Korean J. Org. Agric.
Volume 24, Number 4: 957-967, November 2016
http://dx.doi.org/10.11625/KJOA.2016.24.4.957

ISSN 1229-3571 (Print)
ISSN 2287-819X (Online)

사료 내 수준별 조단백질 조건에서 보호메티오닌과 보호라이신의 사료첨가 급여가 착유우 유생산성 및 유성분에 미치는 영향 : 메타분석

최 낙 진*

Effect of protected Methionine and Lysine on Milk yield and Composition in Holstein Dairy Cow under Different Dietary Crude Protein Levels : Meta-analysis

Choi, Nag-Jin

The present study was conducted to investigate effect of dietary protected amino acid on milk yield and composition in dairy cow using meta-analysis. Total 21 research papers were employed in analysis, and mixed model was used for the analysis of effects. Effect of protected methionine (PM) and combination of protected methionine and lysine (PML) were investigated under two different levels of dietary crude protein (CP, <18% and >18%). For performance of dairy cow, milk yield, milk composition including milk fat and protein content and yield and 4% FCM (fat corrected milk) production were used for analysis. In case of milk yield, a trend of increment was found at PM supplementation at low CP (P=0.055). However, the effect of PM at high CP was detected as not significant (P>0.05). In case of milk protein, inclusion of PM at low CP showed significant decrement (P<0.05). However, there was no significant effect of MP on milk protein at high CP (P>0.05). Supplementation of MP at high CP level showed significant increment of milk fat (P<0.05). MP supplementation represented significant increment of 4% FCM production (P<0.05) regardless of dietary CP levels. Effects of PML on milk yield and composition at both of low and high dietary CP were not significant in this study. However, it seem to be that there was a possible positive effect of MPL application at high dietary CP on performance of dairy cow.

Key words : *dairy cow, dietary crude protein, milk composition, milk yield, protected amino acid*

* 전북대학교 동물자원과학과(nagjin@jbnu.ac.kr)

Ⅰ. 서 론

축산업에 있어 질소는 가축 생산성과 환경적 문제에 큰 연관성이 있다. 축산물은 대표적인 단백질 식품으로 질소에 대한 의존도가 높다. 그리고 가축 체내의 원활한 질소이용이 불충분할 경우, 배출되는 질소량이 증가하고 증가된 질소는 환경오염의 원인이 된다. 이러한 질소의 이용 효율 향상을 통한 생산성 증진에는 다양한 항생물질들이 적용되어 왔다. 따라서 가축의 효율적인 질소 이용은 유기축산업 구축에 있어 필수적인 문제로 인식될 수 있다. 반추동물의 경우, 체내 단백질 이용성이 다른 단위동물과는 다르다. 즉 소장에서 흡수되는 단백질과 아미노산은 반추위내 분해율 혹은 분해 정도 그리고 생성되는 미생물태 단백질에 따라 달라질 수 있다. 착유우와 같이 유선 조직에서 단백질 합성을 위한 단백질 및 아미노산 요구량이 중요한 경우, 반추위 미생물태 단백질로부터 공급받는 아미노산 외에 특정 아미노산들에 대한 요구성을 가지고 있다. 특히 고능력우의 경우 이러한 아미노산의 요구량이 높고 또한 중요하게 인식되고 있다(Satter and Roffler, 1975; Huber and Kung, 1980). 즉 다시 말하면, 유생산성에 대한 요구를 충족시키기 위하여 소장으로 전달되는 반추위 미분해 우회 아미노산을 추가로 공급하여야 한다(Cunningham et al., 1996; Piepenbrink et al., 1996). 이와 같은 대사적 현상을 위하여 단순히 사료내 단백질 함량을 향상시키는 것도 하나의 방법이 될 수 있다. 하지만 사료내 단백질의 형태가 아닌, 단순한 함량의 향상은 자칫 단백질 및 질소 효율 저하시킬 수 있고, 이를 통하여 지나친 암모니아 생성을 유도할 수 있다. 지나친 암모니아의 생성은 대사적 스트레스를 유발할 수 있고, 분뇨를 통한 질소 배출을 증가시켜 환경오염을 야기시킬 수 있다(Bach et al., 2000; Hristov et al., 2004). 착유우에 있어 적정한 단백질의 공급은 위에서 언급한 것과 같이 생산성에 입각한 경제적 측면 및 환경 오염을 고려한 환경적 측면 모두에서 중요한 문제가 아닐 수 없다. 일반적으로 착유우 사료의 조단백질은 1.6%~18.5% 혹은 그 이상이며, 단백질 수준은 유량과 유단백질 생산성에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 하지만 사료의 단백질 수준만이 유량과 유단백질 생산성을 결정짓는 요인이 될 수 없다는 의견 또한 보고된 바 있다. Cunningham 등(1996)은 비유초기 착유우 단백질 수준의 차이는 유량과 유단백질 함량과 직결되지 않는다고 보고한 바 있다. Bach 등(2000)은 비유초기 착유우에게 요구수준에 적절한 아미노산이 포함된 15%의 조단백질 수준 사료와 조단백질 함량은 18%로 높으나 아미노산 균형이 부적절한 사료를 공급할 경우, 유생산량과 유단백질 생산량은 서로 큰 차이를 나타내지 않음을 보고한 바 있다. 또한 Dinn 등(1998)은 조단백질 함량 16% 사료에 보호아미노산을 공급하는 것이 보호단백질이 첨가되지 않은 조단백질 18% 수준 사료에 비하여 오히려 유생산량과 유단백질 생산량에 긍정적인 효과를 나타내었을 뿐만 아니라 질소 배출을 통한 손실량도 절감시켰다고 보고하였다. 즉 적정 요구량 수준에서의 조단백질 공급과 유생산에 필요한 양질의 아미노산 균형이 착유우 단백질 대사에 있어 중요한 요인이라고 할 수 있겠다. 착유

