ผลของระดับโปรตีนในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปโดยใช้ซังข้าวโพดร่วมกับฟางข้าวเป็นแหล่งอาหารหยาบ ต่อกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน ผลผลิตและองค์ประกอบน้ำนมในโครีดนม

Effect of Level of Crude Protein in Total Mixed Ration (TMR) with Corn Cobs and Rice Straw as Roughage Sources on Rumen Fermentation, Milk Yield and Composition in Lactating Dairy Cows

*ภัทยา ภาคมฤค (Pattaya Pakmaluek)**

*ดร. ฉลอง วชิราภากร (Dr. Chalong Wachirapakorn)***

*ดร. เมธา วรรณพัฒน์ (Dr. Metha Wanapat)****

*ดร. ภาวดี ภักดี (Dr. Parwadee Pakdee)*****

บทคัดย่อ

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับโปรตีนในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปสำหรับโคนม โดยใช้โคนมพันธุ์ผสมโฮลสไตน์ฟรีเซี่ยน (50-62.5 เปอร์เซ็นต์) น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 421.3 ± 44.3 กิโลกรัม ช่วงการให้นมเริ่มต้นเฉลี่ย 62 ± 4.2 วัน จำนวน 4 ตัว วางแผนการทดลองแบบ 4 X 4 จตุรัสลาติน ระยะทดลอง 21 วัน ต่อ 1 ช่วงการทดลอง โคนมได้รับอาหารสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปที่มีซังข้าวโพดร่วมกับฟางข้าวเป็นแหล่งอาหารหยาบในสัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้น 40 ต่อ 60 ที่มีโปรตีน 12, 14, 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าระดับโปรตีนที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้โคนมได้รับโปรตีน และอินทรียวัตถุ เพิ่มขึ้นแบบเส้นตรง ($p<0.05$) โดยโคนมที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณโปรตีน 14 และ 18 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีความแตกต่างกัน นอกจากนี้พบว่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน และกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมดของของเหลวจากกระเพาะรูเมนไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) และทำให้ผลผลิตน้ำนม และปริมาณโปรตีนในน้ำนมเพิ่มสูงขึ้นแบบเส้นตรง ($p<0.05$) ส่งผลทำให้ของแข็งไม่รวมไขมันในน้ำนมเพิ่มขึ้นแบบเส้นตรง ($p<0.01$) นอกจากนี้ยังพบว่ายูเรียในกระแสเลือด (10.9, 14.2, 19.9 และ 19.4 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์) ($p<0.05$) และยูเรียน้ำนมก็เพิ่มขึ้นแบบเส้นตรงตามระดับโปรตีนในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป (7.9, 13.3, 24.1 และ 28.3 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์) ($p<0.01$) จากการศึกษาครั้งนี้สรุปได้ว่าควรใช้สูตรอาหารผสมสำเร็จรูปที่มีระดับโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ สำหรับโคนมที่ให้ผลผลิตน้ำนม 10-15 กก/ตัว/วัน

คำสำคัญ : โปรตีน โคนม สูตรอาหารผสมสำเร็จรูป

Key Words : crude protein, dairy cattle, total mixed raion

** มหาบัณฑิต หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*

*** รองศาสตราจารย์ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*

**** ศาสตราจารย์ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*

***** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*

ABSTRACT

The objective of this experiment was to study levels of crude protein (CP) in total mixed ration (TMR) in lactating dairy cows. Four crossbred Holstein Friesian (50-62.5 %) cows with initial weight of 421.3 ± 44.3 kg and 62 ± 4.2 days in milk were randomly allotted according to a 4X4 Latin Square Design (21 days/period). The cows were fed TMR in which corn cobs and rice straw were used as roughage sources supplemented with concentrate at 40:60 ratio containing 12, 14, 16 and 18 % of CP, respectively. It was found that higher level of CP in TMR resulted in linearly increasing voluntary dry matter intake, protein intake and organic matter intake, but there was no significant ($p>0.05$) deference between 14 and 18 % of CP. Digestion coefficients, ammonia-nitrogen and total volatile fatty acids were not different ($p>0.05$) among dietary treatments. However, daily milk yield, milk protein and solids-not-fat were increased as levels of CP in TMR were increased. In addition, increasing levels of CP in TMR resulted in significantly increased blood-urea nitrogen and milk-urea nitrogen ($p<0.05$). It is, therefore, concluded that TMR containing 14 % of CP meets the protein requirement for lactating cows producing 10-15 kg milk/hd/d.

บทนำ

ในปัจจุบันมีการแบ่งระบบการให้อาหารโคนมออกเป็น 2 แบบ แบบที่หนึ่งเป็นการให้อาหารแบบแยกให้ระหว่างอาหารข้นกับอาหารหยาบ สำหรับแบบที่สองคือการนำอาหารข้นผสมร่วมกับอาหารหยาบที่เรียกว่า สูตรอาหารผสมสำเร็จรูป (total mixed ration, TMR) รายงานวิจัยส่วนใหญ่ระบุว่าการแยกให้ระหว่างอาหารข้นและอาหารหยาบทำให้การใช้ประโยชน์ของโภชนะโดยเฉพาะระดับพลังงานและระดับโปรตีนที่ปลดปล่อยออกมาไม่ต่อเนื่อง ทำให้ขาดความสมดุลของพลังงานและโปรตีนที่จะนำไปใช้ประโยชน์โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน นอกจากนี้ยังทำให้ความเป็นกรดเป็นด่าง ภายในกระเพาะรูเมนไม่คงที่ ส่งผลต่อประสิทธิภาพการย่อยได้ของโภชนะที่โคนมได้รับ ขณะที่การให้สูตรอาหารผสมสำเร็จรูปสามารถช่วยปรับสภาพกระเพาะรูเมนให้มีความเหมาะสมต่อจุลินทรีย์และช่วยเพิ่มปริมาณการกินอาหารส่งผลให้น้ำหนักตัวและผลผลิตน้ำนมเพิ่มสูงกว่าโคนมที่ได้รับอาหารแบบแยกให้ระหว่างอาหารข้นและอาหารหยาบ (ฉลอง และคณะ 2540; Brago et al., 2002a)

