

단백질 대사 및 요구량 결정의 새로운 개념

이 남 형

한국 식품 개발 연구원

New Concept in Protein Metabolism and Requirement

N. H. Lee

Korea Food Research

1. 서 론

반추동물이 섭취하는 사료 단백질은 제일위내에서 미생물에 의해 일부가 분해되고 나머지는 분해되지 않고 통과하여 소장 내에서 아미노산 형태로 흡수가 된다. 물론 분해되는 정도는 사료의 종류나 제일위내 머무는 시간에 따라 다른데 분해가 잘 되는 단백질은 RDP(Rumen degradable protein)라 하고, 분해가 안되고 통과하는 단백질은 UDP(Undegraded dietary protein)라는 새로운 개념을 영국 ARC(1980)위원회는 채택하였다. 이는 Roy 등(1977)이 EAAP 심포지움에서 발표한 자료를 근거로 하여 지금까지 사용해왔던 가스화 조단백질(DCP)시스템을 포기한 것이다. 가스화 조단백질은 섭취한 질소에서 분으로 배설되는 질소를 뺀 차이에 의해 결정되며 동물이

이용할 수 있는 단백질로 추정되어 왔으나, 서로 다른 사료 공급원으로 부터 DCP섭취량을 동일하게 하였을 때 도 소장에서의 아미노산 흡수가 다를 뿐만 아니라 성장이나 우유 생산에도 동일한 생산성을 나타내지 않기 때문에 모순성이 제기 되었으며 이에 따라 미국의 NRC(1985) 위원회도 유럽 여러나라와 같이 사료 단백질의 분해도에 따른 반추동물에서의 새로운 단백질 사용 체제를 발표하였다. 그림 1은 NRC(1985)위원회가 채택한 반추동물에서의 전반적인 질소 대사를 요약하고 있다.

2. 새로 개정된 단백질 요구량

젖소의 단백질 요구량에 대하여 영국 ARC 사양표준을 보면 다음 표 1과 같은데 Rumen degradable protein(RDP) 과 Undegradable dietary protein(UDP)요구량으로

Table 1. 젖소의 RDP와 UDP요구량

체중의 변 화	q (ME / GE)	단백질 형 태	(British Friesian 600kg체중, 유지방 3.68%기준)					단위: 일당g	
			산	유	량(kg / 일)				
			5	10	15	20	30	40	
0	0.5	RDP	650	855	1,065	1,275	-	-	
		UDP	-	25	145	265	-	-	
	0.6	RDP	620	815	1,010	1,210	1,615	-	
		UDP	-	65	190	320	565	-	
	0.7	RDP	590	770	960	1,145	1,535	1,930	
		UDP	-	95	235	370	630	885	
일 당 0.5 kg 감소	0.5	RDP	505	710	915	1,125	-	-	
		UDP	-	40	160	280	-	-	
	0.6	RDP	480	670	865	1,065	1,465	1,880	
		UDP	-	70	200	330	575	820	
	0.7	RDP	455	640	825	1,010	1,390	1,785	
		UDP	-	95	235	370	640	895	
일 당 0.5 kg 증 체	0.5	RDP	840	1,045	1,260	1,470	-	-	
		UDP	-	20	135	250	-	-	
	0.6	DRP	795	990	1,190	1,395	1,805	-	
		UDP	-	65	190	315	555	-	
	0.7	RDP	755	940	1,130	1,320	1,715	-	
		UDP	-	1.05	240	370	630	-	

자료: The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock (1980, ARC)

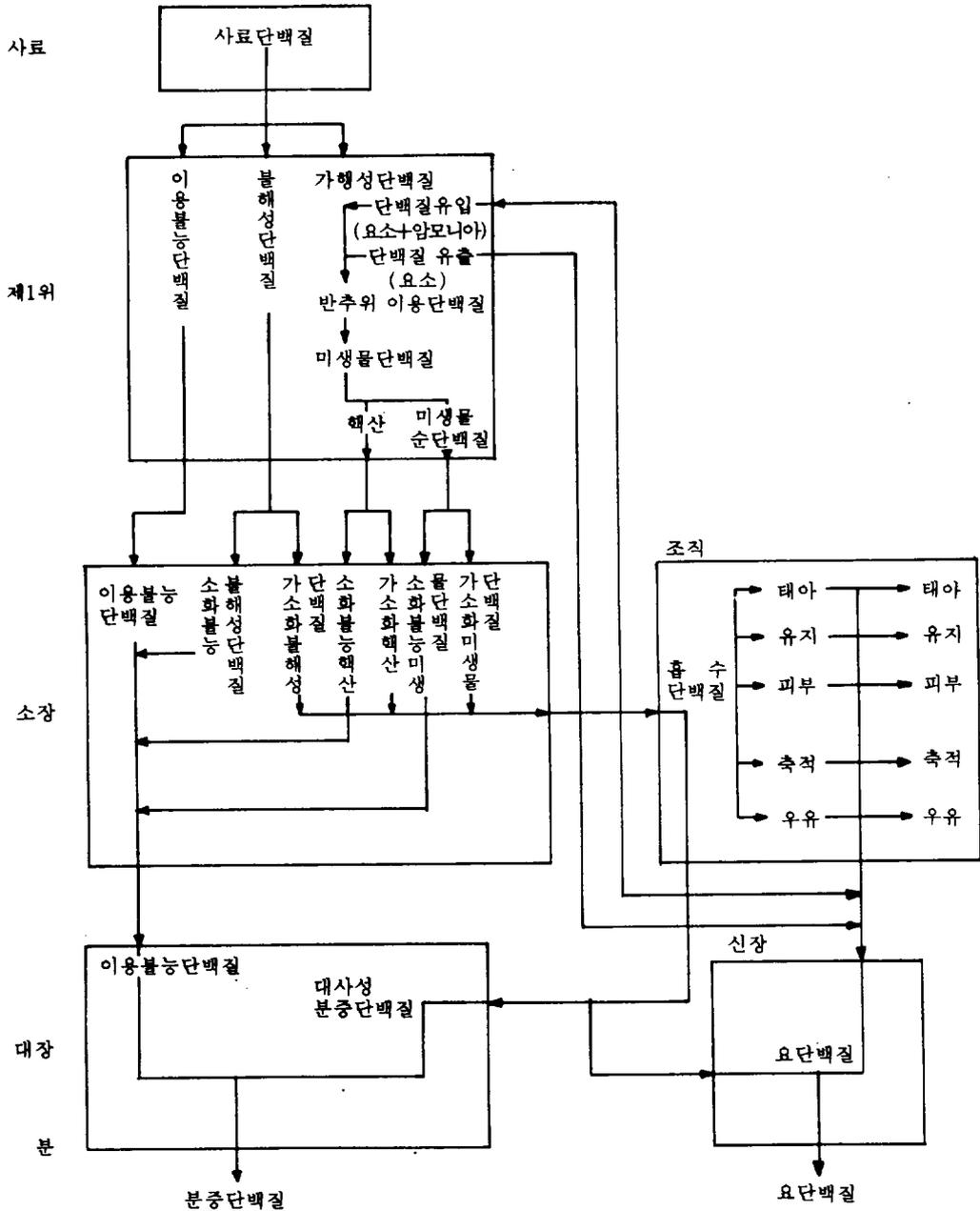


Fig 1. 반추동물에서의 질소대사(NRC, 1985)

분리되어 있다. 즉, 영국 ARC표준도 개정하기 전에는 Crude protein과 DCP요구량을 권장하였으나 지금은 이용되지 않고 있으며, 섭취된 단백질 중 제일위내에서 미생물에 의해 분해되는 부분과 분해가 안되고 통과되는 부분으로 구분하여 요구량을 정하고 있기 때문에 ARC표준을

사용하려면 국내에서도 모든 사료원료에 대하여 RDP와 UDP 분석자료가 나와야 될 뿐만 아니라 그 분해도가 제일 위내에서 머무는 체재시간에 따라 다르기 때문에 통과속도에 따른 자료도 반드시 수반되어야 한다. 사실 일반적으로 섭취한 단백질 총량보다는 제일위내에서

십이지장으로 통과되는 단백질 총량이 더 높기 때문에 사료중의 DCP를 구한다는 것은 그 의미가 적다 하겠다. 표 1에서 홀스타인 젖소(체중 600kg, 유지방 3.68%, 체중 변화 없음)를 기준으로 a(ME/DE)가 0.6일 경우에 일일 우유 30kg 생산하는 젖소의 RDP요구량은 1,625 g 이고 UDP 요구량은 565 g 으로 총단백질 요구량 2,180 g 중의 25.92%는 분해되지 않은 UDP로 공급해야 된다는 의미이다. 그러나 일일 10kg 생산되는 젖소의 경우에는 RDP요구량이 813 g, UDP요구량이 63 g 으로서 총단백질 요구량

1,016 g 중의 6.2%(표 2)를 분해되지 않은 UDP로 공급해야 한다는 뜻으로 급여되는 사료에서 총에너지 중의 대사에너지 함량인 q에 따라서도 UDP와 RDP의 요구량은 다를 뿐만 아니라 산유량이 증가 할 수록 UDP요구량도 RDP에 비해 많아진다는 것을 알 수 있다. 중요한 사실은 1965년도 ARC표준과 1980년 ARC 표준에서 조단백질 요구량으로 환산하여 비교해 보면 표 2와 같은데 산유량 10kg인 경우에는 조단백질 요구량의 변화가 없으나 산유량 30kg인 경우에는 1965년도에 2,602 g 이던 것이 1980

Table 2. ARC 사양표준의 변화

항 목	(600kg 젖소, 유지방 3.68%)						
	1965			1980			
	DM	DCP	CP	DM	RDP	UDP	CP
	kg	g	g	kg	g	g	g
유지	5.0	202	450	5.6	428	0	535①
유지 + 10kg우유	9.3	730	1,043	9.5	813	63	1,016②
유지 + 30kg우유	19.9	1,822	2,602	18.8	1,616	565	2,181

- ① 최대 분해율 0.8로 추정
- ② 자료: ARC(1980)

년도에는 2,181으로 UDP와 RDP를 분리 급여함으로써 일일 400 g 이상의 단백질을 절약 할 수 있다.

프랑스의 INRA 연구소 Verite 등(1979)이 발표한 PDI (Proteines Digestibles dans l' Intestin grêle) 시스템도 역시 가스화 조단백질(DCP) 시스템을 대체하기 위한 제안이다. DCP의 경우에는 사료단백질의 제일위내 분해도나 합성되는 미생물 단백질을 고려하지 않았고, 흡수되는 질소 대사의 최종 산물 즉, 사료에서 온 아미노산, 미생물에서 온 아미노산, 소장에서 미생물 핵산의 분해에서 온 퓨린(Purines)과 피리미딘(Pyrimidines) 및 암모니아 간의 차이를 인정하지 않았다. PDI 시스템도 영국 ARC 제안처럼 사료의 제일위내 분해도 및 소장에서의 이용성을 고려했으나 단백질의 경우는 PDI N, 가용성 에너지를 PDI E로 구분하였다. 사료중의 PDI합량은 PDI A와 PDI

M의 합계인데 PDI A는 제일위내 비분해성 사료 단백질로서 소장에서 진정 소화될 수 있는 부분이고, PDI M은 소장내에서 진정 소화될 수 있는 미생물에서 온 조단백질 부분이다.