우에 있어서 중요한 제한아미노산으로는 메티오닌과 라이신을 들 수 있으며, 많은 연구들이 위 두 가지 제한아미노산의 대사적 역할에 대하여 연구를 수행하였다(Clark et al., 1975; Schwab et al., 1976; Stokes et al., 1980; Holter et al., 1992). 메티오닌은 착유우의 단백질 및 지방대사에 관여하고 라이신은 메티오닌의 이용성에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Stokes et al.., 1981). Rogers 등(1987). 많은 연구들에 의하여 반추위 우회 메티오닌과 라이신의 효과를 조사하고 보고하였다. 그리고 각 연구자들은 다양한 조단백질 수준을 연구에 적용하였고, 메티오닌 단독 및 라이신과의 혼합 사용 등 다양한 적용방법을 사용하였다. 이에 본 연구는 이러한 많은 연구들에서 보고된 자료를 바탕으로 사료 단백질 수준과 보호아미노산의 적용 방법에 대한 효과를 종합적으로 분석하기 위한 목적으로 수행되었다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 자료 구성

본 연구는 사료첨가제 반추위 보호아미노산(methionine, lysine)의 첨가 급여가 착유우의 생산성에 미치는 효과를 조사한 게재된 논문들 중에서 총 21편의 연구논문들을 임의로 선정하여 메타분석에 사용하였다. 연구논문의 선발기준은 다음과 같은 항목에 충족되는 논문들을 연구 자료로 활용하였다. 1) 착유우의 생산성에 관한 평가 결과, 2) 사료첨가제 보호아미노산(methionine 및 methionine + lysine)의 적용, 3) 사료내 조단백질 수준에 대한 정보가 존재하는지의 여부에 따라서 결정하였다. 사료내 조단백질 함량에 따라 두 가지 수준으로 구별하였으며, 착유우의 생산성에 관한 보호아미노산의 효과는 총 6가지 항목(유생산량, 유단백질 함량 및 생산량, 유지방 함량 및 생산량, 4% FCM)에 대하여 조사하였다. 각 연구논문들에서 사용된 실험조건은 Table 1에서 보는 것과 같다.