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่ทำการเกษตร มีเศษเหลือจากการปลูกพืชจำนวนมาก เช่น ฟางข้าว และซังข้าวโพด เป็นต้น เศษเหลือจากการปลูกพืชที่มีปริมาณมากและมีเยื่อใยสูงที่น่าจะนำมาเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องอีกชนิดหนึ่งคือ ซังข้าวโพด (corn cobs) เนื่องจากมีสัดส่วนของ

เฮไมเซลลูโลสสูงถึง 54 เปอร์เซ็นต์ และพบว่ามีการผลิตข้าวโพดเพิ่มสูงขึ้นทุกปี จึงมีนักวิจัยสนใจศึกษาการนำใช้ซังข้าวโพด เช่น ฉลอง และคณะ (2547) พบว่าสามารถใช้ซังข้าวโพดในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปได้สูงถึง 40 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการย่อยได้ของโภชนะ รวมทั้งการให้ผลผลิตน้ำนม และทำให้ปริมาณการกินได้เพิ่มสูงขึ้น แต่เนื่องจากซังข้าวโพดบดส่วนใหญ่มีขนาดเล็กอาจทำให้คุณสมบัติและประสิทธิภาพของเยื่อใยลดลง (effective fiber) กรุง และคณะ (2547) ศึกษาการให้สูตรอาหารผสม

สำเร็จรูปที่มีสัดส่วนของอาหารหยาบ และอาหารข้นที่ระดับ 40 ต่อ 60 โดยใช้ซังข้าวโพดร่วมกับฟางข้าวเป็นแหล่งอาหารหยาบที่สัดส่วน 1 ต่อ 1 ในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป พบว่าไม่ส่งผลกระทบต่อการให้ผลผลิตน้ำนม และสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะ แต่มีราคาต่อการผลิตน้ำนม 1 กิโลกรัมต่ำที่สุด

การให้อาหารโคนมเพื่อให้แสดงสมรรถนะการให้ผลผลิตน้ำนมที่สูงขึ้นนั้น โคควรได้รับโภชนะตามความต้องการในขณะนั้นๆ เช่น NRC (1988) ได้แนะนำว่าโคนมที่ให้น้ำนมเฉลี่ย 10-15 กิโลกรัมต้องการโปรตีน 12-15 เปอร์เซ็นต์ พลังงาน 2.35-2.53 Mcal ME/KgDM และ neutral-detergent fiber (NDF) ประมาณ 28 เปอร์เซ็นต์ แต่เนื่องจากโคนมที่เลี้ยงในเมืองไทยส่วนใหญ่เป็นโคนมพันธุ์ผสม ที่เลี้ยงภายใต้สภาวะแวดล้อมแบบร้อนชื้น อาจทำให้ความต้องการโภชนะของโคนมแตกต่างไปจากที่กำหนด

ดังนั้นจึงศึกษาถึงระดับโปรตีนที่เหมาะสมในการจัดทำสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปสำหรับโคนมที่ให้ผลผลิตน้ำนมเฉลี่ย 10-15 กก/วัน โดยใช้ซังข้าวโพดร่วมกับฟางข้าวเป็นแหล่งอาหารหยาบ

วิธีวิจัย

สัตว์ทดลอง ใช้โคนมพันธุ์ผสมโฮลสไตน์ฟรีเชี่ยนระดับสายเลือด 50-62.5 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 421.3 ± 44.3 กิโลกรัม ช่วงการให้นมเริ่มต้นเฉลี่ย 62 ± 4.2 วัน จำนวน 4 ตัว

แผนการทดลอง แบบ 4 X 4 จตุรัสลาติน ระยะทดลอง 21 วัน ต่อ 1 ช่วงการทดลอง

ปัจจัยทดลอง สูตรอาหารผสมสำเร็จรูปที่มีซังข้าวโพดร่วมกับฟางข้าวเป็นแหล่งอาหารหยาบที่มีโปรตีน 12, 14, 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 1)

การเก็บตัวอย่าง

บันทึกปริมาณอาหารที่โคกิน และปริมาณน้ำนมทุกวัน และสุ่มเก็บตัวอย่างอาหาร และมูลเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีได้แก่ โปรตีน เถ้า ไขมัน ตามวิธีการ AOAC (1985) และวิเคราะห์เยื่อใย NDF, acid-detergent fiber (ADF) และ acid detergent lignin (ADL) ตามวิธีของ Goering and Van Soest (1970) และ acid insoluble ash (AIA) ตามวิธีของ Van Keulen and Young (1977) เพื่อคำนวณสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะ ตามวิธีการของ Schnieder and Flatt (1975)