PDI N = PDI A + PDI M N으로 표시하며 여기서 PDI MN은 PDI M중 분해 할 수 있는 질소 함량을 의미한다. 다음 표 3은 PDI와 DCP요구량을 비교한 자료로 비육우의 경우에는 체중 400kg에서 일당 증체량이 1.4kg 때 PDI를 사용하면 일일 20 g의 단백질이 DCP사용때 보다 절약되고, 체중 600kg인 젖소의 경우 30kg FCM산유시 PDI 요구량은 일일 1,895 g, DCP요구량은 일일 2,160 g으로 PDI사용에 의해 무려 265 g의 단백질을 절약할 수 있다.

미국에서도 DCP대신에 대사단백질(MP; Metaboli-

Table 3. PDI와 DCP 요구량간의 비교

동물별	체중(kg)	생산 수준	요구량(g/일)	
			PDI	DCP
비육우	400	젖소품종, 일당 1.2kg 증체	635	645
		육우품종, 일당 1.4kg 증체	720	740
젖소	600	유지	395	360
		임신 말기	600	600
		비유기: 30kgFCM	1895	2160

자료: Verite 등 (1979)

zable protein) 또는 대사성 아미노산(MAA; Metabolizable amino acids) 시스템이 Iowa대학 Burroughs 등(1975), Pennsylvania 대학 Chalupa(1975, 1980, 1984), Wisconsin대학 Satter와 Roffler(1975), Satter(1982)가 제안하였고, Cornell 대학 Van Soest 등(1982)과 Fox 등(1982)은 Net protein system을 발표하였다. Burroughs 등(1974)은 대사단백질(MP), 대사성 아미노산(MAA)이 외에도 요소의 잠재적 사료가치(Urea Fermentation Potential : UFP)를 고려하여 각종 사료 중의 MP, MAA 및 UFP를 제시하였고 젖소에서 요구량도 계산하였다.

대사단백질이나 대사성 아미노산은 제일위를 통과한 후 소화흡수된 단백질 또는 아미노산으로 정의하며, UFP는 사료 중의 요소가 체내에서 유익하게 이용 될 수 있는 양을 말하는데 正의 UFP는 섭취한 사료건물 1kg당 요소 g 수로서 제일위내에서 미생물 단백질 합성에 요소가 이용 될 수 있다는 의미이며 負의 UFP는 제일위내에서 미생물 단백질 합성 수준을 초과한 과잉 분해성 단백질을 의미한다. MP, MAA 및 UFP 계산 공식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{MP(g/kg feed DM)} &= (P_1 \times 0.90) + [(P_2 - 15.0) \times 0.80] \\ \text{MAA(g/kg feed DM)} &= (0.9P_1 \times \text{AA}\% P_1) / 100 \\ &+ [(0.8P_2 - 12.0) \times \text{AA}\% P_2] / 100 \end{aligned}$$

$$\text{UFP(g/kg feed DM)} = (1.04 \text{TDN} - P_3) / 2.8$$

여기서 P_1 은 사료 건물 1kg당 소장에 들어가는 비분해성 단백질, P_2 는 사료 건물 1kg당 소장에 들어가는 분해성 단백질로 $\text{TDN} \times 0.104$, P_3 는 사료 1kg당 제일위내에서 분해된 단백질 g수로 표시한다.

다음 표 4는 Burroughs 등(1974)이 제시한 MP시스템과 NRC시스템을 비교한 자료인데 MP 시스템으로 계산 시에는 섭취량/요구량이 110%, NRC 시스템으로 계산 시에는 섭취량/요구량이 80%로서 단백질 요구량이 무려 30%나 NRC요구량에서 과잉 평가 되고 있음을 지적했다. 이러한 차이가 나는 원인은 두 시스템간에 NPN평가법이 다르기 때문이며 요소를 효과적으로 이용 할 수 있는 방법은 제시했지만 2.5kg 이상 산유하는 고능력우는 요소공급이 부적절하고 장기적으로 급여할 수 없기 때문에 단백질 사료로 급여해야 한다고 제안했다. Wisconsin 대학의 Satter와 Roffler(1975)는 MP를 평가하는데 Burroughs 등(1975), Journet와 Verite(1977) 및 Roy 등(1977)이 사용했던 요인시험과는 아주 다른 방법으로서 제일위내 암모니아 농도를 기준으로 하여 암모니아 과잉 공급(ammonia overflow)을 예측, 그 이상의 수준에서는 NPN 이용은 안되고 순단백질태 질소를 공급해야 MP 이용을 극대화할 수 있다는 확설이다. 그러나 미생물 단백질의 최대 효율은 제일위내 암모니아 농도가 5mg $\text{NH}_3\text{-N/}$

Table 4. 젖소에서의 NRC 단백질요구량과 Burroughs 등의 대사단백질(MP) 요구량 간의 비교

유지방 3.5% 550kg 체중 일일사료급여량①	기초 사료 섭취량(kg)			NRC 시스템(kg)			Burroughs 시스템(kg)		
	건물	TDN	조단백질	DCP섭취 (A)	DCP요구량 (B)	A/B (%)	MP섭취 (A)	MP요구량 (B)	A/B (%)
Ration A									
15kg 산유량	11.3	8.7	0.949	0.520	1.045	50	0.627	0.706	89
25kg	15.6	12.0	1.310	0.718	1.525	47	0.860	1.046	82
35kg	19.5	15.0	1.638	0.897	2.005	45	1.078	1.386	78
Ration B									
15kg 산유량	11.5	9.2	1.322	0.828	1.045	79	0.782	0.706	111
25kg	16.0	12.8	1.840	1.152	1.525	76	1.088	1.046	104
35kg	19.9	15.9	2.288	1.433	2.005	71	1.353	1.386	98
Ration C									
15kg 산유량	11.4	8.7	1.186	0.798	1.045	76	0.809	0.706	115
25kg	15.8	12.0	1.643	1.106	1.525	73	1.122	1.046	107
35kg	19.7	15.0	2.049	1.379	2.005	69	1.399	1.386	101
Ration D									
15kg 산유량	11.6	9.4	1.914	1.369	1.045	131	1.103	0.706	156
25kg	15.9	12.9	2.623	1.876	1.525	123	1.512	1.046	145
35kg	19.9	16.2	3.283	2.348	2.005	117	1.892	1.386	137
평균치						80			110

자료: Burroughs 등(1974)

①: Ration A: UFP +9.3, Ration B: UFP + 1.3, Ration C: UFP -0.8, Ration D: UFP -12.1

참고로 하여 미국 시스템을, 프랑스 시스템인 Journet와 Verite(1977), 독일 Kaufmann(1977), 영국 Roy 등(1977)의 시스템을 가지고 소장에 유입되는 아미노산량을 서로 비교하였다(표 5).

이에 의하면 외국의 Burroughs 등(1975)의 모델은 소장에 들어가는 아미노산량을 과소평가 한 것으로 나타났다. 이것은 사료단백질 특히 알팔파와 화분과 목초 단백질이 제일위내에서 분해 안되고 통과되는 양을 낮게 평가한 데서 기인한 것으로 사료된다. 그러나 예외적으로 이 모델은 고단백함유 사료급여시 낮은 아미노산의 통과율을 뒷받침 해 주고 있다. 또한 이 모델은 저열량사료 급여때 보다는 고열량 사료 급여시에 적용하기 좋은 것으로 평가되었다. 특히 미생물 단백질 생산량이 다른 모델에 비하여 가장 낮게 추정 한 것도 아미노산량의 통과율을 낮게 평가 하게 된 원인중의 하나가 될 것으로 생각된다.

프랑스 Journet와 Verite(1977)의 모델은 아미노산 통과율을 예측하는데 적합하다. 그러나 이 모델의 경우에도 고단백질 사료 급여시에, 사료에 요소를 첨가시에,

또는 면양에다 적용시에는 과대 평가되는 경향이 있다. 이 원인은 제일위를 통과하는 사료 단백질량을 과대 평가 하거나 또는 미생물 단백질 생산 효율을 과대 평가 한 데서 올 수도 있다. 이 모델은 사료의 불용성 단백질의 63%가 제일위내에서 분해되지 않고 통과하는 것으로 추정 하고 있다. 그리고 단백질의 용해도는 시험에 이용된 사료의 경우 대부분 이용 될 수가 없어 문헌에 보고된 수치나 추정치를 사용했었다. 또한 면양의 경우에 소 보다 과대 평가된 것은 미생물 단백질 효율을 높게 추정 한 데서 기인 할 수도 있다.

따라서 이 모델의 경우 소와 면양간의 차이와 사료 종류에 따른 분해율이나 미생물 단백질 효율을 더 연구할 필요가 있다고 본다.

독일 Kaufmann(1977) 모델은 아미노산 통과율을 과소 평가한 경향이 있고 면양에서 보다 소의 경우에 더 심한 경향이 나타났다. 이 모델은 저단백질 사료 급여시에 또는 요소 함유한 사료 급여시에 적용하기 좋은 것으로 평가되었는데 이는 사료 단백질의 분해도를 과대 평가한 데서

Table 5. 소장에 들어가는 아미노산 통과율(AAF)을 측정 한 값과 추정치 간 비교

추정 방정식	연구자	평균치
	모든사료(n=120)	
AAF	실제 측정치	318
AAF = -16.64 + 1.37	추정치 Burroughs 등(1975)	244
AAF = -10.60 + .99	Journet와 Verite (1977)	331
AAF = -14.39 + 1.14	Kaufman (1977)	291
AAF = -24.14 + 1.26	Roy 등 (1977)	271
AAF = 1.50 + .98	Satter와 Roffler(1975)①	324
AAF = 2.75 + .98	Satter와 Roffler(1975)②	321
AAF = -22.81 + .86	조단백질 섭취기준	397
	면양에 급여한 사료(n=94)	
AAF	실제 측정치	104
AAF = 24.85 + .94	추정치 Burroughs등	84
AAF = 14.30 + .76	Journet와 Verite	118
AAF = 13.79 + .88	Kaufmann	103
AAF = 16.15 + .92	Roy 등	96
AAF = 14.87 + .84	Satter와 Roffler①	107
AAF = 11.02 + .89	Satter와 Roffler②	105
AAF = 23.59 + .53	조단백질 섭취기준	152
	소에 급여한 사료(n=26)	
AAF	실제 측정치	1093
AAF = -144.09 + 1.50	Burroughs등	823
AAF = 28.24 + .97	Journet와 Verite	1100
AAF = -33.97 + 1.16	Kaufmann	971
AAF = -194.77 + 1.42	Roy 등	906
AAF = 26.45 + .96	Satter와 Roffler ①	1108
AAF = 30.04 + .96	Satter와 Roffler ②	1102
AAF = 22.14 + .84	조단백질 섭취기준	1280

추정 방정식	연구자	평균치
저단백질 사료급여(10%이하: n=16)		
AAF	실제 측정치	172
AAF = 1.46 + 1.00	Burroughs 등	171
AAF = .09 + .96	Journet와 Verite	179
AAF = -2.12 + 1.06	Kaufmann	164
AAF = 1.35 + 1.00	Roy 등	171
AAF = -.73 + .97	Satter와 Roffler①	178
AAF = 1.05 + .96	Satter와 Roffler②	179
AAF = -.79 + .88	조단백질 섭취 기준	197
고단백질 사료급여(16%이상: n=59)		
AAF	실제 측정치	323
AAF = -10.97 + 1.45	Burroughs 등	231
AAF = -9.89 + .97	Journet와 Verite	342
AAF = -12.58 + 1.14	Kaufmann	295
AAF = -22.32 + 1.31	Roy 등	264
AAF = 4.50 + .97	Satter와 Roffler①	328
AAF = 8.36 + .97	Satter와 Roffler②	324
AAF = -34.36 + .85	조단백질 섭취 기준	422
고열량 사료급여(질소가 미생물 성장에 제한요인: n=18)		
AAF	실제 측정치	269
AAF = -5.83 + 1.13	Burroughs 등	244
AAF = -6.45 + 1.07	Journet와 Verite	258
AAF = -7.99 + 1.15	Kaufmann	240
AAF = -5.11 + 1.10	Roy 등	249
AAF = -7.06 + 1.08	Satter와 Roffler ①	256
AAF = -5.63 + 1.06	Satter와 Roffler ②	258
AAF = -6.98 + .97	조단백질 섭취 기준	284
저열량 사료급여(열량이 미생물 성장에 제한요인: n=102)		
AAF	실제 측정치	327
AAF = -17.52 + 1.41	Burroughs 등	244
AAF = -12.99 + .99	Journet와 Verite	344
AAF = -15.78 + 1.14	Kaufmann	300
AAF = -26.37 + 1.28	Roy 등	275
AAF = 1.03 + .97	Satter와 Roffler①	336
AAF = 2.66 + .98	Satter와 Roffler(1975)②	332
AAF = -28.83 + .85	조단백질 섭취 기준	417

자료: Satter (1982)

①: 단백질 분해율을 고정시켰음 ②: 단백질 분해율을 다양하게 적용함

을 수 있다.

