังส่วนของลำไส้ในปริมาณน้อยลง จึงทำให้มีกลูโคสในกระแสเลือดน้อยลงได้ สอดคล้องกับ Dhiman et al. (1991) ที่รายงานว่า เมื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์ของอาหารหยาบในสูตรอาหาร จาก 38.2 เป็น 98.2 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้ค่ากลูโคสในกระแสเลือดมีค่าลดลงตามไปด้วย อย่างไรก็ตาม ค่ากลูโคสในกระแสเลือดจากการทดลองในครั้งนี้มีค่าอยู่ในระดับปกติตามการรายงานของ เมธา (2533) ที่กล่าวว่า ระดับปกติของกลูโคสในกระแสเลือดของสัตว์เคี้ยวเอื้องคือ 50 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ กลูโคสมีความสำคัญอย่างยิ่งในการนำใช้ประโยชน์ในการผลิตน้ำตาลแลคโตส นอกจากนี้แล้วยังรายงานว่า ต้องรักษาให้อยู่ในระดับ 40-60 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ เพื่อให้เนื้อเยื่อทำหน้าที่ได้ตามปกติ

4.5 ผลผลิตและองค์ประกอบน้ำนม

ปริมาณผลผลิตน้ำนม และผลผลิตน้ำนมปรับไขมัน 4 เปอร์เซ็นต์ พบว่า มีค่าลดลงแบบเส้นตรง ($P<0.05$) เมื่อเพิ่มระดับถั่วขาวเคดแห้งในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป (ตารางที่ 4.6) เนื่องจากปริมาณการกินได้ของโคนมที่ลดลง สอดคล้องกับ Briceno et al. (1987) ที่พบว่า การให้ผลผลิตน้ำนมของโคนมมีความสัมพันธ์กับปริมาณการกินได้ โดย Beede and Colloer (1986) กล่าวว่า การให้ผลผลิตน้ำนมของโคนมในเขตร้อนมีอิทธิพลมาจากการกินได้ทั้งหมด นอกจากนี้แล้วสัดส่วนของอาหารชั้นในสูตรอาหารที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ปริมาณน้ำนมเพิ่มขึ้นได้ด้วย เนื่องจากเมื่อมีสัดส่วนของอาหารชั้นเพิ่มขึ้นทำให้การผลิตกรดโพรพิโอนิก ที่เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์กลูโคสมีส่วนเพิ่มขึ้น กระบวนการสังเคราะห์น้ำตาลแลคโตสจะเพิ่มขึ้นตามภายในกระเปาะนม (alveolus) ทำให้ก็จะมีความเข้มข้นของน้ำตาลแลคโตสมากขึ้น และเมื่อมีความเข้มข้นของน้ำตาลแลคโตสมากขึ้น ส่งผลทำให้โคนมมีการกินน้ำเพิ่มขึ้น น้ำจะเข้าไปภายในกระเปาะนมเพิ่มขึ้นเพื่อให้น้ำเข้าไปช่วยรักษาสมดุลระหว่างเซลล์กับภายในกระเปาะนม ทำให้ความเข้มข้นของน้ำตาลแลคโตสภายในกระเปาะนมเจือจางลงเข้าสู่ภาวะสมดุลของสารที่มีอยู่ในน้ำนม ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้เองที่มีผลทำให้โคนมที่ได้รับสัดส่วนของอาหารชั้นสูงมีปริมาณผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้น

สำหรับองค์ประกอบน้ำมัน พบว่า ไขมันนมมีค่าเพิ่มขึ้นแบบเส้นตรง ($P < 0.05$) เมื่อเพิ่มระดับถั่วคาวาลเคดในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป (ตารางที่ 4.6) เนื่องจากเมื่อเพิ่มระดับถั่วคาวาลเคดในสูตรอาหารแล้ว ทำให้มีค่าเยื่อใยที่สูงขึ้น โดยเยื่อใยเป็นแหล่งของกรดไขมันที่ระเหยได้ง่าย โดยเฉพาะกรดอะซิติก ที่เป็นสารตั้งต้นของไขมันในน้ำมัน จึงทำให้ปริมาณไขมันน้ำมันเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าของแข็งทั้งหมดในน้ำมันเพิ่มสูงตามไปด้วย ส่วนค่าแลคโตสในน้ำมันมีค่าลดลงแบบเส้นตรง ($P < 0.05$) เมื่อเพิ่มระดับถั่วคาวาลเคดในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป (ตารางที่ 4.6) เนื่องจากสัดส่วนของอาหารชั้นในสูตรอาหารที่ลดลงทำให้การสังเคราะห์กลูโคสลดลง ส่งผลให้การสังเคราะห์น้ำตาลแลคโตสลดลงได้