วันที่ 21 ของแต่ละช่วงเวลาทดลอง เก็บตัวอย่างของเหลวจากกระเพาะรูเมน เพื่อวิเคราะห์หาความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยง่าย ได้แก่ กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทีริก โดยใช้เครื่อง high performance liquid chromatography (HPLC) model Water 600 ; UV detector (Millipore Corp) และ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ด้วยวิธีการกลั่นตามวิธีของ Bromner and Keeney (1965)และเก็บตัวอย่างเลือดเพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของยูเรียในกระแสเลือดตามวิธีของ Crocker (1967)

เก็บตัวอย่างน้ำนมในวันที่ 13-14 และ 20-21 ของแต่ละช่วงการทดลอง เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ โปรตีน น้ำตาลแลกโทส ไขมัน และของแข็งทั้งหมด โดยเครื่อง milko-scan Model 133 V.3. 7GB. ส่วนหนึ่งนำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของยูเรียในน้ำนม ตามวิธีการของ Roselers et al. (1993)

ตารางที่ 1 Ingredients in total mixed ration

Ingredients	Levels of CP in TMR, %			
	12	14	16	18
Rice straw	20.0	20.0	20.0	20.0
Corn cobs	20.0	20.0	20.0	20.0
Molasses	4.7	4.7	4.7	4.7
Rice bran	5.5	5.0	4.5	4.0
Corn meal	2.8	2.5	2.2	2.0
Soybean meal	9.0	13.0	17.0	21.0
Dicalcium phosphate	0.4	0.4	0.4	0.4
Salt 0.2	0.2	0.2	0.2	
Cassava chip	22.0	20.0	18.0	16.0
Mineral/Vitamin	0.4	0.4	0.4	0.4
Lime 0.4	0.4	0.4	0.4	
Palm kernel cake	5.5	5.0	4.5	4.0
Cotton seed	8.0	7.5	6.5	6.0
Urea 0.9	0.9	0.9	0.9	
Sulfur	0.2	0.2	0.2	0.2
Chemical composition, % (DM basis)				
CP	11.2	13.9	15.7	17.8
NDF	53.9	50.4	50.7	49.7
Ash	8.0	8.1	8.3	8.6
EE	3.2	2.8	2.9	3.2

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ข้อมูลที่มีการวัดซ้ำ ณ เวลา 0, 2 และ 4 ชั่วโมง วิเคราะห์แบบวัดซ้ำ (repeated measure ments in Latin Square Design) และวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสังเกตที่ไม่มีการวัดซ้ำ ตามแผนการทดลองแบบ 4 x 4 Latin Square Sesign โดยใช้ GLM และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของกลุ่มทดลองด้วยวิธี Duncan's new multiple range test และวิเคราะห์แนวโน้ม (orthogonal polynomial) ตามวิธีการของ Steel and Torrie (1985) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (SAS, 1985)

ผลการทดลอง

ปริมาณการกินได้ และความสามารถในการย่อยได้

การให้สูตรอาหารผสมสำเร็จรูปโดยใช้ซังข้าวโพดร่วมกับฟางข้าวเป็นแหล่งอาหารหยาบที่มีระดับโปรตีนเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณการกินได้อิสระของวัตถุแห้งต่อวัน เพิ่มสูงขึ้นแบบเส้นตรง ($p<0.05$) แต่โคนมที่ได้รับโปรตีน 14, 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปมีปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$)

การประเมินการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนจากอินทรียวัตถุที่ย่อยได้ตามวิธีการของ Kearl (1982) พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่ปริมาณโปรตีนที่โคได้รับในการทดลองครั้งนี้มีการเพิ่มขึ้น

แบบเส้นตรง (p<0.05) ตามปริมาณโปรตีนในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป โคนมที่ได้รับสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปที่มีระดับโปรตีน 12 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้นที่ได้รับโปรตีนต่ำกว่าความต้องการที่ NRC (1988) ได้รายงานว่าโคนมที่ให้ผลผลิตน้ำนม 12.5-14.0 กก./วัน ควรได้รับโปรตีนประมาณ 1.47-1.66 กก/วัน (ตารางที่ 2)

การประเมินสัมประสิทธิ์การย่อยได้ในโคนมที่ได้รับโปรตีน 12, 14, 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป โดยใช้ AIA พบว่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้ง โปรตีน อินทรียวัตถุ และเยื่อใย NDF ไม่แตกต่างกัน (p>0.05)

ผลผลิตสุดท้ายของกระบวนการหมักภายในกระเพาะรูเมน

ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

ค่าเฉลี่ยของความเป็นกรดเป็นด่างของของเหลวจากกระเพาะรูเมนในโคนมที่ได้รับสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปทุกระดับโปรตีนมีค่าไม่แตกต่างกัน (p>0.05) (ตารางที่ 3) โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 6.8-6.9 ซึ่งเป็นสภาวะปกติ โดย Van Soest (1983) รายงานว่าสภาวะภายในกระเพาะรูเมนควรมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างระหว่าง 6.0-7.0 จะเห็นได้ว่าสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปช่วยรักษาระดับสภาวะความเป็นกรดเป็นด่าง สอดคล้องกับ Brago et al. (2002a) ที่กล่าวว่าอาหารผสมสำเร็จรูปช่วยรักษาความเป็นกรดเป็นด่างให้คงที่ไม่ส่งผลต่อกระบวนการทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน

ตารางที่ 2 Effect of levels of crude protein of total mixedration on nutrient intake