Table 1. Summary of studies used in meta-analysis

Study	Animals[1]		Diet[2]			Dose	
	n	Lactation	CP	NDF (%)	ADF (%)	Met (g/d)	Met+Lys (g/d)
Rogers et al., 1987	18	Multi	L	38.7	21.8	0, 10.40, 4.52, 16.28, 16.28, 4.52	0, 28.4, 12.34, 24.1, 44.46, 32.7
Donkin et al., 1989	8	Multi	H	-	13.8	0, 15	0, 55
Piepenbrink et al., 1996	10	Multi	L/H	31.2, 29.5	22.0, 20.1	0, 0, 11, 22, 33	0, 0, 46, 92, 139

Study	Animals[1]		Diet[2]			Dose	
	n	Lactation	CP	NDF (%)	ADF (%)	Met (g/d)	Met+Lys (g/d)
King et al., 1991	12	Multi	L	-	17.3	-	exp. 1: 0, 45, 90 exp. 2: 0, 22.5, 45, 90, 180
Wang et al., 2010	60	Multi + Primi	H	37.8	21.0	38, 48, 38, 48	160, 170, 182, 192
Illg et al., 1987	27	Multi + Primi	L	35.5	16.7	0, 15	0, 15
Třináctý et al., 2009	4	Multi	L	18.9	35.3	0, 0, 18.2, 18.2	0, 11.7, 18.2, 29.9
Papas et al., 1984	25	Multi	L	-	17.1	0, 8.1, 15, 22.3, 29.4	0, 8.1, 15, 22.3, 29.4
Stokes et al., 1981	24	Multi	L/L	-	-	0, 21, 25	0, 21, 25
Casper et al., 1987	23	Multi + Primi	L	33.6	17.6	0, 50	0, 50
Polan et al., 1991	259	Multi	L/L	-	exp. 1: 15.5, 15.7 exp. 2: 17.3, 17.0	exp. 1: 0, 0, 15, 15, 15 exp. 2: 0, 0, 12, 12, 12	exp. 1: 0, 0, 15, 35, 55 exp. 2: 0, 0, 12, 28, 44
Armentano et al., 1997	16	Multi	H	27.4	19.6	0, 5.25, 10.5, 11.5	0, 5.25, 10.5, 26.2
Munneke et al., 1991	28	Multi + Primi	H	27.1	15.2	0, 15	0. 15
Chilliard and Doreau, 1997	8	Multi + Primi	L	39.6, 38.9	21.8, 21.4	0, 0, 20, 20	0, 0, 20, 20
Wu et al., 1997	24	Multi	L	37.2, 36.2	23.4, 22.8	0, 10.6	0, 25.8
Leonardi et al., 2003	16	Multi + Primi	H/H	27.0, 27.4	15.3, 15.1	49.1, 63.3, 64, 83.7	192.1, 202.3, 265, 294.7
Guinard and Rulquin, 1994	4	Multi	H	34.0	18.4	-	0, 9, 27, 63
Nichols et al., 1998	20	Multi	H/H	30.3, 37.6	19.4, 20.9	0, 6, 0, 6	0, 26, 0, 26
Socha et al., 2005	84	Multi	H/H	26.6, 27.4	-	0, 10.5, 10.5	0., 10.5, 16.5
Pisulewski et al., 1996	5	Multi	H	33.5	17.2	0, 6, 12, 18, 24	0, 6, 12, 18, 24
Robinson et al., 1998	30	Multi	L	35.5	21.7	0, 0, 6	0, 21, 28

[1] n, number of animals; Lactation, average lactations per cow (Multi, Multiparous; Primi, primiparous); AMP, average milk production.

[2] CP level of the basal diet (L, low level; H, high).

2. 자료의 분석

본 연구에서 사용된 결과들은 서로 동시에, 같은 장소에서, 동일한 재료를 이용하여 수행된 것이 아니기 때문에 결과치의 단순 비교가 불가능하다. 이에 St-Pierre (2001)가 제안한 혼합모형(Mixed model)을 통하여 각 자료들의 표준화작업을 수행한 후 선형모형으로 자료를 변환시켰다. 혼합모형에서 처리의 효과(보호아미노산 급여)는 고정모형(fixed model)으로 적용하였고, 각 연구들은 임의모형(random model)로 하여 상가적 모형을 구성하였다.