영국 Roy 등(1977)의 모델은 아미노산 통과율을 과소 평가했다. 이는 대부분 사료의 불용성 단백질 함량을 불과 20%로 너무 낮게 추정한데서 유수 있다. 또한 Roy 등(1977)은 미국 Burroughs 등(1975)의 모델과 면양의 경우에 Satter와 Roffler(1975)의 모델을 제외하고는 다른 모델에 비하여 미생물 단백질 생산량을 상대적으로 낮게 적용한 것으로 나타났다. 그러나 Roy등의 모델은 소의 경우에는 낮게 평가됐지만 면양의 경우에는 아미노산

통과율을 적절하게 평가했다.

미국 Satter와 Roffler(1975) 모델은 아미노산 통과율을 예측하는데 가장 정확하였다. 이 모델은 사료단백질의 분해도를 고정시키지 않고 다양하게 적용시키므로서 개선된 것으로 보인다. 실제 측정치와 추정치간의 상관관계가 아주 높고, 소와 면양의 경우에 미생물 단백질 합성 효율이 다를수 있다는 견해를 나타냈다. 표 5에서 보는 바와 같이 조단백질 섭취량을 기준으로 하였을 때는 소장 에 진입하는 아미노산 통과율을 과대 평가했고, 저단백

질, 저에너지 사료 급여시 질소가 미생물단백 생산에 저해 요인이 된 경우에는 106% 과잉 평가되는데 비하여 요소를 함유한 사료의 경우는 185%나 과잉 평가됐다. 고단백질 사료 급여시에도 전반적으로 조단백질 섭취량을 기준으로 했을때 아미노산 통과율을 실제 측정치보다 높게 추정된 것으로 나타났는데 이는 조단백질 만으로는 사료 단백질을 평가하는데 적절하지 못하다는 것을 입증한다. 이상에서 논한 서로 다른 모델들이 동물의 능력, 평가시험을 실시한것이 아니기 때문에 어느 한 모델이 다른 모델보다 탁월하다고 할 수는 없고 모든 모델들이 개선 할 필요가 있으며, 공통적으로 아미노산 통과율을 측정하는 것이 조단백질을 가지고 평가하는 것보다는 훨씬 나은 평가법으로 지적돼 반추동물의 표준요구량을 정하는데 과거 NRC요구량에서 사용된 조단백질 개념이 적합하지 못하므로 이에 대한 재 평가방향을 제시했다는 점에서 학문적 의의가 크다. 이상 대부분의 모델에서 대사단백질(MP)량은 개개 사료단백질과 미생물 단백질에서 오는 대사단백질의 합계에 의해서 얻어지는데 이러한 연구방향은 이론에 적합하며 전통적인 요인시험 방법을 이용한다. 그러나 사료단백질 분해도나 미생물 단백질 합성량이 변이가 다양하고 정확한 수치를 얻기 힘들기 때문에 시험 오차가 더 커질수 있다. 따라서 Wisconsin 시스템에서는 단백질 함량이 낮은 사료의 단백질 분해율을 결정 할 필요가 없고, 미생물 단백질합성 평가에도 의존 할 필요가 없다. 대신에 단백질 분해율이나 미생물 단백질 합성에 영향을 미치는 제일위내 암모니아 농도에 기초를 두고 평가했는데 이러한 방법은 전통적인 연구 방법과는 다르다는데 불리한 점이 있지만, 방법이 비교적 간단하고 그 밖의 신뢰성있는 단백질 분해율 측정법 및 미생물 단백질 합성 측정법이 개발될 때까지는 비교적 정확성이 높을 것으로 Satter(1982)는 결론 지었다.

미국 Cornell대학의 Van Soest 등(1982)은 Burroughs 등(1975)이 제안한 대사 단백질(MP) 시스템이 이론적으로는 우수하지만 실제로 소장에 도달하는 아미노산량을 정확히 예측하기가 어렵다는 문제를 지적했다. 왜냐하면 소장에 도달하는 사료단백질 및 미생물 단백질 모두가 제일위내 통과속도나 정체시간에 영향을 받으므로 아미노산량에 영향을 미치는 주요 요인이 통과율이고 제일위내 발효는 덜 중요시된 점은 반추동물의 단백질 대사가 사료 단백질의 질과 독립적이라는 점을 무시한 것이기 때문이다. 따라서 Van Soest 등(1982)은 통과율과 제일위내 소화율을 기초로 제일위내 단백질 대사 모델(rumen submodel)을 제안했다. 이 시스템에서는 첫째로 사료단백질의 분해농도 (매우 높은 가용성 부분 A, 가용성 부분

B₁, B₂, B₃ 및 불용성 부분 C), 둘째로 쉽게 이용할 수 있는 탄수화물과 잠재적 가스화유기물(Potential digestible organic matter: PDOM)의 농도, 셋째로 각 단백질, 탄수화물, PDOM에 대한 소화율, 넷째로 고형분 식피와 액상분의 통과율에 대한 자료를 필요로 한다. 그러나 이 모델에서 사용된 PDOM=100-(2.4 lignin + 무기물) 공식에서 리그닌은 소화가 안되는 것으로 가정했으나 혐기적 곰팡이가 제일위내에서 서식하여 리그닌도 분해 가능하다는 것이 보고됐기 때문에(Bauchop, 1981; Akhin 등, 1983), 또한 제일위내 미생물 단백질 생산량 추정공식 역시 PDOM에서 유래된 제일위내 진정 유기물의 소화율(True fermented organic matter: TFOM)을 기준으로 했기때문에 이 모델의 활용은 재고 되어야 한다.

미국 Cornell 대학 Fox 등(1977)은 성장우나 비육우의 단백질요구량을 추정하는데 처음으로 Net protein 시스템을 제안하였다. 이 시스템을 광범위한 조건하에서 정확하고 유용하게 사용하기 위해서는 적어도 다음 세가지 사항을 고려해야 하는데 첫째는 유지, 중체, 우유생산과 임신에 필요한 실제 Net protein 요구량을 정확하게 평가해야 한다. 그러므로 체조직에 대한 화학적 분석자료 및 우유중의 단백질함량을 기준으로 해야한다. 둘째는 급여사료 중 개개 단미사료에 대한 Net protein치를 정확히 계산해야 되는데 이를 위해서는 제일위내 분해도, 재합성, 소장내에서 소화흡수, 흡수된 단백질의 이용효율 등을 고려해야 한다. 단미사료의 Net protein치는 이상에서 언급된 요인들의 상호작용 때문에 각각 급여사료에 대해서 계산해야 되므로 사료 성분표상의 Net protein치는 실제적으로 이용에 한계가 있다. 셋째는 첨가해야 할 단백질의 필요량은 개개 단미사료의 화학적 분석을 통하여 측정해야 되는데 실제 사료배합시 문제점은 원산지 농장별로 질적, 양적으로 단백질의 가치가 다양한데 있다. 그러나 이상의 요인들을 고려한다 하더라도 소의 품종별 요구량이나 단미사료의 더욱 정확한 Net protein치를 얻기 위하여는 더욱더 상세한 연구가 필요한데 첫째, 개념적으로 생리적 기능과 관련된 매우 정확한 모델을 개발하고, 응용하기 쉬운 실험실에서의 분석 방법중 하나가 사료 가치를 조정하는데 이용 될 수 있어야 하고 둘째, 사료와 생리적 기능과의 관계에 있어 가장 영향을 미치는 요인들을 분석하기 위한 컴퓨터 프로그램을 개발해야 하며 셋째, 프로그램의 정확도 평가를 위해 동물사육 시험을 통하여 판정해야 하며 마지막으로 다양한 농장조건에서 응용가능한 Micro-Computer용 프로그램도 개발되어야 한다.

성장을 위한 Net protein요구량은 다음 공식에 의하여 계산한다. 즉, Net protein 요구량=(0.235-0.00026W)

단위: 특수표시없는것은 비율

Table 6. 반추동물에서 흡수단백질 이용성에 영향 미치는 가정된 요인

요 인	부 호	미국 (1978)	미국 (1975)	미국 (1982)	미국 (1980)	미국 (1982)	영국 (1980)	덴마크 (1979)	프랑스 (1979)	독일 (1979)	스위스 (1979)
단백질 섭취량 / 건물	IPDM	다양성	다양성	다양성	다양성	다양성	다양성	다양성	다양성	다양성	다양성
이용불능단백질 / 섭취단백질	IIPIP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
불해성단백질 섭취 / 섭취단백질	UIPIP	-	다양성	0.34	다양성	다양성	다양성	다양성	다양성	0.30	다양성
가해성 단백질 섭취 / 섭취단백질	DIPIP	-	다양성	0.66	다양성	다양성	다양성	다양성	다양성	0.70	다양성
미생물조단백질 / 가해성 섭취단백질	BDDIP	1.00	1.00	1.05	1.00	1.00	1.00	0.90	1.00	1.00	1.00
미생물조단백질 / 외견상 발효된 유기물	BDFPOM	-	0.25	-	0.15	0.18	0.22	0.20	-	0.20	-
발효된 유기물 / 외견상 소화된 유기물	FOMDOM	-	0.52	-	0.65	0.65	0.68	0.68	-	0.68	-
미생물조단백질 / 소화된 유기물	BCPDOM	-	0.13	0.13	0.09	0.12	0.15	0.13	0.13	0.13	0.13
소화된 유기물 / 건물	DOMDM	다양성	다양성	다양성	다양성	다양성	다양성	다양성	다양성	다양성	다양성
미생물 순단백질 / 미생물 조단백질	BTPBCP	-	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	-
소화성 미생물 순단백질 / 미생물 순단백질	DBPBTP	-	0.80	0.80	0.75	0.70	0.76	0.90	0.70	0.90	-
소화성 미생물 순단백질 / 미생물 조단백질	DBPBCP	0.75	0.64	0.64	0.60	0.56	0.64	0.72	0.56	0.72	0.68
해산태 조단백질 / 미생물 조단백질	NCPBCP	-	0.20	0.20	0.20	0.20	0.15	0.20	0.20	0.20	-
소화성 해산태단백질 / 해산태 조단백질	DNPBCP	-	-	-	1.00	-	0.85	0.43	-	0.43	-
소화성 불해성단백질 / 불해성 섭취단백질	DUPUIP	0.75	0.90	0.87	0.75	0.70	0.87	0.90	0.78	0.90	0.85
대사성 분단백질 ①	FPN, FPA	FPN= 0.068, FPA= 0.012	FPN= 0.012, FPA= 0.012	FPN= 0.012, FPA= 0.012	FPN= 0.030, FPA= 0.030	FPN= 0.030, FPA= 0.030	FPN= 0.12, FPA= 0.12	FPN= 0.057, FPA= 0.057	FPN= 0.057, FPA= 0.057	FPN= 0.026, FPA= 0.026	FPN= 0.017, FPA= 0.017
		IDMI	DMI	DMI	DMI	DMI	DMI	DMI	IOMI	DMI	DMI