	Levels of CP in TMR, %				SEM	Contrast [3]		
	12	14	16	18		L	Q	C
CP	1.4^{C}	1.8^{BC}	2.0^{B}	2.5^{A}	0.13	**	ns	ns
OM	11.2^{c}	11.7^{b}	11.6^{b}	13.0^{a}	0.51	*	ns	ns
NDF	6.6	6.4	6.4	7.1	0.27	ns	ns	ns
ADF	0.5	0.5	0.5	0.5	0.04	ns	ns	ns
EE	0.4	0.4	0.4	0.5	0.03	ns	ns	ns
ME[1],	33.2	32.3	34.3	33.6	2.11	ns	ns	ns
MCP[2]	1.1	1.1	1.2	1.1	0.07	ns	ns	ns

[1] 1 Kg DOMI = 3.8 Mcal ME/ KgDM (Kearl, 1982)

[2] MCP (Microbial crude protein) kg/d = 0.130 X kg DOMI

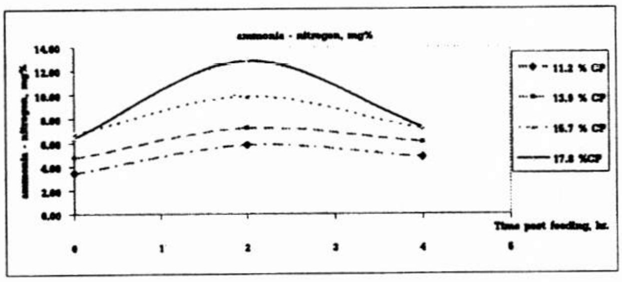
[3] Contrast effect of levels of crude protein in total mixed ration; L = linear, Q = quadratic, C = cubic; * =P<0.05, ** = P<0.01

[a, b, c] Means in the same row with different superscript differ (p<0.05)

[A,B,C] Means in the same row with different superscript differ (p<0.01)

ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของของเหลวจากกระเพาะรูเมน

ระดับโปรตีนในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปไม่ส่งผลต่อความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (ammonia-nitrogen) ในของเหลวจากกระเพาะรูเมน ($p>0.05$) (ตารางที่ 3) แต่มีแนวโน้มว่าความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน เพิ่มขึ้นตามระดับโปรตีนในสูตรอาหารจาก 4.6, 6.0, 8.3 และ 9.6 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ในโคนมที่ได้รับสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปที่มีโปรตีน 12, 14, 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สอดคล้องกับ Brago et al (2002b) ที่รายงานว่าโคที่ได้รับสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปมีความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนต่ำกว่าการให้อาหารแบบแยกให้ระหว่างอาหารข้นและอาหารหยาบ การสุ่มเก็บตัวอย่าง ณ ช่วงเวลา 0, 2 และ 4 ชั่วโมงหลังกินอาหาร ส่งผลต่อความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในของเหลวจากกระเพาะรูเมนแบบเส้นโค้งกำลังสอง (quadratic) โดยเพิ่มสูงขึ้นในชั่วโมงที่ 2 หลังจากให้อาหาร และจะลดลงอีกครั้งหลังจากให้อาหาร 4 ชั่วโมง เนื่องจากถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมน สอดคล้องกับ Geerts et al. (2004) ที่รายงานว่าความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนเพิ่มขึ้นภายหลังกินอาหาร 2 ชั่วโมง



ภาพที่ Effect of levels crude protein in total mixed rarions on mmonia-nitrogen at 0, 2 and 4 hr. post feeding

กรดไขมันที่ระเหยง่ายในของเหลวจากกระเพาะรูเมน

ระดับโปรตีน 12, 14, 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปไม่ส่งผลต่อความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ (volatile fatty acid) ทั้งหมดของของเหลวภายในกระเพาะรูเมน (140, 145, 146 และ 146 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ) ($p>0.05$) (ตารางที่ 3) ซึ่งเป็นระดับที่เพียงพอต่อการดำรงชีพ ดังที่ ฉลอง (2541) ได้รายงานว่าโคสามารถผลิตกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมดประมาณ 80-150 มิลลิโมลาร์ต่อวัน จากการทดลองครั้งนี้พบว่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกับ รายงานของ เมธา (2533) ที่กล่าวว่าความเข้มข้นของกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทีริก มีค่าประมาณ 62, 22 และ 16 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่ก็ตามพบว่าสัดส่วนของกรดอะซิติกและกรดโพรพิโอนิกมีประมาณ 2.6, 2.8, 2.7 และ 2.5 ตามลำดับ เนื่องจากสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีสัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้นที่ระดับ 40 ต่อ 60 สอดคล้องกับการรายงานของ Sutton et al. (2003) ที่ทำการศึกษาการให้อาหารโคนม 2 ระดับ คือ โคที่ได้รับสัดส่วนระหว่างอาหารหยาบต่ออาหารข้นประมาณ 39.5 ต่อ 60.5 เปรียบเทียบกับการให้สัดส่วนอาหารหยาบต่ออาหารข้นที่ระดับ 9.4 ต่อ 90.6 โดยแบ่งให้ 2 เวลา พบว่าการให้อาหารหยาบต่ออาหารข้นที่ระดับ 9.4 ต่อ 90.6 ทำให้ความเข้มข้นของกรดโพรพิโอนิกเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า ขณะที่ความเข้มข้นของกรดอะซิติก และกรดบิวทีริกมีปริมาณลดลง

ยูเรียในกระแสเลือด

ระดับโปรตีนในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปทำให้ความเข้มข้นของยูเรียในกระแสเลือด (blood-urea nitrogen) เพิ่มขึ้นแบบเส้นตรง (10.9, 14.2, 19.9 และ 19.4 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ($p<0.05$) (ตารางที่ 3) ใกล้เคียงกับการรายงานของ Gabler and Helnrlchs (2003) ที่พบว่าโคนมที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีน 11.2 เปอร์เซ็นต์จะมีความเข้มข้นของยูเรียในกระแสเลือดประมาณ 10.1 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับ Elrod et al.