3. 통계분석

자료의 분석은 혼합모형을 통한 표준화 작업을 수행하기 위하여 SPSS program (version 18, IBM, NewYork, USA)의 mixed procedure를 사용하였다.

Ⅲ. 결 과

본 연구에서는 두 가지 사료 조단백질 수준과 두 가지 종류의 보호 아미노산에 대하여 검토하였다. 사료 조단백질 수준과 보호아미노산 종류에 대한 효과를 동시에 분석하기 보다는 각 조건별(조단백질 수준) 보호아미노산 종류의 효과를 분석하여 개별적인 효과의 크기와 유의성을 분석하였다. 보호메티오닌의 사료첨가 급여 효과를 두 수준의 사료 조단백질 조건에서 분석한 결과는 Table 2에서 보는 것과 같다. 유량의 경우, 저수준의 조단백질 조건에서는 보호메티오닌 첨가수준이 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었다(P=0.055). 반면에 고수준 조단백질 수준에서는 유의적인 효과가 관찰되지 않았다(P>0.05). 유성분에서 유단백질 함량의 경우, 저수준의 조단백질 조건에서는 오히려 유의적으로 유단백질 함량이 감소하는 것으로 나타났다(P<0.05). 하지만 고수준의 조단백질 조건에서는 유의적인 효과를 나타내지 않았다(P>0.05). 유지방의 경우, 고수준 조단백질 조건에서 유의적인 보호메티오닌 첨가급여 효과가 나타났고, 첨가수준이 증가할수록 유지방함량이 증가하는 것으로 나타났다(P<0.05). 4% FCM의 경우, 단백질 수준에 관계없이 보호메티오닌의 급여를 통하여 유의적으로 증가하는 것으로 나타났다(P<0.05). 서로 다른 사료 조단백질 수준에서 보호 메티오닌과 보호라이신의 혼합(PML) 첨가 효과에 대한 분석결과는 Table 3에서 보는 것과 같다. 유량의 경우, 저수준 조단백질 조건에서의 PML 급여는 유량을 감소시키는 경향을 나타내었다(P=0.099). 반면 고수준 조단백질에서는 유의적인 차이를 나타내지 않았다(P>0.05). 유성분에 있어서는 조단백질 수준에 관계없이 PML의 급여로 인한 유의적인 효과가 관찰되지 않았다(P>0.05).

Table 2. Effect of protected methionine on milk yield and composition under different dietary crude protein levels

Item	CP level[1]	Intercept			Slope			RMSE[3]
		Estimate	SE[2]	P value	Estimate	SE	P value	
Milk, kg/day	L	10.472	9.537	0.304	1.440	0.644	0.055	1.266
	H	33.052	5.910	<0.05	0.297	0.318	0.368	4.119
Protein, %	L	4.229	0.477	<0.05	-0.081	0.032	<0.05	0.093
	H	3.485	0.477	<0.05	-0.027	0.027	0.332	0.098
Protein, kg/day	L	0.605	0.304	0.080	0.024	0.021	0.276	0.025
	H	1.135	0.182	<0.05	0.000	0.010	0.981	0.120
Fat, %	L	3.857	1.060	<0.05	-0.046	0.072	0.545	0.122
	H	1.141	0.637	0.093	0.125	0.035	<0.05	0.261
Fat, kg/day	L	0.336	0.342	0.356	0.044	0.023	0.091	0.054
	H	0.235	0.288	0.426	0.058	0.016	<0.05	0.169
4% FCM[4], kg/day	L	8.593	7.411	0.278	1.287	0.501	<0.05	1.266
	H	16.181	5.537	<0.05	1.036	0.299	<0.05	4.022

[1] CP levels, L, below 18% DM; H, above 18% DM
[2] SE, standard error.
[3] RMSE, root mean square error.
[4] 4% FCM, 4% fat corrected milk.