자료: NRC(1985)

① FPN=순대사성 분 단백질(Metabolic fecal protein net)

FPA = 흡수된 대사성분단백질(Metabolic fecal protein absorbed)

IDMI=indigestible DM intake, IOMI=Indigestible OM intake

Table 7. 반추동물의 유지, 우유생산, 체중변화에 따른 흡수된 단백질의 요구량에 영향을 미치는 가정된 요인

유 지	부 호	미국 (1978)	미국 (1975)	미국 (1982)	미국 (1980)	미국 (1982)	영국 (1980)	덴마크 (1979)	프랑스 (1979)	독일 (1979)	스위스 (1979)
MPA α											
A. 대사성단백질 공식	MPN	0.68DMI	0	0	.010DMI	0	0	0	②	0	0
생산량(g/600kg)	FPN	144	0	0	64	0	0	0	0	0	0
B. 내생노 단백질 공식③	UPA./UPN	UPN=2.75W ^{0.5}	UPN=88W ^{0.73}	UPA=2.4W ^{0.74}	UPN=938W ^{0.75}	UPN=88W ^{0.73}	①	UPA=.75W ^{0.73}	0	-	-
생산량(g/600kg)	-	UPN=67	UPN=96	UPA=291	UPN=114	UPN=96	UPN=60.62	UPA=80	0	UPA=110	-
C. 체표면 단백질 공식	SPA,SPN	SPN=2W ^{0.65}	0	0	SPN=2W ^{0.65}	0	SPN=0.1125	0	SPA=3.25	0	-
생산량(g/600kg)	-	SPN=9	0	0	SPN=9	0	SPN=13.75	0	SPA=39.5	0	-
D. 총이용단백질(Net)(g/600kg)	MPN	220	96	-	187	96	75	-	-	-	MPA=.9W ^{0.75}
효율	MPNMPA	.60	.47	-	.70	.60	75	-	-	-	-
총 흡수단백질(g/600kg)	MPA	367	205	291	267	162	100	80	395	110	-
생 산											
A. 산유단백질	LPN	.019+.4F	.028-.034	.030	.019+.4F	-	.03	.034	.033	.035	-
이용단백질(Net)④	LPNLPA	.70	.95	.60	.70	.70	.75	.56	.67	.70	-
효율	LPA	.047	.030-.036	.050	.047	-	.04	.064	.050	.050	.05
생산량(gAP/30kg)	-	1,414	990	1,500	1,414	-	1,200	1,920	1,500	1,500	1,500
B. 임신 단백질	YPN	1.136W ⁷	-	-	1.136W ⁷	-	⑤	-	-	-	-
공식	YPN	100	-	-	100	-	-	-	-	-	-
생산량(g/600kg)	YPNYPA	60	-	-	.70	-	.75	-	-	-	-
효율	YPA	167	107-157	-	143	-	-	-	205	-	-
C. 미유중 체중변화	NP	.225G	-	.15G	-	.15G	.15G	.12G	-	-	-
체중 공식(kg/일)⑥	NP	.144G	-	.15G	-	.15G	.112G	.12G	-	-	-
체중감소 공식	NPAP	.60	-	.60	-	.60	.75	-	-	-	-
효율	RPN	.16-.19G	.11-.15G	-	.11-.15G	-	⑦	-	.135-.186	-	-
D. 성장률 위한 조직단백질	RPNRPA	.45	.47	-	.60	.60	.75	-	.60	-	-

자료: NPC (1985)
 ① UPN=6.25(5.9206 log 10⁷-6.76) for cattle, 6.25(0.02348W+0.54) for sheep ② 대사성분 결소=0.143 발육성 결소=0.0091 비소화성 OM ③ 체중단위 = kg 단위
 ④ Fractional protein=0.019+0.4F 여기서 F는 fractional fat ⑤ YPN=Conceptus protein in net(임신 단백질), g/일=TP×0.03437e^{-0.00022x} 여기서 TP=3.707-5.699e^{-0.00022x}
 임신일령 ⑥ G=gain ⑦ TP=G(1.68.07-0.16869W+0.0001633W²)(1.12-0.1223G) 여기서 G=일당증체(kg), W=생체 중이며 Tissue protein gain 단위는 g/일이다.
 ⑧ NP=(0.235-0.00025W)G 여기서 W는 생체중, G는 증체(kg/일)

(DG), 여기서 DG는 예상 일당 증체량(kg), W는 equivalent weight(kg)인데 Fox 등(1977)이 환경, 품종, 체중과 성별을 고려하여 실제 체중을 equivalent weight로 환산한 것으로 이는 동일한 체조성을 가진 평균 체중을 계산하는데 필요한 조정인자(adjustment factor)를 사용하여 품종에 따라 개개의 방정식을 사용하는 번잡함을 단일화한 특징이 있다. 실제 체조성과 방정식에 의해 유도된 체조성과는 아주 유사한 결과를 얻었으나 사료내 에너지수준이 단백질 요구량에 영향을 미치는 것으로 나타나 사일래지를 많이 급여했을때는 방정식에 의한 단백질 증가 예측이 정확한데(예측치: 14~14.5%, 실측치: 14.2%)비해 이유시 부터 과다한 농후사료를 계속 급여하였을 때는 단백질 증가율이 과잉 평가됐다(예측치: 14~14.5%, 실측치: 13%), 그러나 이러한 차이는 요구량보다 사료의 조단백질을 0.5%정도만 과대 평가한 것으로서 낮은 오차로 인정된다.

다음 표 6과 7은 흡수된 단백질의 이용성에 미치는 요인에 관한 자료로서 미국의 NRC (1978)표준과 4가지 새로운 미국 시스템 즉, Burroughs (1975a,b;Trenkle, 1982), Satter(1982; Satter와 Roffler, 1975), Chalupa (1975, 1980), Cornell시스템(Fox등, 1982; Van Soest 등, 1982)과 유럽시스템인 영국 ARC(Roy등, 1977; ARC, 1980), 프랑스 PDI시스템(Verite등, 1979), 독일 Kaufmann (1977), 스위스 Landis(1979), 덴마크의 Danfaer 시스템(1979, 1980)을 요약하였다.

3. 반추위내 질소대사

가. 반추위 미생물에 필요한 질소원

1) 사료 단백질의 분해도

반추위 미생물에 필요한 중요한 질소는 주로 사료 단백질과 NPN으로부터 공급된다. 반추위 미생물은 단백질을 분해 할 수 있는 능력이 매우 높아 반추위에 들어온 대부분의 사료 단백질을 펩타이드(peptides)와 아미노산으로

분해하고, 그 대부분은 아미노기가 이탈된다. 미생물이 질소 이용시 암모니아 형태나 아미노산기 형태나에 관해서는 다소 이견이 있다.

요소를 유일한 질소원으로 공급했을 때도 생존이 가능하다는 보고는 많다. 그러나 NPN만을 함유한 사료를 급여시 최대 미생물 성장과 생산효율을 얻을 수 없음을 의심의 여지가 없다.

Maeng과 Baldwin(1976), Harrison과 McAllan(1980), Nolan등(1976) 및 Hume(1970) 등이 이에 대한 연구 보고를 했지만 미생물 성장을 위해서는 NPN과, peptides, 아미노산이 모두 필요하기 때문에 일률적으로 설명 할 수는 없다. 만일 반추위 미생물이 성장을 최적화 하는데 필요한 정도만 단백질을 분해한다면 질소원의 이용효율을 극대화시킬 수 있다. 이를 위해서는 일일 증분해도의 변화가 다양하고, ATP의 이용성과 질소원간에 동시성의 결여 문제들을 해결해야만 한다. 그러나 단백질 분해 미생물은 소량이긴 하지만 단백질을 분해시켜 열량원으로도 이용하므로 가능한한 빠르게 단백질 분해가 진행된다. 그러나 그 정도는 미생물 자신의 활동성이나 축체자신의 생리적 현상에 의해 영향을 받는다. 단백질 분해능력은 단백질 사료를 경구투여 혹은 제일위케놀라를 통하여 투여한 후에 반추위내 암모니아 생성곡선에 의하여 측정할 수 있으며 제일위내에서 단백질사료가 있는 나일론백을 이용 배양시켜서 용이하게 측정할 수 있다.

(가) 제일위 pH가 사료 단백질의 분해에 미치는 영향
 첨가한 단백질의 분해도는 반추위내 환경여건에 따라 다양한데 그 주요인은 섬유소 분해율의 높고 낮음이다. 이런 현상은 특히 식물성 단백질을 급여 했을 때가 동물성 단백질을 급여 했을 때보다 특히 중요한데 Ganer 등(1980)은 보리와 건초를 급여한 면양의 제일위내에서 다양한 단백질 사료원을 배양한 실험을 통하여 이런 현상을 설명하였다. 그 시험결과는 다음 표 8과 같은데 건초를 급여한 면양의 제일위내 평균 pH는 6.15였고, 보리를 급여했을 경우에는 pH가 5.74였다.

Table 8. 면양의 제일위내 pH를 달리했을때 시간별 단백질원에 따른 단백질의 분해도①

배양시간	대두박		땅콩박		해바라기씨박		어분	
	보 리	건 초	보 리	건 초	보 리	건 초	보 리	건 초
3	22.9	38.4	27.5	36.1	32.6	52.1	42.8	41.3
6	30.6	50.6	40.9	60.8	43.7	64.0	47.2	47.8
9	39.7	59.2	49.8	65.2	53.4	77.5	55.7	50.3
15	47.4	78.7	65.9	89.7	65.7	84.5	62.0	55.6
24	61.7	89.0	82.0	95.1	79.9	91.9	71.5	68.0

자료: Ganey 등(1980)

① 보리급여시 평균 제일위 pH는 5.74, 건초구는 pH 6.15

표 8에서 보는 것처럼 대두박의 경우 섬유소 분해가 낮은 환경에서(pH 5.74)보다 높은 환경(pH 6.15)에서 대두박 단백질이 급속하게 분해된다는 사실을 명확하게 제시했다. 이와 유사한 결과는 Mehrez(1977) 및 Mohammed와 Smith(1977)에 의해서도 보고됐다. 이런 차이가 왜 발생하는가는 식물성 단백질 사료내 헤미셀룰로스나 셀룰로스 함량이 낮으면 분해 공격으로부터 보호할 수 있는 방어력이 낮음에서 기인된 것인지 확실치 않고, 사료내 조사료 비율과 분해도와와의 관계도 완전히 이해되고 있지 않으나 사료내 곡류사료 비율이 많을 때는 제일위내 pH가 산성쪽으로 기울어져 섬유소 분해를 억제시키기 때문에 단백질 분해율이 영향받을 가능성은 확실하다.