(1993) ที่รายงานว่าเมื่อโคนมได้รับอาหารที่มีโปรตีน 21.8 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ความเข้มข้นของยูเรียในกระแสเลือดเพิ่มขึ้นจาก 17.5 เป็น 23.6 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับโคนมที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีน 15.4 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับรายงานของ Roselers et al. (1993) ที่รายงานว่าโคนมที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนที่ระดับ 15 เปอร์เซ็นต์ ตามคำแนะนำของ NRC (1989) มีความเข้มข้นของยูเรียในกระแสเลือดเท่ากับ 14.8 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ขณะที่โคนมที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีน 12.2 และ 17.6 เปอร์เซ็นต์ มีความเข้มข้นของยูเรียในกระแสเลือดประมาณ 8.2 และ 20.7 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ การเพิ่มขึ้นของระดับยูเรียในกระแสเลือด เป็นผลมาจากการที่สัตว์กินอาหารที่มีปริมาณ โปรตีน และ/หรือ สารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนในระดับสูงเกินไป เมื่ออาหารดังกล่าวตกลงสู่กระเพาะรูเมนถูกจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนโดยเฉพาะกลุ่มที่ย่อยสลายโปรตีนเข้าย่อยสลายได้แอมโมเนียเป็นผลผลิตสุดท้าย ส่วนหนึ่งจะถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์เป็นโปรตีนในเซลล์จุลินทรีย์แต่กรณีที่มีคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ดีในปริมาณที่ไม่พอเพียง แอมโมเนียบางส่วนจะถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดลำเลียงเข้าสู่ตับเพื่อเปลี่ยนแปลงเป็นยูเรีย โดยมีรายงานว่าระดับยูเรียในกระแสเลือดที่เหมาะสมคือ 13.4 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ (เมธา, 2533) จากการทดลองในครั้งนี้จะพบว่าสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปที่มีระดับโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ มีค่ายูเรียในกระแสเลือดใกล้เคียงกับระดับปกติ ขณะที่โคนมที่ได้รับโปรตีน 16 เปอร์เซ็นต์ มีความเข้มข้นของยูเรียในกระแสเลือดสูงสุด ประมาณ 19.9 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ความเข้มข้นของยูเรียในกระแสเลือดที่เพิ่มสูงขึ้น อาจส่งผลกระทบต่อระบบสืบพันธุ์ ดังรายงานของ Ferguson et al. (1993) ที่กล่าวว่าถ้าความเข้มข้นของยูเรียในกระแสเลือดสูงเกิน 25 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ทำให้มีอัตราการตั้งท้องและอัตราการผสมติดของโคนมประมาณ 30.4 เปอร์เซ็นต์ กรณีที่ความเข้มข้นของยูเรียในกระแสเลือดอยู่ระหว่าง 10-14.9 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ มีอัตราการผสมติดประมาณ 45.6 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นได้ว่าการที่โคนมได้รับสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปที่มีโปรตีนระดับสูงต้องสูญเสียพลังงานเพื่อใช้กำจัดแอมโมเนียในรูปของยูเรียและก่อให้เกิดการปลดปล่อยไนโตรเจนสู่สิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังทำให้ต้นทุนค่าอาหารเพิ่มสูงขึ้นอีกด้วย

ผลผลิตและองค์ประกอบน้ำนม

ระดับโปรตีนในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป ทำให้ผลผลิตน้ำนมมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเป็นเส้นตรง ($p<0.05$) การที่ผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้นน่าจะเป็นผลจากการกินได้ที่เพิ่มขึ้น ดังรายงานของ Briceno et al. (1987) ที่กล่าวว่าการให้ผลผลิตน้ำนมของโคนมมีความสัมพันธ์กับปริมาณการกินได้ที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Beede and Colloer (1986) ที่รายงานว่าการให้ผลผลิตน้ำนมของโคนมในเขตร้อนมีอิทธิพลมาจากการกินได้ทั้งหมด นอกจากนี้ Frank and Swensson (2002) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโปรตีนในสูตรอาหารต่อผลผลิตน้ำนม และองค์ประกอบของน้ำนม ในโคนม Swedish Holstein พบว่าสูตรอาหารที่มีโปรตีน 17 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ผลผลิตน้ำนม และโปรตีนนมเพิ่มสูงกว่าโคนมที่ได้รับสูตรอาหารที่มีโปรตีน 13.5 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับ NRC (1989) ที่รายงานว่าในสูตรอาหารที่มีระดับโปรตีน 17 ถึง 19 เปอร์เซ็นต์ จะช่วยเพิ่มผลผลิตน้ำนม โดยเฉพาะโคนมที่อยู่ในระยะแรกของการให้นม นอกจากนี้ อาจเนื่องจากความเข้มข้นของกรดโพรพิโอนิกที่ได้จากกระบวนการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตภายในกระเพาะรูเมน ซึ่งพบว่าโคนมที่ได้รับสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปที่ระดับโปรตีน 18 เปอร์เซ็นต์ มีความเข้มข้นของ กรดโพรพิโอนิกสูงถึง 26.4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งกรดโพรพิโอนิกสามารถเปลี่ยนเป็นกลูโคส (glucogenic substrate) กลูโคสส่วนหนึ่งจะถูกนำไป