Table 3. Effect of protected methionine-lysine on milk yield and composition under different dietary crude protein levels

Item	CP level[1]	Intercept			Slope			RMSE[3]
		Estimate	SE[2]	P value	Estimate	SE[2]	P value	
Milk, kg/day	L	95.832	36.136	<0.05	-4.326	2.496	0.099	2.911
	H	-3.732	39.212	0.928	2.267	2.217	0.353	4.270
Protein, %	L	4.975	1.400	<0.05	-0.131	0.097	0.198	0.150
	H	3.961	0.746	<0.05	-0.052	0.042	0.270	0.087
Protein, kg/day	L	2.644	0.984	<0.05	-0.113	0.068	0.128	0.035
	H	0.152	0.907	0.873	0.053	0.051	0.347	0.100

Item	CP level[1]	Intercept			Slope			RMSE[3]
		Estimate	SE[2]	P value	Estimate	SE[2]	P value	
Fat, %	L	4.457	1.106	<0.05	-0.059	0.076	0.474	0.084
	H	4.989	0.720	<0.05	-0.079	0.041	0.111	0.136
Fat, kg/day	L	2.590	1.260	0.054	-0.097	0.087	0.281	0.102
	H	0.378	1.393	0.797	0.052	0.079	0.540	0.102
4% FCM[4], kg/day	L	83.978	31.449	<0.05	-3.647	2.172	0.108	1.718
	H	4.459	37.805	0.911	1.674	2.137	0.469	3.309

[1] CP levels, L, below 18% DM; H, above 18% DM
[2] SE, standard error.
[3] RMSE, root mean square error.
[4] 4% FCM, 4% fat corrected milk.

Ⅳ. 고 찰

착유우에 있어 적정 수준의 조단백질 공급과 균형 잡힌 아미노산 조성의 공급은 생산성 향상뿐만 아니라 농가 소득 증대에 기여할 수 있다. 특히, 비유초기 고능력우는 반추위 미생물단백질만으로 유생산성에 대한 요구량을 충족시킬 수 없기 때문에 사료내 RUP (Rumen Undegradable Protein)를 보충해 줄 필요가 있다(Volden et al., 1998, Wang et al., 2010). 착유우의 비유능력을 최대화하기 위하여 대사단백질 요구량을 충족시키기 위한 수단으로 높은 함량의 조단백질 사료를 급여해왔다(Cressman et al., 1980). 또한, 이전에 수행되었던 연구들에서는 열처리, formaldehyde 처리 등과 같은 다양한 방법의 전처리 과정을 통하여 반추위 분해를 벗어난 사료 조단백질 함량을 증가시켰다(Henderson et al., 1985). 그러나, 착유우에서질소의 이용효율은 사료 단백질의 양 및 질에 의해 영향을 받기 때문에 궁극적으로 사료내 조단백질 수준의 결정에는 경제적 및 환경적 비용 등, 모든 측면들이 고려되어야 한다. 또한 사료 조단백질 함량이 0.1% 증가할 때마다 질소 이용효율은 0.672로 감소될 수 있다고 보고 된 바도 있다(Yan et al., 2006). 비유초기 착유우에 RUP 함량이 증가된 사료가 급여된 일부 연구에서 유생산량을 증가시키는 것으로 나타났다(Forster et al., 1983; Baker et al., 1996; Cunning ham et al., 1996). 그러나 다른 연구들의 결과에서는 이러한 결과가 관찰되지 않았다(Erdman and Vandersall, 1983; Christensen et al., 1993; Henson et al., 1997). Schwab 등(1993)은 사료내 조단백질 함량과 함께, 소장에 최적 아미노산의 균형이 유단백질 생산의 개선에 더 중요하다고 강조하였다. 이러한 이론적인 배경에 따라, 착유우의 유생산성에 대한 제한아미노산으로 methionine 및 lysine의 효과가 많이 연구되었다. 하지만 이