(나) 암모니아 농도와 단백질 분해율과의 관계

단백질 분해율이 위내 암모니아 농도가 낮을때 촉진된다면 유익할 것이다. 그러나 Wallace(1979)의 연구에 의하면 글루텐의 분해율은 암모니아 농도가 높은 수준(13.39mM)에서 보다 낮은 수준(6.13mM)에서 역시 낮게 측정되었는데, 이는 질소가 제한된 배지 혹은 위내에서는 미생물수가 감소한데 기인한 때문이다.

(다) 단백질 분해도와 반추위 환경에 관련된 다른 요인들

단백질의 분해율이나 그 정도에 영향을 미치는 반추위내 환경요인에 관해서는 연구 돼야할 과제가 아직 많이 남아있다. Kovalczyk 등(1977)은 유리지방산 농도가 단백질 분해를 감소시킬 수 있는 반면에 통과속도도 단백질 분해율에 영향을 미칠 수 있다고 하였다. 그러나 고형물이나 액상성분의 통과속도가 어느 정도로 단백질 분해율에 영향을 미치는지는 잘 알려져 있지 않지만 앞으로 단백질 분해율에 미치는 영향 등도 규명될 것으로 본다. 단백질 분해율에 영향을 미치는 요인들에 관한 더 완전한 이해는 이용효율의 최적화를 위해 분해율을 조절할 수 있는 방향으로 연구가 될 것이다. Chalupa(1980)는 제일위내 미생물 발효 및 대사를 조절할 수 있는 몇가지 화학적 제제에 관해서 요약, 보고했다. 화학적 제제로는, Ionophores, monensin, lasalocid, A-28086 factors A and B, Salinomycin, dianemycin, nigericin, Gramicidin 등이 있다. 이들 Ionophores의 생리적 특징으로는 Na, K, Ca과 같은 양이온이 세포막을 통과하는 운동을 조절할 수 있다는데 있다. 그밖에 Halogen 화합물, Diaryliodonium 화합물, 항생제, 항프로토조아 제제등 다수 있으나 이들 조절물질에 관해서는 다른 Chapter에서 논하기 때문에 생략한다. 여기서 다만 확실한 것은 반추위내 가장 중요한 질소원은 사료 단백질로 본다는 사실이며 분해도의 차이

는 위내 환경적요인의 차이와 단백질 분해효소의 작용에 대한 저항성의 차이에서 기인될 수 있다는 결론을 내릴 수 있다.

2) 타액 및 혈액을 통한 요소의 재순환

요소는 타액을 통해 재순환되어 미생물의 성장을 위해 사용된다는 것은 오래전 부터 알려졌다(Harris와 Phillipson 1962). 요소가 타액을 통하여 재순환되는 정도는 혈액내 요소농도 및 분비되는 타액량과 직접적으로 비례한다고 보고했다(Baily와 Balch, 1961; Nolan과 Leng, 1972). 분비되는 타액량은 사료의 물리적 성상에 크게 영향을 받는데 예로써 입자도가 긴 섬유소가 많으면 타액량도 증가한다(Kay, 1960). 혈액내 요소의 농도는 흡수된 아미노산이 산화되는 정도 및 제일위로 부터 암모니아가 흡수 되는 정도에 영향을 받으므로 미생물 자신의 요구량이나 동물자신의 요구량에 관한 사료내 질소함량 균형여부가 혈액내 요소농도를 크게 좌우한다. Nolan과 Leng(1972)은 면양에서의 타액중 요소는 제일위로 들어가는 요소의 대부분에 상당한다고 주장한 반면 Kennedy와 Millgan(1978)은 면양에서 제일위로 들어가는 요소는 일일 7.3gN인데 그중에서 15%만이 타액의 요소형태로 전환되고 나머지 대부분은 혈액중 요소로 제일위에 들어간다고 보고했다.

3) 제일위내 상피세포로부터 오는 내생질소

상피세포로부터 제일위내 들어오는 진정한 내생질소에 관한 연구는 보고되지 않았다. 그러나 제일위 상피세포는 항상 반추위내 세포벽으로 둘러싸인 내강으로 떨어져 나오며, 이 떨어져 나온 부분이 질소원으로 이용될 수 있다. 실제로 상피세포의 탈락이나 마멸된 정도를 정량적으로 측정하기는 매우 어렵다. 그러나 Rowett연구소의 Orskov 등(1980)은 Intra gastric nutrition technique을 이용하여 암모니아와 확실히 구별된 다른 형태의 질소가 제일위로부터 얼마나 이동되는지 면양, 송아지, 젖소에서 측정하였다(표 9). Intra gastric nutrition에서는 필요량 영양소를 제일위와 4위로 공급하고 입으로는 사료를 안먹

Table 9. Intra gastric infusion에 의하여 무질소용액을 제일위내 계속 투입한 후 제일위로부터의 NAN 통과량

측종별	생체중(kg)	제일위를 떠나는 NAN①량(g/일)
면 양	25	1.4
송아지	200	5.1
젖 소	600	8.3

자료: Orskov 등(1980)

① NAN=Non-ammonia N

기때문에 제일위내 사료 단백질이나 미생물은 전혀없이 상피세포로 오는 마멸된 NAN(non-ammonia N)을 미생물이나 사료 중 NAN과 구별 측정이 가능하다.

나. 사료 단백질의 분해율 측정방법

혈액이나 타액 또는 상피세포로부터 질소가 재순환된 다 하더라도 사료 중 미생물에 의해 분해되는 단백질 함량이 가장 중요하므로 분해율 측정방법을 설명한다.

1) 반추위로 통과한 후 측정하는 in vivo 방법

(가) Re-entrant cannula를 십이지장에 장치한 동물사용

12지장에 장치한 재입투관(re-entrant cannula)으로부터 모든 식이(액상+고형물)를 채취하는 방법이 소장에 들어가는 질소량을 측정하는데 가장 정확하다. 보통방법은 24시간 동안 시료를 계속 채취하며 필요한 시료는 면양의 경우 500ml, 소는 2리터 정도 채취하고 나머지는 미리 채취한 동일한 식이와 같이 37℃에서 가온후 다시 주입시킨다. Axford 등(1971)은 자동적으로 시료를 채취할 수 있는 방법을 고안했으나 십이지장이나 췌장 등에 캐눌라수술이 용이하기 때문에 지금은 자동기계를 잘 사용하지 않는다. 사료중에 Cr₂O₃등 표시제를 포함시켜 100% 회수율로 환산하며, 미생물 단백질을 분리하고, 총 십이지장 질소와 미생물대 질소와의 차이를 사료 단백질로 계산한다.

(나) 4위에 single cannula를 사용한 측정

이 방법은 수술이 더 용이하고 동물을 관리하기가 쉬운 점이 있다. 24시간 혹은 48시간 동안 두시간 간격으로 시료를 채취하여 냉동보관후에 시료 중 표시제 Cr₂O₃ 농도를 측정하여 계산하나, 사양시스템이 일일 2회 급여 시에는 실험오차가 크기 때문에 연속 자동사료급여 장치

를 이용하여 1시간 또는 2시간 간격으로 사료를 급여하여 위내 조건을 언제나 균일하게 유지시킬 필요가 있다.

2) 나일론백을 사용한 분해율 측정과 통과율

사료단백질이나 기초사료 중 단백질의 분해도 측정은 Mehrez와 Orskov(1977)에 의하여 나일론백을 사용한 측정기술을 정립했는데 다른 장에서 논하기 때문에 여기서는 간단히 언급한다. Ganev 등(1979)은 다음 공식에 의하여서 사료 단백질의 분해율을 통과속도에 따라 측정하였다.

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

여기서 P는 단백질의 분해율이고, a는 0시간때의 가용성 부분, b는 주어진 시간내 분해된 양, c는 fractional rate의 상수로서 기율기에 해당되며, t는 시간을 의미한다. 표10은 나일론백을 가지고 제일위내에서 발효시킨 후 측정된 분해율로서 통과율에 따라 분해율을 앞에서 언급된 공식에 의해서 계산한 것이다. 즉, 사료 단백질의 분해율은 일정하게 정하여진 상수(constant)는 아니며, 항상 제일위내 머무는 시간에 따라 다르기 때문에 기초사료의 특성, 말하자면 농후사료 위주나 조사료 위주나 또는 농후사료와 조사료의 비율에 의해서도 다르고 사료의 입자도, 물리적 형태에 의해 통과속도가 차이가 있기 때문에 사료 단백질의 분해율 측정시에 통과속도에 대한 자료가 동시에 측정되지 않고서는 분해율 측정 의미가 없다. 통과율은 측정하기위해서는 제일위 액상부분(liquid flow)의 통과는 Cr-EDTA, C⁵¹-EDTA, C¹⁴-CrEDTA, PEG(분자량 4000) 등을 표시제로 사용하고, 제일위내 고형분(solid flow)의 통과는 Cr₂O₃, ¹⁰⁸Ru-Phenanthroline, Cerium 등을 사용해서 측정한다. 또는 Mordanted fish meal을 사용하여 측정하는 방법이 보고되었다(이 남형-

Table 10. 목건초를 급여했을 때 사료단백질의 분해율(%)

사 료 명	a	b	c	시간당 통과율 (K)							
				0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10
어분(신선·가공)①	6.2	16.9	0.076	22.9	22.7	22.4	22.2	22.0	21.9	21.5	21.1
어분(약간 변질)①	39.0	48.7	0.017	70.0	61.7	56.9	53.8	51.6	50.0	47.7	46.2
어분(압착 가공)①	1.2	21.4	0.013	19.9	18.0	16.4	15.0	13.9	12.9	11.3	10.2
대 두 박②	6.2	80.1	0.082	91.2	84.2	78.5	73.7	69.6	66.1	60.4	55.9
땅 콩 박②	7.2	92.8	0.128	93.2	87.4	82.3	77.8	74.1	70.3	64.3	59.3
해 바 라 기 박②	56.4	43.6	0.201	97.9	96.1	94.3	92.8	91.3	90.0	87.6	85.5
면 실 박②	32.2	60.2	0.082	85.8	80.6	76.3	72.6	69.6	67.0	62.7	59.3
대 두 박③	46.7	53.3	0.076	93.8	89.0	85.0	81.7	78.9	76.6	73.4	69.7
북 해 어 분③	36.6	63.4	0.018	77.2	66.4	60.3	56.1	53.3	51.1	48.2	46.2
Protected 대두박③	23.3	76.7	0.056	88.3	79.7	73.1	67.9	63.7	60.2	54.7	50.7

자료:① Mehrez, Ørskov and Obstvedt(1980)

② Ganev, Ørskov and Smart(1979)

③ 이남형, Ørskov, 김춘수(1982)

Orskov 1982), Ganev, Orskov and Smart, 1979).