สัดส่วนระหว่างไขมันและโปรตีนนม พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นแบบเส้นตรง ($P < 0.05$) เมื่อเพิ่มระดับถั่วคาวาลเคดในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป (ตารางที่ 4.6) อธิบายถึงความสมดุลระหว่างระดับพลังงานและโปรตีนในสูตรอาหาร พบว่าในสูตรอาหารที่มีระดับถั่วคาวาลเคดแห่ง 40 เปอร์เซ็นต์ มีค่าที่เหมาะสมประมาณ 1.3 บ่งบอกว่ามีความสมดุลระหว่างระดับพลังงานและโปรตีน หากสัดส่วนของไขมันต่อโปรตีนนมมีค่ามากกว่า 1.3 แต่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.5 ชี้ให้เห็นว่าโคนมมีแนวโน้มขาดพลังงาน และถ้ามีค่าน้อยกว่า 1.0 แสดงว่ามีคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่ายสูงเกินไปอาจทำให้เกิดสภาวะความเป็นกรดในกระเพาะรูเมน (ประวีร์, 2546) จากผลการทดลองพบว่า โคนมที่ได้รับสูตรอาหารที่มีระดับถั่วคาวาลเคดแห่งมากกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ ได้รับพลังงานต่ำลงเรื่อยๆ ทำให้โคนมอาจมีแนวโน้มได้รับพลังงานไม่เพียงพอ ส่งผลให้ค่าสัดส่วนของไขมันต่อโปรตีนนมที่ค่ามากกว่า 1.3

สำหรับค่ายูเรีย-ไนโตรเจนในน้ำมัน สามารถบ่งบอกถึง สมดุลของโปรตีนและพลังงานระดับโปรตีน สมดุลของ RDP และ RUP ในสูตรอาหารที่ได้รับ ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากไนโตรเจน และความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะรูเมน (Broderick and Clayton, 1997; Kohn et al., 2002; Nousiainen et al., 2004) จากการทดลองครั้งนี้ ค่ายูเรีย-ไนโตรเจนในน้ำมันมีค่าเพิ่มขึ้นแบบเส้นตรง ($P < 0.05$) ตามระดับถั่วคาวาลเคดแห่งที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป (ตารางที่ 4.6) และพบว่าโคนมที่ได้รับสูตรอาหาร TMR40 มีค่ายูเรีย-ไนโตรเจนในน้ำมันค่อนข้างต่ำ (10.8 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์) อาจบ่งชี้ถึงการได้รับ RDP จากอาหารต่ำกว่าสูตรอื่นๆ (66.4 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนในสูตรอาหาร) สอดคล้องกับ Roseler et al. (1993) ที่รายงานว่า รูปแบบของอาหารโปรตีนมีผลต่อความเข้มข้นของยูเรีย-ไนโตรเจนในน้ำมัน เมื่อทดลองให้อาหารมีโปรตีนหยาบ 15 เปอร์เซ็นต์ และพลังงาน 1.5 Mcal/kg เท่ากัน พบว่าเมื่อให้สัดส่วนของ RDP เพิ่มมากขึ้น และ RUP ลดน้อยลง ยูเรีย-ไนโตรเจนในน้ำมันมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 11.6 เป็น 13.4 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ และจากการทดลองในครั้งนี้ในสูตรอาหาร TMR40 มีระดับยูเรีย-ไนโตรเจนที่เป็นส่วนประกอบต่ำ และ/หรือ มีคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยสลายได้ง่ายจากอาหารในกระเพาะรูเมนมากกว่าสูตรอาหารอื่นๆ ซึ่งอาจส่งผลให้ตัวสัตว์ได้รับโปรตีนและพลังงานอย่างไม่สมดุล อย่างไรก็ตาม ค่ายูเรีย-ไนโตรเจนในน้ำมันจากการทดลองครั้งนี้อยู่