สังเคราะห์เป็นน้ำตาลกาแลกโทส (galactose) ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญสำหรับกระบวนการสังเคราะห์น้ำตาลแลกโทส ที่บริเวณต่อมน้ำนม ดังนั้นเมื่อมีการสังเคราะห์น้ำตาลกาแลกโทสเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้มีการสังเคราะห์น้ำตาลแลกโทสที่บริเวณต่อมน้ำนมเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย สอดคล้องกับ Rigout et al. (2003) ที่รายงานว่าปกติโคสามารถสังเคราะห์น้ำตาลได้เพียง 1,246 ก/วัน เมื่อได้รับกรดโพรพิโอนิกเพิ่มสูงขึ้นทำให้สามารถผลิตน้ำตาลแลกโทสเพิ่มสูงขึ้นถึง 1,319 ก/วัน โดยไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณโปรตีนเคซีน (casein) ในน้ำนม จากการรายงานของ Riis (1983) พบว่าต่อมน้ำนมจะมีการผลิตน้ำนมเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณน้ำตาลแลกโทสที่ถูกสังเคราะห์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้พบว่าปริมาณโปรตีนในสูตรอาหารเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้มีการผลิตน้ำนมเพิ่มสูงขึ้น ดังที่ Ruiz et al. (2002) ได้รายงานว่าโคนมที่ได้รับโปรตีนในสูตรอาหารที่เพิ่มขึ้นจาก 8, 10 และ 13 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ผลผลิตน้ำนมเพิ่มสูงขึ้นเท่ากับ 15.5, 18.8 และ 21.7 กก/ตัว/วัน จากการทดลองครั้งนี้พบว่าปริมาณไขมันนม (milk fat) และน้ำตาลแลกโทส (lactose) ไม่แตกต่างกัน แต่มีแนวโน้มว่าปริมาณไขมันนมเพิ่มสูงขึ้นตามระดับโปรตีนในสูตรอาหารผสมสำเร็จ

รูป เป็นผลเนื่องมาจากเมื่อกรดโพรพิโอนิกเปลี่ยนเป็นกลูโคส ส่วนหนึ่งถูกนำเข้าสู่วิถีเพนโทส (pentose phosphate pathway) เพื่อสังเคราะห์ NADPH จะพบว่าโคนมที่ได้รับโปรตีน 18 เปอร์เซ็นต์ มีความเข้มข้นของกรดโพรพิโอนิก ค่อนข้างสูง ทำให้สามารถผลิต NADPH เพิ่มสูงขึ้น ซึ่ง NADPH มีบทบาทสำคัญสำหรับการสังเคราะห์กรดไขมัน เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปริมาณไขมันนมเพิ่มสูงขึ้น (Riis, 1983) นอกจากนี้ยังพบว่าระดับโปรตีนในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป ทำให้โปรตีนนมมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นแบบเส้นตรง ($p<0.05$) ส่งผลให้ของแข็งไม่รวมไขมัน (solids-not fat, SNF) และของแข็งทั้งหมด (total solids, TS) เพิ่มขึ้นแบบเส้นตรง ($p<0.05$) ตามระดับโปรตีนในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป

ระดับโปรตีนในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูป มีผลต่อความเข้มข้นของยูเรียในน้ำนมแบบเส้นตรง (linear) โดยโคนมที่ได้รับสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปที่ระดับโปรตีน 12, 14, 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์ มียูเรียในน้ำนมประมาณ 7.9, 13.3, 24.1 และ 28.3 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ Harris (1998) อ้างถึงใน Phillips (2000) ได้อธิบายถึงความเข้มข้นของยูเรียในน้ำนมเพื่อบ่งบอกถึงสภาวะอาหารที่สัตว์ได้รับว่า โคนมที่ได้รับสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปที่ระดับ 12 เปอร์เซ็นต์ ที่มีโปรตีนนม 3.2 เปอร์เซ็นต์ มีช่วงเวลาการให้น้ำนม ตั้งแต่ 45-150 วัน มีความเข้มข้นของยูเรียในน้ำนมน้อยกว่า 12 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ แสดงว่ามีโปรตีนที่สลายในกระเพาะรูเมน และ/หรือ โปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมน อยู่ในระดับต่ำ ส่วนโคนมที่ได้รับสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปที่มีระดับโปรตีน 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณโปรตีนนม มากกว่า 3.2 เปอร์เซ็นต์ และความเข้มข้นของยูเรียในน้ำนมมากกว่า 16 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ แสดงว่ามีปริมาณของโปรตีนที่ถูกย่อยสลายได้ และโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมนในระดับสูงเกินไป สำหรับโคนมที่ได้รับสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปที่ระดับโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ ที่มีปริมาณโปรตีนนมเท่ากับ 3.2 เปอร์เซ็นต์ และมีความเข้มข้นของยูเรียในน้ำนมเท่ากับ 13.3 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ บ่งบอกว่าอยู่ในสภาวะที่มีความสมดุลระหว่างโปรตีน และพลังงาน

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าการให้สูตรอาหารผสมสำเร็จรูปที่มีระดับโปรตีนเพิ่มสูงขึ้น โคนมมีการตอบสนองในด้านปริมาณการกินได้ ผลผลิตน้ำนม และโปรตีนนม เพิ่มขึ้นแบบเส้นตรง ($p<0.05$) โดยโปรตีนที่ระดับ 14, 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์