다음 그림 3은 알칼리 처리 보리짚을 100% 급여시에 어분의 통과속도를 측정 한 시험인데 시간당 통과율(k)은 평균 0.037, 제일위내 체류시간은 27시간으로 측정되었다. 이때 회귀방정식은 $Y=1.712-0.037X$ 로 유도되었으며 chromium mordanted fish meal을 표시제로 사용하면 fistula 수술을 안해도 되기때문에 자연상태에서 고행분의 통과율을 측정할 수 있는 장점이 있다. 제일위내 cannula를 장치한 면양의 경우에 $C^{60}-Cr$ EDTA를 사용하여 액상 부분의 통과율을 측정 한 자료는 그림4에 제시된 바와같고 (이남형, 암스트, 1985), 제일위 용적 및 제일위내 체류시간에 관한 자료는 표 11에 제시됐는데 이때 제일위내 dilution rate는 다음 공식에 의하여 계산 하였다.

$$\text{Dilution rate} = \frac{\text{natural log of } Z}{\text{Time } 1/2}$$

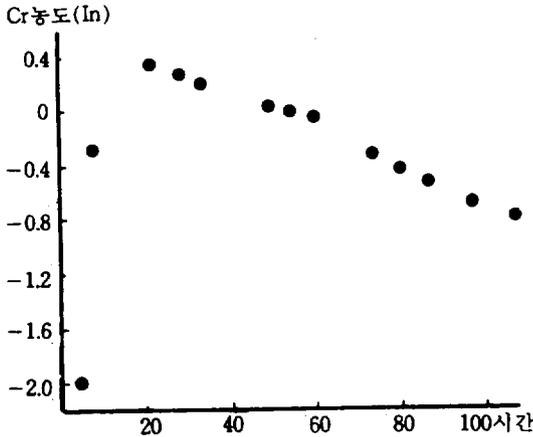


Fig 3. Grab sampling에 의한 Cr mordanted fish meal 의 시간에 따른 Cr함량(이남형: 오스코프, 1982)

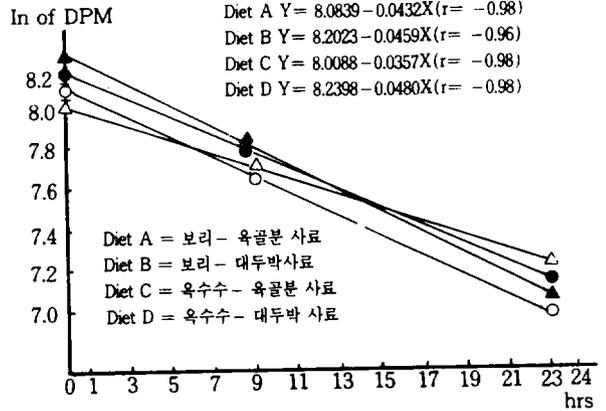


Fig 4. 동위원소 $C^{60}-Cr$ EDTA를 이용 통과율 측정 을 위한 회귀방정식(이남형: 암스트, 1985)

다. 미생물 단백질 합성

제일위내에서 합성된 미생물 단백질은 축주 자신에 중요한 아미노산공급원이 된다. 제일위를 떠난 미생물 단백질은 소장에 도달하여 소화 흡수되는데 이에 대한 연구보고는 1970년대에 들어서 활발히 연구가 시작되었고 연구현황 요약도 많이 보고되었는데 Hume(1970), Hume 등(1970), Hume과 Bird(1970), Harrison 등(1975), McMeniman 등(1976), Amos와 Evans(1976), Harrison 등(1976), Cole등(1976), Kenneddy등(1976), Satter와 Roffler(1977), Kropp 등(1977), Oldham 등(1977), Buttery(1977), Offer 등(1978), Steam 등(1978), Kennedy와 Milligan(1978), Playne 등(1978), Ben-Ghedalia 등(1978), Salter 등(1979), Harrison과 McAllan(1979), Stern와 Hoover(1979), Armstrong(1980), Tamminga (1983), Lee와 Armstrong(1985) 등이다.

Table 11. 급여사료에 따른 면양의 제일위내에서 일위용적, 통과율 및 체재시간①

	Diet A Barley-meat	Diet B Barley-soya	Diet C Maize-meat	Diet D Maize-soya
Rumen volume(l)	7.03	6.12	7.34	5.90
Dilution rate(h ⁻¹)	0.043	0.046	0.036	0.048
Retention time(h)	23.74	22.64	27.51	21.65

자료: 이남형 · Armstrong(1985)

① 처리구별 회귀방정식은 그림 4에서와 동일함

1) 미생물 단백질 생산량 측정방법

(가) In vitro방법

가용성 기질을 in vitro에서 발효했을 때는 미생물 단백질 합성량은 발효미생물에 대한 일반적인 분석방법으로 쉽게 측정된다. 그러나 불용성 기질을 원료로 하였을 때는

미생물과 기질을 정량적으로 분리할 수 없기 때문에 용이하지가 않다. 이 경우는 방사성 동위원소를 사용하여 미생물이 이용할 수 있도록 하는 방법이 있다.

Nikolic(1977)과 Van Nevel 등(1977)이 S³⁵, N¹⁵, P³²를 사용해 측정하였다. 2-6-diaminopimelic acid(DAP)와

같은 아미노산도 미생물 단백질 표시제로 쓰지만 발효기간 동안 그 농도의 증가가 미미하여 in vitro 시스템에서는 적합하지 못하다(Nikolic, 1977), N^{15} 이나 S^{35} 를 이용한 측정법도 in vitro 시스템에서는 문제가 있는데 그 이유는 상당한 양의 N나 S가 이미 합성된 아미노산에 결합될 수 있고 또한 S는 실질적 미생물 성장이 이루어 지지 않을 때도 결합될 수 있기 때문이다(Harmeyer 등, 1975), 그러나 핵산과 같은 Phosphorylated compounds는 직접 미생물 세포속으로 흡수가 안되기 때문에 P^{32} 사용은 S^{35} 나 N^{15} 의 단점을 극복할 수 있으므로 in vitro 시스템에서 미생물단백질 합성을 측정하는데 적합한 방법으로 평가된다. 제일위내 미생물의 생태계 시스템은 프로토조아와 박테리아와의 상호관계, 기질의 선택성, VFA흡수, 통과율이나 체체시간 등 다양한 요인으로 매우 복잡하다. 너무나 많은 실험자료가 in vitro 시스템에서 보고되고 있지만 in vitro에서 얻어진 자료는 전체 제일위내용물을 대표하기는 불가능하고 또한 단일 박테리아에 의해서도 또는 인위적 배지에서 생산할 수 있기 때문에 실제적으로 생체내 제일위 발효조건에 그 자료들이 이용할 수 있을지는 매우 의심스럽다.

(나) In vivo방법

제일위내에서 합성된 미생물 단백질량은 미생물 자체를 표시제로 사용해 측정한다. 핵산(DNA와 RNA) 및 ^{32}P , DAP, ^{35}S 와 ^{15}N 와 같은 방사성 동위원소들이 표시제에 해당된다(Harmeyer 등, 1975; Satter 등, 1979; Smith, 1975; Van Nevel 등, 1977), AEP(2-aminoethyl phosphoric acid)도 프로토조아의 표시제로 사용하며(Czerkawski, 1974), 아미노산 조성에 의한 측정방법도 보고됐다(Offer 등, 1977), 핵산 ^{32}P , DAP로 사용할 때는 십이지장 또는 4위내 식이의 시료에 있는 표시제의 농도 혹은 흡수 역가를 측정하여서 이 수치를 순수한 박테리아 또는 미생물 건물에 있는 표시제의 농도나 흡수 역가를 측정하여 비교하면 식이(digesta)내 미생물 건물의 비율을 측정할 수 있고 제일위내에서 합성된 미생물량도 측정된다. 그러나 DAP는 프로토조아에는 없기 때문에 박테리아의 생산량만 측정되고, ^{32}P 나 핵산은 프로토조아와 박테리아를 동시에 측정할 수 있다. 십이지장 식이중에 프로토조아의 함량이 높기 때문에 무시할 수는 없으며, 대부분 연구자들은 박테리아만을 십이지장내 주요 단백질원으로 추정하여 미생물 단백질 생산량을 측정해왔다. 그러나 박테리아와 프로토조아는 그 성분 조성이 다르기 때문에 총 미생물 단백질이나 미생물 생산량을 평가하는데 오차의 요인이 될 수 있다(Reichl과 Baldwin, 1975), 이러한 결함은 ^{35}S 를 계속하여 제일위내에 투입하며 측정하는 intr-

aruminal infusion 방법을 사용하여 박테리아를 프로토조아내의 S에 대한 동위 원소의 역가를 측정하여 미생물 단백질을 평가함으로써 극복할 수 있다(Beever 등 1974). 일반적으로 ^{35}S 의 사용은 ^{15}N 방법에 비하여 측정이 단순하고, ^{32}P 에 비해서는 안전하다는 이점이 있다. 그러나 Beever 등(1974)의 방법은 ^{35}S 를 사용함에도 불구하고 측정이 복잡한데 캠브리지 대학 Mathers와 Miller(1980)가 측정방법을 개선하여 단순화 시켰다. 즉, 방사성 동위원소를 사용했을 때 방사성 동위원소 : 미생물 중 NAN에 대한 비율이 분리된 미생물에서나 식이 중 총 미생물량에서나 같은 한은 동위원소의 역가는 측정할 필요가 없다. 이 원리를 응용하여 Roberts와 Miller(1969)는 제일위내 digesta 중 미생물 N을 측정하기 위하여 ^{35}S : N비율을 사용하였다. 그러나 소장에 도달하는 미생물의 N량은 미생물군이 식이 중 액상 부분 또는 고형분 부분과 같이 이동되는지에 따라서 영향받는다(Mercer 등, 1980). 이런 문제점은 제4위나 십이지장 내용물을 24시간 계속 total collection하여 미생물 NAN을 직접 측정함으로써 해결할 수가 있으며, 미생물에 의해서 사용되지 않은 식이나 미생물 중 무기태 ^{35}S 는 $^{35}SO_4$ 로 산화시킨 다음에 산 가수분해시켜 $BaCl_2$ 를 사용 $Ba^{35}SO_4$ 형태를 침전시키므로 서무기태 ^{35}S 를 제거할 수 있다. 따라서 식이(digesta) NAN에 있는 미생물 NAN의 비율은 다음 식에 의해서 간단히 계산된다.

$$\frac{^{35}S:NAN(Digesta)}{^{35}S:NAN(미생물)} = Digesta\ NAN\ 중\ 미생물\ NAN\ 비율$$

다음 표 12는 측정법 및 분석방법에 따른 미생물 단백질 생산량을 요약한 자료이다.

2) 미생물 단백질 생산에 영향을 미치는 요인

(가) 통과율

어떤 종류의 박테리아는 시간당 통과율이 0.5 이상인 항상성조건에서도 자랄 수 있는데 제일위내에서의 통과율은 일반적으로 이보다 훨씬 낮다. 면양의 경우에 Cr-EDTA 나 polyethylene glycol 사용하여 측정시에 통과율은 시간당 0.03에서 0.15이고 인위적으로 0.2까지 증가시킬 수도 있긴 하나 이 경우에는 사료섭취량이 높은 소에서 보고됐다(표 13), 사료의 섭취량, 사료내 섬유소의 긴 입자도 비율은 통과율에 현저한 영향을 미쳤으며, 보통 조사료 급여시에는 높은 통과율, 농후사료가 많이 함유된 사료에서는 낮은 통과율을 보였다. Hodgson과 Thomas(1975)는 농후사료의 비율을 달리한 사료를 급여시 면양의 제일위내의 발효양상과 통과율과의 관계를 검토하였는데 제일위내 프로피온산 비율과 통과율간에는 (-)의 상관관계를 나타냈다. 이것은 농후사료가 통과율을 낮추