두 가지 보호아미노산이 미치는 유생산성에 대한 반응은 다양한 결과로 보고되었다(Robinson, 1996; Doepel et al. 2004). 저수준 조단백질 사료에 메티오닌의 효과 분석를 조사한 Papas 등(1984)의 연구에서는 15.9%의 조단백질 사료에 반추위에서 94% 안정한 보호메티오닌을 다양한 수준으로 급여하여 착유우의 유생산성을 평가하였고, 보호메티오닌의 첨가에 의한 유량 및 유성분 변화 효과는 관찰되지 않았다고 보고하였다. Stokes 등(1981)은 NRC (1971)를 기준으로 착유우의 조단백질 요구량을 80% 및 100%를 충족시키는 사료에 보호메티오닌을 첨가 급여한 결과, 유생산량 및 유성분에 대한 유의적인 효과는 관찰되지 않았다고 보고하였다. Armentano 등(1997)은 19.5% 조단백질 사료에 보호메티오닌을 첨가 급여한 결과 유생량 및 유단백질 함량이 개선되었다고 보고하였고, Leonardi 등(2003)은 16.1% 및 18.8%로 두 가지 조단백질 수준에서 보호메티오닌의 효과를 분석한 결과 유생산량에는 효과가 나타나지 않았고, 유단백질의 수준은 조단백질 수준에 관계없이 증가되는 것으로 보고하였다. Pisulewski 등(1996)은 17.6%의 조단백질 사료를 급여한 착유우에 네 가지 수준의 메티오닌을 소장에 주입한 결과, 유생산량, 4% FCM 및 유지방에 유의적인 영향을 미치지 않았으나, 유단백질 함량 및 생산량을 증가시켰다고 보고하였다. 메티오닌과 라이신의 혼합급여의 경우, 유단백질 생산량이 증가하는 것으로 보고되었다(Seymour et al. 1990; Kudrna et al. 1998; Robinson et al., 1999). 특히 저수준의 조단백질 조건에서 메티오닌과 라이신의 혼합급여는 각 아미노산의 이용성을 향상시켜 유생산성을 향상시키는 것으로 보고된바 있다. 특히 메티오닌 단독 급여보다는 라이신과의 혼합급여가 유생산성 향상에 더욱 효과적이라고 보고된 바 있다(Rogers et al., 1987; Trinacty et al., 2009; Nichols et al., 1998; Wang et al., 2010). 본 연구는 다양한 선행연구결과들을 바탕으로 종합적인 경향을 파악하기 위함에 그 목적을 가지고 있다. 하지만 일련의 분석을 수행한 결과, 연구들간의 이질성이 상당히 존재하는 것을 알 수 있었으며, 보다 정밀하고 다각적인 검토가 필요할 것으로 판단되었다. 일련의 분석을 수행한 결과, 보호아미노산의 사료첨가 급여는 유생산성을 개선할 수 있는 가능성을 확인할 수 있었다. 보호메티오닌의 단독과 보호라이신과의 혼합급여에 있어 상호간의 효과의 크기 비교는 본 연구결과에 도출할 수는 없으나 두 가지 보호아미노산 급여 조건 모두 유생산성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단되었다. 결론적으로 보호 아미노산의 효과를 명확하게 확인하기 위해서는 사료 단백질의 형태에 대한 고려가 함께 이루어져야 할 것이다.

[Submitted, November. 7, 2016 ; Revised, November. 16, 2016 ; Accepted, November. 17, 2016]