ในสูตรอาหารให้ผลไม่แตกต่างกัน และพบว่าการให้อาหารที่มีโปรตีนในระดับ 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ความเข้มข้นของยูเรียในกระแสเลือด และยูเรียในน้ำนม เพิ่มสูงขึ้นกว่าค่าปกติคือ 13.4 และ 10-16 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อระบบสืบพันธุ์ได้ ดังนั้นควรใช้สูตรอาหารผสมสำเร็จรูปที่มีระดับโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ สำหรับโครีดนมที่ให้ผลผลิตน้ำนม ประมาณ 10 - 15 กิโลกรัมต่อวัน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรอาหารสัตว์เขตร้อน มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ทุนอุดหนุนในการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กรุง วิลาชัย, ฉลอง วชิราภากร, เมธา วรรณพัฒน์ และ นิโรจน์ ศรสูงเนิน. 2547. ผลของสัดส่วนของซังข้าวโพดกับฟางข้าวเป็นแหล่งอาหารเยื่อใยใน สูตรอาหารผสมสำเร็จรูปต่อปริมาณการกินได้อิสระผลผลิต และองค์ประกอบน้ำนมในโคนม. ใน ปศุสัตว์ไทยอาหารมาตรฐานโลก. การประชุมสัมมนาวิชาการเกษตรแห่งชาติ ประจำปี 2547. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ฉลอง วชิราภากร. 2541. โภชนะศาสตร์และการให้อาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องเบื้องต้น. ขอนแก่น, โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ฉลอง วชิราภากร, เทอดศักดิ์ ปุระมงคล และวุฒิชัย สีเผือก. 2540. อาหารทีเอ็มอาร์ (Total Mixed Ration, TMR) หรืออาหารสมบูรณ์ (Complete ration, CR) สำหรับโคนม. วารสารโคนม, 5: 53-63.

_______. เมธา วรรณพัฒน์, นิโรจน์ ศรสูงเนิน, กรุง วิลาชัย, ภัทยา ภาคมฤค และ นนทศักดิ์ เปี่ยมผล. 2547. ผลของระดับซังข้าวโพดในอาหารผสมสำเร็จต่อการให้ผลผลิตในโคนม. ใน ปศุสัตว์ไทย อาหารมาตรฐานโลก. การประชุมสัมมนาวิชาการเกษตรแห่งชาติ ประจำปี 2547. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

เมธา วรรณพัฒน์. 2533. โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. กรุงเทพฯ, ฟันนี่พลับลิชชิ่ง.

AOAC. 1984. Official Methods of Analysis (15th Ed.). The Association of Official Analytical Chemistry, Washington, D.C.

Beede, D. K., and Colloer. M. 1986. Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during thermal stress. J. Anim. Sci. 62: 543-553.

Brago, F., Muller, L. D., Varga, G. A., Delahoy, T., and Cassidy T. W 2002a. Performance of high producing dairy cows with three different feeding systems combining pasture and total mixed rations. J. Dairy Sci. 85: 2964-2973.

_____., Muller, L.D., Delahoy, T., and Cassidy, T.W. 2002b. Performance of high producing Dairy cows with three different feeding systems combining pasture and total mixed rations. J. Dairy Sci. 85: 2948-2963.

Briceno, J. V., Van Horn, H. H., Harris, B., and Wilcox, C. L. 1987. Effect of neutral detergent fiber and roughage on dry matter intake and milk yield and composition of dairy cows. J. Dairy Sci. 70: 298-307.

Bromner, J. H., and Keeney, D. R. 1965. Steam distillation methods of determination of ammonium, nitrate and nitrite. Annual. Chem. Acta. 32-485.

Crocker, C. L. 1967. Rapid determination of urea nitrogen in serum or plasma without

deproteinization. American J. Medical Technology. 33: 361.

Elrod, C. C., Van Amburgh, M., and Beam, W. R. 1993. Alterations of pH in response to increased dietary protein in lactation dairy cattle. J. Anim. Sci. 71: 702-706.

Ferguson, J. D., Galligan, D. T., Blanchard, T., and Reeves, M. 1993. Serum urea nitrogen and conception rate: the usefulness of test information. J. Dairy Sci. 76: 3742-3746.

Frank, B., and Swensson, C. 2002. Relationship between content of crude protein in rations for dairy cows and milk yield, concentration of urea in milk and ammonia emissions. J. Dairy Sci. 85: 1829-1838.

Gabler, M. T., and Heinrichs, A. J. 2003. Effects of increasing dietary protein on nutrient utilization in heifers. J. Dairy Sci. 86: 2170-2177.

Geerts, N. E., De Brabander, D. L., Vanacker, J. M., De Boever, J. L., and Botterman, S. M. 2004. Milk urea concentration as affected by complete diet feeding and protein balance in the rumen of dairy cattle. Livest. Prod. Sci. 85: 263-273.

Goering, H. K., and Van Soest, P. J. 1970. Forage Fiber Analysis. Agriculture Handbook No. 379. United State Department of Agriculture, Washington, D.C.

Kearl, L. C. 1982. Nutrient Requirements of Ruminants in Developing Countries. International Feedstuff Institute, Utah Agri. Exp. Sta., Utah State University, Logan.

NRC. 1988. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 6th. ed. National Academic Press, Washington. D.C.

NRC. 1989. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 6th. Rev. ed. National Academic Press. Washington. D.C.

Phillips, D.M.A. 2000. Milk urea nitrogen- A nutritional evaluation tool ??. Extension Dairy Nutritionist, University of Kentucky.

Riis, P.M. 1983. Dynamic Biochemistry of Animal Production. Amsterdam.