Table 12. 측정법 및 측정방법에 따른 미생물 단백질 생산량

측종 연구자	사료내 조사료(%)	유기물 섭취량(%)	측정방법	체중 (kg)	미생물단백질 생산량(gN/일)	
젖소						
Robinson(1983)	65.0	11.4	DAPA	510	162	27
Tamminga 등(1979,1981) ^b	37.3	8.7	DAPA	550	179	10
Tamminga(1981) ^a	52.9	8.8	DAPA	550	139	10
Möller 등(1982)	86.6	6.5	DAPA	775	63	5
Hvelplund 등(1976)	100	4.3	DAPA	475	52	4
Stern 등(1983)	50	16.7	DAPA	571	268	4
Santos 등(1982)	47.5	14.4	DAPA	560	318	4
Loche 등(1985)	34.0	16.1	DAPA	592	322	5
Loche 등(1985)	78.3	14.6	DAPA	602	285	6
Brandt 등(1981)	64.0	13.0	¹⁵ N	665	222	4
Samuel 등(1981)	43.0	10.2	RNA	614	67	6
Merchen 등(1983)	65.0	17.2	DAPA	595	272	4
이남형 등(1985)	100	4.6	³⁵ S	384	53	6 ^①
면양						
Beever 등(1981)	100	0.96	³⁵ S	50	13	4
Chamberlain 등(1980)	18.0	0.69	DAPA	52	12	4
Chamberlain 등(1976)	0.0	0.50	DAPA	34	8	7
Hume 등(1974)	100	0.69	³⁵ S	55	10	4
Kennedy 등(1976,1981)	100	1.62	³⁵ S	55	24	5
Mathers 등(1981)	50	0.66	³⁵ S	30	12	4
Leibolz 등(1972)	70	0.65	³⁵ S	50	6	6
Mercer 등(1980)	10	0.60	DAPA	40	11	3
Sutton 등(1975) ¹	30	0.52	RNA	40	9	5
Ulyatt 등(1977)	100	0.65	DAPA	42	11	6
Walker 등(1973)	100	0.82	³⁵ S	40	10	11
Merchen 등(1983)	100	0.54	DAPA	25	9	2
이남형 등(1985)	16.7	0.56	³⁵ S	40	7	4
비육우						
Cole 등(1976)	10.5	4.64	RNA	465	40	8
Merchen 등(1979)	59	7.50	DAPA	262	62	3
Zinn 등(1983)	20	4.30	RNA	215	50	8
McAllan 등(1983)	44.2	3.90	DAPA	193	53	6
Thomson 등(1981)	100	2.30	³⁵ S	141	25	3
Veira 등(1980)	7.5	3.33	DAPA	146	32	4
Kropp 등(1977)	75.4	4.23	RNA	275	31	3

① Jersey heifer를 사용 했음

고 상대적으로 프로피온산 비율을 높이는데 비해서 높은 통과율을 보이는 조사료의 경우에는 프로피온산을 상대적으로 낮게 생산하는데 기인한 것으로 설명 할 수 있다 (Oldham 등 1977).

현재까지 사료섭취량을 일정하게 유지시키면서 통과율을 낮게하는 방법이 증명된 적은 없다. 그러나 무기물 섭취를 증가시킨다든지 또는 동물을 낮은 기온에서 사육시 통과율을 증진시킬 수 있다. 면양이나 소를 추운데서 사육때는 급여한 사료의 건물소화율이 저하되는데 이는

제일위내 체제시간이 감소 하였기 때문이다. 표 13에서 보는 것처럼 기온을 23°C에서 3°C로 저하시켰을 때 액상 부분 통과율은 시간당 0.068에서 0.115로 증가했으며, 인공타액을 일일 4리터씩 면양의 제일위내로 계속 주입했을 때도 통과율은 현저히 증가했다. 즉 통과율을 변화시키므로써 반추위내 개개 미생물의 성장에 현저한 영향을 미친다는 사실이 in vitro 시험에서 충분히 입증됐다 (Stouthamer 1977), Hobson과 Summers(1972)는 통과율을 시간당 0.08로 증가시켰을 때 *Selenomonas ruminatum*

Table 13. 면양과 소에서 급여사료 종류에 따른 dilution rate

축종	사료	처리	통과율(h^{-1})	참고
젖소	90% 배합사료 10% 건초	-	0.096	Bauchop 등(1960)
젖소	57% 건초 43% 배합사료	-	0.200	Bauchop 등(1960)
면양	60% 푸레이크 옥수수	대조구	0.038	Harrison 등(1975)
	40% 목건초	인공타액주입(4 l / 일)	0.098	
면양	분쇄 브룸그라스	대조구(23°C) 3°C 외온	0.068 0.115	Kennedy 등(1978)

의 성장증가를 확인하였다. 그러나 항상성 조건에서 혼합된 반추미생물의 생산량을 연구한 사람은 매우 제한되어 있다.

Isaacson 등(1975)은 포도당 배지에 혼합한 반추미생물을 배양하고 통과율을 시간당 0.02, 0.06, 0.12로 증가시켰을 때 미생물 생산량은 7.5, 11.6, 16.7g DM/mol ATP단위로 현저히 많아졌음을 보고했다. *in vivo*에서 통과율을 변화시킬 수 있다는 것은 반추위내 발효의 화학량론(化學量論:Stoichiometry)도 정확하게 조사할 수 있고 *in vitro* 자료와 비교할 수도 있다. 또한 생성된 VFA량을 측정하여 미생물생산량 Y(ATP)를 계산할 수도 있다. 6탄당 1몰이 초산으로 발효시에는 ATP 4몰을 생성시킬 수 있고 프로피온산과 낙산을 각각 1몰 생산하기 위해서는 6탄당 1몰당 3몰의 ATP가 생성된다. 물론 메탄가스 생성은 직접 측정되지 않아 화학량론 계산에 적용치 않았지만, NaCl을 infusion시에 통과율 증진은 Y(ATP)를

24% 향상시켰다(Harrison 등 1975). 다음 표 14에서와 같이 시간당 통과율 0.032에서 0.11로 증가시 미생물 단백질 합성은 37%나 효율이 증가됐다(Kennedy 등 1978). Kennedy와 Milligan(1978)은 면양에다 건조된 브룸그라스를 급여하고 동물을 3°C에서 사육시 사료섭취량이 증가했으며 통과율은 0.068에서 0.136으로, 미생물 생산량은 Y(ATP) 32%나 증가됐다. 고형물의 통과율은 루세니움(ruthenium)을 가지고 측정했을 때, 고형물과 액상물의 통과율 비율은 평균 0.73이었는데 이런 사실은 반추위내 박테리아의 경우 매우 중요하다. 가용성 기질을 가진 항상성 조건에서는 이들 박테리아가 반드시 액상부분과 함께 떠나지 않고 고형물부분과 같이 떠날 수도 있다(Hungate 등 1971). 박테리아는 액상이나 고형물부분과 함께 이동될 수 있기 때문에 미생물 생산량 Y(ATP)와 반추위내 통과율의 변화와 관련하여서는 반드시 고려되어야 할 사항이다. Stouthamer와 Betterhausen(1973)은 단일 박테

Table 14. *in vitro*와 *in vivo* 발효에 관련한 통과율 및 미생물 생합성량

통과율(h^{-1})	Y(ATP)①	Y(ATP)max①	me②	q(ATP)③	참고 자료
0.02	8.5	23.6	1.54	0.65	항상성조건, 혼합박테리아
0.06	13.6			0.38	Isaacson 등(1975)
0.12	20.3			0.24	
0.032	13.5	19.9	0.75	0.32	인공사료
0.075	15.6			0.17	Kennedy 등(1978)
0.110	18.5			0.12	
0.068	16.2	24.2	1.57	0.36	브룸그라스
0.115	19.4			0.25	Kennedy 등(1978)
0.136	21.4			0.22	
0.054	16.2	27.8	1.69	0.46	브룸그라스
0.083	19.4			0.37	Kennedy 등(1978)
0.096	21.4			0.33	

① g DM / mol ATP ② mmol / g DM h^{-1} ③ proportion of ATP production used for maintenance ④ Dilution rate of the solid phase.

리아들을 연속 배양하여 수학적 접근으로 이 문제를 해결하려고 시도했다. 개개 박테리아 개체간 복잡한 반응, 재순환과 통과율 등은 단일 방정식에는 충분히 고려할 수 없다는 단점이 있지만 다음 공식에 의해서 요약하였다. 즉 $1/Y(ATP)$ 에 대한 수치는 $1/Dilution\ rate$ 에 대하여 그래프에 potting 하고, 직선상에서 intercept한 수치를 $1/Y(ATP)\ max$ 로고, 그래프의 기울기를 me 로 나타냈다.

Harrison 등(1976)의 결과와 Isaacson 등(1975)의 in vivo 및 in vitro 자료 비교를 쉽게 하기 위하여 위 공식에 의하여 potting하고 최대 미생물 생산량 $Y(ATP)\ max$ 와 시간당 건물 g 당 통과되는 mmol수(기울기 : me) 및 미생물의 유지에 필요한 ATP생산 비율 $q(ATP)$ 등을 계산 표 14에 제시되어 있다. 이 표에서는 몇가지 중요한 사실을 설명해주고 있는데, 부름그래프 목초 급여시 액상 통과율을 기준으로 예측한 최대 미생물 생산량 $Y(ATP)\ max$ 는 24.2였는데 고형물부분 통과율을 가지고 예측했을 때는 27.8이었다. 모든 박테리아가 모두 액상 및 고형물 부분과 함께 통과되는 것 같지는 않으므로, 최대 미생물 생산 $Y(ATP)\ max$ 는 두 수치 사이에 대략 26 $g\ DM/mol\ ATP$ 로 추정된다. 그러나 이 수치는 Stouthamer (1977)가 포도당과 아미노산용 기질로 배양한 박테리아에 대하여 측정된 이론치 $Y(ATP)\ max(31.9)$ 보다는 20%나 낮은 수치이다. 이것은 일반 목초를 급여하여 얻어진 반추위내 발효자료가 효과적이라는 의미도 된다. 그러나 항상성조건에서 아미노산 존재시에 성장한 박테리아는 23.6으로 액상통과율 자료 및 목초를 급여하여 얻어진 $Y(ATP)\ max$ 가 거의 일치하지만 요소를 급여하여 얻어진 in vivo 자료에서는 19.9로 낮아 미생물의 최대 성장율은 이미 형성된 아미노산의 공급없이는 얻기 힘들다. 표 14에서 보면 기울기 me 수치도 0.75에서 1.6 $9m\ mol/g, DM/시간$ 으로 현저히 낮아데 프로토조아가 존재시에도 현저한 증가는 없었다. 이와 유사한 결과는 젖산균 *Lactobacillus casei*를 가지고 시험한 결과에서도 비슷했다(Stouthamer 등 1973). 통과율이 시간당 0.02 시에는 박테리아 에너지의 65%가 유지를 위해서 사용되거나 시간당 0.06시에는 유지를 위한 ATP생산이 32%로 감소했다는 사실은 실제 통과율이 아주 낮은 조건하에서는 통과율이 작은 변화에도 미생물 성장에 매우 큰 영향을 미친다. 농후사료를 급여한 면양의 경우에 통과율이 시간당 0.04일 때 미생물 합성효율은 통과율을 증가 시킴으로써 현격히 증진시킬 수 있었으나 젖소의 경우에는 통과율을 시간당 0.20으로 증가 시켰어도 미생물 성장효율은 증가되지 않았다(Harrison 등 1975, 1976). 결론적으

로 고형물이나 액상부분의 통과율은 미생물 생합성에 영향을 미치는 가장 중요한 요인 중 하나이다.