ในช่วงที่เหมาะสมระหว่าง 10-18 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ (Hopkins and Whitlow, 2005) นอกจากนี้ Gustafsson and Carlsson (1993) รายงานว่า ความเข้มข้นของยูเรีย-ไนโตรเจนในน้ำนมมีความสัมพันธ์กับจำนวนวันที่ทำการผสมครั้งแรก โดยค่ายูเรีย-ไนโตรเจนในน้ำนมระหว่าง 10-16 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ สัมพันธ์กับจำนวนวันที่ผสมครั้งแรกหลังคลอดประมาณ 80 วัน และเมื่อค่ายูเรีย-ไนโตรเจนในน้ำนมเพิ่มขึ้นประมาณ 20 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ มีความสัมพันธ์กับจำนวนวันที่ผสมครั้งแรกหลังคลอดประมาณ 126 วัน

ตารางที่ 4.6 ผลของระดับถั่วคาวาลเคดแห้งในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป ต่อผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบน้ำนม

รายการ	TMR				SEM	Contrast ¹		
	40	50	60	70		L	Q	C
ผลผลิตน้ำนม, กิโลกรัม/วัน	13.2 ^a	11.1 ^b	10.4 ^b	9.00 ^c	0.38	<0.01	0.42	0.24
ผลผลิตน้ำนมปรับไขมันนม 4%, กิโลกรัม/วัน	12.7 ^a	11.1 ^b	10.6 ^b	9.70 ^b	0.47	<0.01	0.44	0.50
ประสิทธิภาพการใช้อาหาร								
กิโลกรัมของน้ำนม/กิโลกรัมของอาหาร, วัตถุแห้ง	0.98	0.92	0.95	0.90	0.03	0.13	0.79	0.21
กิโลกรัมของน้ำนมปรับไขมันนม 4%/กิโลกรัมของอาหาร, วัตถุแห้ง	0.96	0.92	0.96	0.97	0.03	0.64	0.46	0.45
องค์ประกอบน้ำนม, %								
ไขมัน	3.76 ^a	3.94 ^{ab}	4.11 ^b	4.53 ^c	0.08	<0.01	0.20	0.55
โปรตีน	3.05	3.02	3.03	3.00	0.05	0.44	0.89	0.73
น้ำตาลแลคโตส	4.85 ^a	4.77 ^a	4.66 ^b	4.56 ^b	0.03	<0.01	0.75	0.70
ของแข็งไม่รวมไขมัน	8.38	8.49	8.35	8.09	0.15	0.19	0.28	0.85
ของแข็งทั้งหมด	12.2 ^a	12.4 ^{ab}	12.7 ^b	12.6 ^b	0.09	<0.01	0.24	0.35
ไขมัน : โปรตีน	1.24 ^a	1.35 ^{ab}	1.39 ^{ab}	1.52 ^b	0.05	0.01	0.83	0.47
ยูเรีย-ไนโตรเจน, มิลลิกรัม%	10.8 ^a	14.7 ^b	13.8 ^{ab}	14.3 ^b	0.87	0.05	0.10	0.16

^{abc} ค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกันกับมีกำกับอักษร แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

¹ เปรียบเทียบระดับอิทธิพลของถั่วคาวาลเคดแห้งในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป; L=เส้นตรง, Q=เส้นโค้งกำลังสอง, C=เส้นโค้งกำลังสาม

4.6 ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ

ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจโดยการคำนวณจากรายได้ของผลผลิตน้ำนมที่ได้แต่ละวัน แล้วหักต้นทุนค่าใช้จ่ายในส่วนของการราคาสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป ซึ่งไม่รวมกับต้นทุนอื่นๆ ทั้งนี้เพื่อประเมินราคาต้นทุนค่าอาหารทดลองทั้งหมดของแต่ละวัน และผลตอบแทนจากการจำหน่ายน้ำนมต่อวันนอกเหนือจากค่าอาหาร พบว่า เมื่อเพิ่มระดับถั่วควาลเคดแห้งในสูตรอาหารแล้วทำให้ต้นทุนค่าอาหารต่อวันมีค่าลดลงแบบเส้นตรง ($P < 0.05$) (ตารางที่ 4.7) ทั้งนี้เนื่องจากระดับถั่วควาลเคดแห้งที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหารทำให้โคนมมีปริมาณการกินได้ลดลงประกอบกับต้นทุนต่อกิโลกรัมอาหารที่ต่ำลงเมื่อในสูตรอาหารมีถั่วควาลเคดแห้งเพิ่มขึ้น แต่เมื่อดูรายได้จากการจำหน่ายน้ำนมดิบ และน้ำนมที่ปรับไขมันนม 4 เปอร์เซ็นต์แล้วพบว่า ในสูตรอาหาร TMR40 ให้รายได้สูงสุด ($P < 0.05$) และลดลงเป็นแบบเส้นตรงเมื่อในสูตรอาหารมีระดับถั่วควาลเคดแห้งเพิ่มขึ้น ดังนั้นเมื่อประเมินผลตอบแทนจากการจำหน่ายน้ำนมดิบหลังจากหักต้นทุนค่าอาหารผสมสำเร็จรูป พบว่า สูตรอาหารผสมสำเร็จรูปที่มีระดับถั่วควาลเคดแห้ง 40 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลตอบแทนสูงสุด ($P < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ผ่านมาของ จินดา และคณะ (2547) ที่พบว่าเมื่อใช้ถั่วควาลเคดแห้งเป็นแหล่งอาหารหยาดในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป 30 เปอร์เซ็นต์ แล้วมีแนวโน้มทำให้ต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตน้ำนมที่ปรับไขมันนม 4 เปอร์เซ็นต์ต่ำกว่าการให้อาหารแบบแยกให้ ระหว่างให้หญ้าหูกแห้งเป็นแหล่งอาหารหยาดอย่างเต็มที่กับอาหารข้นที่มีโปรตีน 16 เปอร์เซ็นต์