References

1. Armentano, L., S. Bertics, and G. Ducharme. 1997. Response of Lactating Cows to Methionine or Methionine Plus Lysine Added to High Protein Diets Based on Alfalfa and Heated Soybeans. J. Dairy Sci. 80: 1194-1199.
2. Bach, A., G. B. Huntington, S. Calsamiglia, and M. Stern. 2000. Nitrogen Metabolism of Early Lactation Cows Fed Diets with Two Different Levels of Protein and Different Amino Acid Profiles. J. Dairy Sci. 83: 2585-2595.
3. Baker, M., H. Amos, A. Nelson, C. Williams, and M. Froetschel. 1996. Undegraded intake Protein: Effects on Milk Production and Amino Acid Utilization by Cows Fed Wheat Silage. Canadian J. Anim. Sci. 76: 367-376.
4. Christensen, R., G. Lynch, J. Clark, and Y. Yu. 1993. influence of Amount and Degradability of Protein on Production of Milk and Milk Components by Lactating Holstein Cows. J. Dairy Sci. 76: 3490-3496.
5. Clark, J. H. 1975. Lactational Responses to Postruminal Administration of Proteins and Amino Acids. J. Dairy Sci. 58: 1178-1197.
6. Cressman, S. G., D. Grieve, G. Macleod, E. E. Wheeler, and L. Young. 1980. Influence of Dietary Protein Concentration on Milk Production by Dairy Cattle in Early Lactation. J. Dairy Sci. 63: 1839-1847.
7. Cunningham, K., M. Cecava, T. Johnson, and P. Ludden. 1996. Influence of Source and Amount of Dietary Protein on Milk Yield by Cows in Early Lactation. J. Dairy Sci. 79: 620-630.
8. Dinn, N., J. Shelford, and L. Fisher. 1998. Use of the Cornell Net Carbohydrate and Protein System and Rumen-Protected Lysine and Methionine to Reduce Nitrogen Excretion from Lactating Dairy Cows. J. Dairy Sci. 81: 229-237.
9. Doepel, L., D. Pacheco, J. J. Kennelly, M. D. Hanigan, I. F. López, and H. Lapierre. 2004. Milk Protein Synthesis as a Function of Amino Acid Supply. J. Dairy Sci. 87: 1279-1297.
10. Erdman, R., and J. Vandersall. 1983. Effect of Rumen Protein Degradability on Milk Yield of Dairy Cows in Early Lactation. J. Dairy Sci. 66: 1873-1880.
11. Forster, R. J., D. Grieve, J. Buchanan-Smith, and G. Macleod. 1983. Effect of Dietary Protein Degradability on Cows in Early Lactation. J. Dairy Sci. 66: 1653-1662.
12. Henderson, S. J., H. Amos, and J. Evans. 1985. Influence of Dietary Protein Concentration and Degradability on Milk Production, Composition, and Ruminal Protein Metabolism. J. Dairy Sci. 68: 2227-2237.

13. Henson, J. E., D. J. Schingoethe, and H. A. Maiga. 1997. Lactational Evaluation of Protein Supplements of Varying Ruminal Degradabilities. J. Dairy Sci. 80: 385-392.
14. Holter, J., H. Hayes, W. Urban, S. Ramsey, and H. Rideout. 1992. Response of Holstein Cows to Corn Gluten Meal Used to Increase Undegradable Protein in Early or Later Lactation. J. Dairy Sci. 75: 1495-1506.
15. Hristov, A., R. Etter, J. Ropp, and K. Grandeen. 2004. Effect of Dietary Crude Protein Level and Degradability on Ruminal Fermentation and Nitrogen Utilization in Lactating Dairy Cows. J. Anim. Sci. 82: 3219-3229.
16. Huber, J. and L. Kung. 1981. Protein and Nonprotein Nitrogen Utilization in Dairy Cattle. J. Dairy Sci. 64: 1170-1195.
17. Kudrna, V., P. Lang, and P. Mlazovska. 1998. The Effect of Rumen-Protected Methionine on Performance of Dairy Cows. Zivocisna Vyroba-Uzpi (Czech Republic).
18. Leonardi, C., M. Stevenson, and L. Armentano. 2003. Effect of Two Levels of Crude Protein and Methionine Supplementation on Performance of Dairy Cows. J. Dairy Sci. 86: 4033-4042.
19. National Research Council. 1971. Nutrient Requirements of Domestic Animals. No. 3. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 4Th Rev. Ed. Nat. Acad. Sci., Washington, DC.
20. Nichols, J., D. Schingoethe, H. Maiga, M. Brouk, and M. Piepenbrink. 1998. Evaluation of Corn Distillers Grains and Ruminally Protected Lysine and Methionine for Lactating Dairy Cows. J. Dairy Sci. 81: 482-491.
21. Papas, A., C. Sniffen, and T. V. Muscato. 1984. Effectiveness of Rumen-Protected Methionine for Delivering Methionine Postruminally in Dairy Cows. J. Dairy Sci. 67: 545-552.
22. Piepenbrink, M., T. Overton, and J. Clark. 1996. Response of Cows Fed a Low Crude Protein Diet to Ruminally Protected Methionine and Lysine. J. Dairy Sci. 79: 1638-1646.
23. Pisulewski, P., H. Rulquin, J. Peyraud, and R. Verite. 1996. Lactational and Systemic Responses of Dairy Cows to Postruminal Infusions of Increasing Amounts of Methionine. J. Dairy Sci. 79: 1781-1791.
24. Robinson, P. 1996. Rumen Protected Amino Acids for Dairy Cattle: What Is the Future? Anim. Feed Sci. Tech. 59: 81-86.
25. Robinson, P., W. Chalupa, C. Sniffen, W. Julien, H. Sato, T. Fujieda, K. Watanabe and H. Suzuki. 1999. Influence of Postruminal Supplementation of Methionine and Lysine, Isoleucine, or All Three Amino Acids on Intake and Chewing Behavior, Ruminal Fermentation, and Milk and Milk Component Production. J. Anim. Sci. 77: 2781-2792.
26. Rogers, J., U. Krishnamoorthy, and C. Sniffen. 1987. Plasma Amino Acids and Milk Protein