Rigout, S., Hurtaud, C., Lemosquet ,S., Bach, A., and Rulquin, H. 2003. Lactational effect of propionic acid and duodenal glucose in cows. J. Dairy Sci. 86: 243-253.

Roselers, D. K., Ferguson, J. D., Sniffen, C. J., and Herrema, J. 1993. Dietary protein degradability effects on plasma and milk urea nitrogen and milk nonprotein nitrogen in Holstein cows. J. Dairy Sci. 76: 525-534.

Ruiz, T. M., Bernal, E., Staples, C. R., Sollenberger, L. E., and Gallaher, R. N. 1995. Effect of dietary neutral detergent fiber concentration and forage source on performance of lactation cows. J. Dairy Sci. 78: 305-315.

Ruiz, R., Tedeschi, L. O., Marin, J. C., Fox, D. G., Pell, A. N., Jarvi, G. s, and Russell, J. B. 2002. The effect of a ruminal nitrogen (N) deficiency in dairy cows: evaluation of the cornell net carbohydrate and protein system ruminal N deficiency adjustment. J. Dairy Sci. 85: 2986-2999.

SAS. 1985. User's Guide:Statistic. SAS. nstCary, NC.

Schneider, B. H., and Flatt, W. P. 1975. The Evalution of Feed through Digestibility Experiment. Athens: The University of Georgia Press.

Steel, R. G. D., and Torrie, J. H. 1980. Principles and Procedures of Statistics. 2nd ed. McGraw-Hill Book Co., New York.

Sutton, J. D., Dhanoa, M. S., Morant, S. V., France, J., Napper, D. J., and Schuller, E. 2003. Rates of production of acetate, propionate, and butyrate in the rumen of lactating dairy cows given normal and low-roughage diets. J Dairy Sci. 86: 3620-3633.

Van Keulen, J., and Young, B. A 1977. Evaluation of acid insoluble ash as a neutral marker in ruminant digestibility studies. J. Anim. Sci. 44: 282-292.

Van Soest, P. J. 1983. Nutritional Ecology of the Ruminant. 2nd. Your Town Press.

ตารางที่ 3 Effect of levels of crude protein on dry matter intake, digestion coefficient, ruminal pH, ammonia-nitrogen, volatile fatty acid, milk yield and composition, milk-urea nitrogen and blood-urea nitrogen

	Levels of CP in TMR, %				SEM	Contrast [1]		
	12	14	16	18		L	Q	C
Voluntary dry matter intake								
Kg/d	12.2^{b}	12.7^{ab}	12.6^{ab}	14.3^{a}	0.54	*	ns	ns
BW, %	2.8^{b}	2.9^{ab}	2.9^{ab}	3.3^{a}	0.13	ns	ns	ns
g/BW0.75	128.9^{b}	134.6^{ab}	133.3^{ab}	149.0^{a}	5.92	ns	ns	ns
Digestion coefficient, %								
DM	73.1	72.8	72.8	64.7	3.32	ns	ns	ns
CP	76.6	75.9	78.9	77.6	3.02	ns	ns	ns
NDF	69.2	67.5	67.6	56.7	4.81	ns	ns	ns
Ruminal pH	6.9	6.9	6.8	6.8	0.06	ns	ns	ns
Ammonia-nitrogen, mg%	4.6	6.0	8.3	9.6	1.30	ns	ns	ns
Volatile fatty acid, mM	140.0	145.0	146.0	146.0	4.63	ns	ns	ns
Volatile fatty acid, %								
Acetic acid, A	66.7	67.5	67.2	65.3	1.43	ns	ns	ns
Propionic acid, P	25.5	24.6	25.0	26.4	1.22	ns	ns	ns
Butyric acid	7.8	7.9	7.8	8.3	0.28	ns	ns	ns
A: P ratio	2.6	2.8	2.7	2.5	0.16	ns	*	ns
Milk yield, kg/d	11.5^{b}	12.1^{b}	12.3^{ab}	13.1^{a}	0.43	*	ns	ns
4%FCM, kg/d	11.9^{b}	12.8^{b}	13.5^{ab}	14.2^{a}	1.24	*	ns	ns
Feed efficiency								
kg Milk/kg feed (DM)	1.0	1.0	1.0	0.9	0.04	ns	ns	ns
kg 4%FCM/kg feed	1.0	1.0	1.1	1.0	0.55	ns	ns	ns
Milk composition, %								
Protein	3.2 b	3.2 b	3.4 ab	3.6 a	0.08	*	ns	ns
Fat	4.4	4.4	4.6 a	4.6	0.10	ns	ns	ns
Lactose	4.8	4.8	4.8	4.7	0.04	ns	ns	ns
Solids-not-fat	8.7^{B}	8.7^{B}	8.8^{AB}	8.9^{A}	0.05	**	ns	ns
Total solids	13.1^{b}	13.0^{b}	13.5^{ab}	13.6^{a}	0.15	*	ns	ns
Milk urea nitrogen, mg%	7.9^{D}	13.3^{C}	24.1^{B}	28.3^{A}	0.13	ns	ns	**
Blood-urea nitrogen, mg%	10.9^{c}	14.2^{b}	19.9^{a}	19.4^{a}	1.50	*	ns	ns

[1] Contrast effect of levels of crude protein in total mixed ration; L = linear, Q = quadratic, C = cubic; *=p<0.05, **=p<0.01

[a, b, c] Means in the same row with different superscript differ (p<0.05)

[A,B,C] Means in the same row with different superscript differ (p<0.01)