นอกจากนี้เมื่อคำนวณเป็นต้นทุนทางด้านอาหารต่อการผลิตน้ำนม 1 กิโลกรัม พบว่า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.48, 7.16, 6.48 และ 6.45 ในโคนมที่ได้รับสูตรอาหาร TMR40, TMR50, TMR60 และ TMR70 ตามลำดับ ขณะที่ราคาน้ำนมดิบจากที่รับซื้อโดยสหกรณ์โคนมขอนแก่นเฉลี่ย 10.8 บาทต่อกิโลกรัม ถึงแม้ว่า ต้นทุนทางด้านอาหารต่อการผลิตน้ำนม 1 กิโลกรัม ในสูตรอาหาร TMR40 และ TMR70 ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อคำนึงถึงผลผลิตน้ำนมที่ได้จากการให้อาหารสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป พบว่า โคนมที่ได้รับสูตรอาหาร TMR40 ให้ผลผลิตน้ำนมสูงกว่าโคนมที่ได้รับสูตรอาหาร TMR70 เฉลี่ย 4.2 กิโลกรัมต่อวัน (ตารางที่ 4.6) ส่งผลให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจของโคนมที่ได้รับสูตรอาหาร TMR40 ดีกว่าสูตรอาหารอื่นๆ ดังนั้น สูตรอาหารที่มีราคาต่ำสุดไม่สามารถบ่งบอกถึงการลดต้นทุนการผลิต หรือผลตอบแทนทางเศรษฐกิจที่ดี แต่จะต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพของการให้อาหารร่วมด้วย

ตารางที่ 4.7 ผลของระดับถั่วคาวาลเคดแห้งในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป ต่อผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ

รายการ	TMR				SEM	Contrast ¹		
	40	50	60	70		L	Q	C
ต้นทุนค่าอาหาร, บาท/วัน	83.1 ^a	74.0 ^b	65.7 ^c	57.2 ^d	1.47	<0.01	0.87	0.88
รายได้จากผลผลิตน้ำนม, บาท/วัน	142.0 ^a	119.6 ^b	112.6 ^b	97.2 ^c	4.10	<0.01	0.42	0.24
รายได้จากผลผลิตน้ำนมปรับไขมันนม 4%, บาท/วัน	136.8 ^a	119.3 ^b	114.0 ^b	104.8 ^b	5.04	<0.01	0.44	0.50
รายได้จากผลผลิตน้ำนมที่หักต้นทุนค่าอาหาร, บาท/วัน	58.9 ^a	45.6 ^b	46.9 ^{ab}	40.0 ^b	3.66	0.01	0.41	0.21
รายได้จากผลผลิตน้ำนมปรับไขมันนม 4% ที่หักต้นทุนค่าอาหาร, บาท/วัน	53.7	45.3	48.3	47.6	4.41	0.46	0.41	0.47

^{abc} ค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกันกับมีกำกับอักษร แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

¹ เปรียบเทียบระดับอิทธิพลของถั่วคาวาลเคดแห้งในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป; L=เส้นตรง, Q=เส้นโค้งกำลังสอง, C=เส้นโค้งกำลังสาม