Production by Cows Fed Rumen-Protected Methionine and Lysine. J. Dairy Sci. 70: 789-798.

27. Satter, L. D. and R. E. Roffler. 1975. Nitrogen Utilization in the Dairy Cow. J. Dairy Sci. 58: 1219-1237.
28. Schwab, C. G., L. Satter, and A. Clay. 1976. Response of Lactating Dairy Cows to Abomasal Infusion of Amino Acids. J. Dairy Sci. 59: 1254-1270.
29. Schwab, C., M. Socha, and N. Whitehouse. 1993. Opportunities for Rumen Protected Lysine and Methionine in Lactating Dairy Cow Nutrition. In: Rhone-Poulenc Animal Nutrition Symposium. pp. 3-28.
30. Seymour, W. M., C. E. Polan, and J. H. Herbein. 1990. Effects of Dietary Protein Degradability and Casein or Amino Acid Infusions on Production and Plasma Amino Acids in Dairy Cows. J. Dairy Sci. 73: 735-748.
31. St-Pierre, N. 2001. Invited Review: Integrating Quantitative Findings from Multiple Studies using Mixed Model Methodology. J. Dairy Sci. 84: 741-755.
32. Stokes, M., J. Clark, and L. M. Steinmetz. 1981. Performance of Lactating Dairy Cows Fed Methionine or Methionine Analog at Two Concentrations of Dietary Crude Protein. J. Dairy Sci. 64: 1686-1694.
33. Třináctý, J., L. Křížová, M. Richter, V. Černý, and J. Říha. 2009. Effect of Rumen-Protected Methionine, Lysine or Both on Milk Production and Plasma Amino Acids of High-Yielding Dairy Cows. Czech J. Anim. Sci. 54: 239-248.
34. Volden, H., W. Velle, O. M. Harstad, A. Aulie, and O. V. Sjaastad. 1998. Apparent Ruminal Degradation and Rumen Escape of Lysine, Methionine, and Threonine Administered Intraruminally in Mixtures to High-Yielding Cows. J. Anim. Sci. 76: 1232-1240.
35. Wang, C., H. Liu, Y. Wang, Z. Yang, J. Liu, Y. Wu, T. Yan, and H. Ye. 2010. Effects of Dietary Supplementation of Methionine and Lysine on Milk Production and Nitrogen Utilization in Dairy Cows. J. Dairy Sci. 93: 3661-3670.
36. Yan, T., J. Frost, R. Agnew, R. Binnie, and C. Mayne. 2006. Relationships among Manure Nitrogen Output and Dietary and Animal Factors in Lactating Dairy Cows. J. Dairy Sci. 89: 3981-3991.