(나) 질소

암모니아는 미생물 단백질의 중요한 천구체이며 몇몇 박테리아의 성장에 필수적이다(Bryant 등 1962). 따라서, NH_3 고정 과정이나 미생물의 최대성장을 위한 in vitro 와 in vivo에서의 암모니아 농도가 관심 대상이 된다. NH_3 고정에 관여하는 중요한 효소 중 하나는 glutamin synthetase(EC 6.3.1.2)로 암모니아에 대한 친화성이 높고 ($K_m\ 0.2mmol/l$), 효소의 V_{max} 치도 리터당 2~3mmol 이다(Erfle 등 1977). 이 반응에 이용될 NH_3 는 세포의 대사 기구(extracellular pool)로 부터 오며, 세포내 기구(int-racelluar pool)와 세포의 기구가 관련 된다면 효과적인 암모니아 고정, 암모니아를 고정하는 효소를 포화시키기 에 충분한 고농도에서 세포의 대사기구가 세포내 대사 기구를 유지시키는데 충분하여야만 반응이 일어날 수 있다. glutamine synthetase의 농도는 세포의 암모니아 농도가 감소될 때 증가하는 것으로 알려져 있고(Erfle 등 1977), Salter 등(1979)은 ^{15}N 이 박테리아아미이드(amide)로 결합 되는 것은 다른 어떤 종류의 질소화합물로 결합 되는 것 보다도 빠르다고 지적했다.

여러가지 사료를 급여한 숫소의 제일위내 최대 미생물 합성은 NH_3 농도가 리터당 3~6mmol 이상(Salter 등 1974)이라 보고 했으며 이러한 보고는 면양에서의 최대 미생물 단백질합성은 암모니아 농도가 리터당 4~5mmol일 때의 in vivo 자료(Roffler 등 1974)와 유사하다. 이러한 세포의 암모니아 농도는 최대 glutamine합성을 위해 요구되는 세포내 농도 리터당 2~3mmol과 유사하거나 그 이상이라는 사실에 관심을 가질만 하다. 반대로, 인공사료 급여시 면양에서 최대 미생물 합성을 위한 NH_3 농도는 6.3~9.5mmol이었다(Hume 1970). 또한 Miller (1973)는 면양에서 반추위내 NH_3 농도가 리터당 17mmol이었을 때 최대 미생물 성장을 보고했다.

이와같이 암모니아 농도에 대하여 다양한 성적을 보였는데 그 원인으로서 Smith(1975)는 미생물 수의 변화와 침투성 등 때문에 암모니아 농도는 미생물의 최대성장을 평가 하는데 부적절 하다고 발표했다. NH_3 를 고정시키는 또다른 효소로는 Glutamate dehydrogenase(EC 1.4.1.2)가 있는데 이 효소는 암모니아에 대한 친화성이 낮고 (K_m 치 리터당 5mmol), V_{max} 수치도 리터당 12~18mmol로서 glutamin synthetase와는 다른 특성을 갖고 있는데 서로 다른 NH_3 고정 기작을 사용함으로써 박테리아는 NH_3 수준이 다르더라도 동등하게 효과적으로 암모니아를 이용할 수가 있다. 반추위내 미생물은 이미 형성된 아미

노산도 이용할 수 있다. 알팔파를 급여한 면양에서 섭취된 질소의 44%가 미생물에 의하여 직접 이용되었고(Nolan 등 1976) 인공사료에다 옥수수 글루텐을 급여한 면양에서는 함유황미생물체 아미노산의 약 44%가 글루텐으로부터 공급됐다(McMeniman 등 1976). 이러한 연구는 아미노산이 직접 미생물체단백으로 합성될 수 있다는 사실을 보여준다. 이미 형성된 아미노산이 결핍시에는 미생물체 단백질합성은 손상 될 수도 있다. Salter 등(1979)은 단백질 함유 사료를 급여한 성장우에서 N¹⁵을 사용하여 측정시에 이미 형성된 메치오닌은 다른 아미노산에 비하여 상당히 빠른속도로 박테리아에 결합했으며, 단백질이 없는 사료를 급여시에는 메치오닌의 합성율이 증가되지 않았다. 즉, 이러한 조건하에서는 박테리아 성장이 저해될 수 있고, 따라서 메치오닌의 공급은 미생물 성장 효율을 최대화 시키는데 필수적일 수 있다.

(다) 에너지

Russel 등(1978)은 어떤 종류의 반추위내 미생물은 특수한 당을 좋아한다는 사실을 in vitro 시험에서 관찰했다. 이것은 각종의 미생물이 제일위내 서로 다른 생태계의 적절한 장소를 점유하며 따라서 거기에서 생존하는 미생물이 다양하다는 점을 의미한다. 이러한 결과는 in vivo 시험에서도 유사한데 사료내 섬유소 중에 존재하는 다양한 단당류의 소화율은 galactose, arabinose, cellulose-

glucose, xylose 순서로 감소 됐다.이런 차이점은 모든 단당류에 질소 첨가시 소화율이 증진됐기 때문에 이용성의 차이에 기인되는 것 같지는 않다(McAllan 등 1976). 탄수화물 급원에 따른 미생물 단백질 합성에 관한 연구보고는 아주 적다. 조사료만을 급여시에 미생물단백질 합성은 평균 33g(제일위에서 소화된 유기물 kg당 합성된 양)으로서 농후사료만을 급여시 평균 22g보다는 유의적으로 높았다(McMeniman, 1975). 이런 시험 결과는 in vitro에서 탄수화물 급여시 미생물 단백질 합성 효율을 증진시켰다는 보고와는 상반된 것으로(Bartley 등, 1977), 섬유소, 전분, 가열된 전분 순서로 미생물 합성 효율이 증진됐는데, in vivo에서 농후사료 급여시 낮은 효율이 기질의 이용성에 기인된 것으로 볼수는 없다. 이들 in vivo 결과는 유지상태의 면양에서 시험한 자료로서 유지 사양 수준에서는 농후사료를 급여하면 통과율이 낮고, 반면에 조사료를 급여하면 통과율을 증진시킬 수도 있기 때문에 통과율은 아주 중요한 요인이 된다. 그러나 탄수화물 급원에 따른 미생물 성장효율은 이 방법만으로는 설명할 수가 없다. Oldham 등(미발표자료)은 비유증인 젖소의 건초에 60%와 90%의 압맥(누른 보리)과 분쇄 옥수수를 각각 급여하여 미생물단백질 생산효율을 측정시에 90%수준이 60% 수준보다 낮았으며, 보리급여구가 옥수수 급여구 보다 우수했다(표 15). 옥수수 급여시에 전분수

Table 15. 누른보리 또는 분쇄 옥수수를 60%와 90% 급여한 젖소에서 유기물 소화율 및 미생물 단백질 생산

사 료	전 분 섭취량(kg / 일)	십이지장에서의		십이지장까지의		미생물단백질생산 (gN / kg 제일위유기물소화율)	
		전분비율(섭취량에 대한)	전분소화율				
누른보리 6%	4.28	0.13	0.54①	0.72②	34.9①	29.8②	
누른보리 90%	5.90	0.10	0.55	0.72	30.8	23.6	
분쇄옥수수 60%	4.45	0.25	0.53	0.63	21.6	18.2	
분쇄옥수수 90%	6.49	0.41	0.46	0.53	13.2	11.7	

① 의견상 평가 ② 진정한 평가(true).

자료: Oldham 등(미발표)

Table 16. 면양에서 주요 탄수화물 급원으로 보리와 옥수수를 급여시 미생물 단백질 합성에 미치는 영향

항 목	보리 급여구		옥수수 급여구	
	옥골분구	대두박구	옥골분구	대두박구
유기물 섭취량(g / 일)	59.4	595	524	514
질소 섭취량(g / 일)	13.5	13.0	11.7	11.1
유기물 소화율				
소장이전	0.68	0.70	0.66	0.65
소 장 내	0.24	0.20	0.23	0.26
대 장 내	0.08	0.10	0.11	0.09
미생물단백질 합성량①	22.7	21.2	20.4	24.2

자료: 이남형 등(1986)

①: 제일위내 발효된 유기물 kg당 합성된 미생물단백질태 N의 g수.

준을 증가시키기에 따라 미생물 단백질 생산효율이 저하된다는 사실은 Offer 등(1979)도 지적했다.

그러나 이남형 등(1986)은 조사료:농후사료의 비율을 28:72로 면양에다 급여하고 주 탄수화물 급원으로 분쇄 보리와 옥수수를 급여했을 때 미생물 단백질 생산효율은 각각 21.9 g 과 22.3 g (N/kg 제1위유기물소화율)로서 탄수화물 급원에 따른 차이는 없었다(표 16). McAllan 등(1974)은 쉽게 발효할 수 있는 탄수화물이 많이 함유된 사료를 급여한 동물의 반추위내에서 성장하는 박테리아는 상당한 양의 다당류를 축적시킬 수 있다고 보고했다. 고전분질 사료는 가용성 당류를 함유한 사료에서 보다는 미생물체내에 다당류 축적기간이 길며 이런 다당류의 점진적인 분해는 요소가 미생물체 단백질로 전환이 당류 급여때 보다 전분급여시 더 효과적이라는 사실을 설명할 수 있을지도 모른다. 따라서 요소를 함유한 사료에서 미생물 단백질 합성을 최대화 하기 위해서는 요소의 분해속도와 전분의 분해속도를 고려하는 것이 중요하다. 옥수수나 보리의 열처리나 전분의 소화율을 증진시키고 동시에 미생물 단백질 합성을 위하여 요소의 이용효율을 개선시킬 수 있다(Papasalomantos 1977).

(라) 유 황

미생물은 유황을 건물 1kg당 8g 이상도 함유 할 수 있는데 그 대부분은 단백질 중에서 발견된다(Bird 1973). 미생물 단백질 중 유황은 무단백질 사료를 급여할 때 반추위내 유황대사기구로부터 대부분 기원 되지만 상당한 양은 정상적인 사료를 급여 할 때 이미 형성된 함유황 아미노산으로부터 얻어질 수 있다(McMeniman 등, 1976). Harrison 등(1979)은 서로 다른 사료를 급여한 다양한 반추동물로부터 수집된 혼합된 반추위내 박테리아 중 단백질에 있는 N:S의 비율은 평균 18.5:1(8.6:1로부터 30:8:1범위까지)이었으나 그중 65%가 17:1에서 23:1 범위내였다. 프로토조아의 경우에도 유사한 성적이었는데 평균치는 21.6:1(14:1~38:1)이었고, 그중 64%가 16:1에서 25:1의 범위내였다. 미생물의 유황요구량이 단백질 질소와 화학량론적 관계에 의하여 결정된다고 가정한다면 반추위내에서 이용성 N:S의 비율 20:1은 그 요구량을 충족시킬 수 있다. 서로 다른 사료 단백질의 분해율은 극히 다양하다(Roy 등, 1977). 그러나 만일 모든 아미노산이 유사하게 분해된다면 유황의 분해도는 단백질 질소의 분해도와 평형 관계를 유지 할 수 있을 것으로 기대된다. 이 경우에는 알팔파 건초를 면양에다 급여한 시험결과로서 입과 십이지장 사이에서 분해된 유황의 비율은 0.54~0.72였고 질소의 경우는 0.59~0.78이었다(Kennedy 등, 1978; Nolan 등, 1976). 그러나 부름그라스

를 면양에다 급여 했을 때 입과 십이지장사이에서 유황의 분해도는 0.11~0.33, 질소의 분해도는 0.50~0.72로 알팔파 건초와는 상당히 다른 분해속도를 보였다. 이때 급여한 사료자체 즉, 알팔파 건초의 N:S 비율은 12.3:1, 부름그라스의 N:S 비율은 13.6:1로 매우 유사했다. 제일위내 유황은 미생물 성장을 위해 요구되므로 반추위내에서 사료중 S과N의 분해속도는 매우 중요하다. Playne 등(1978)은 열대지방 목초에 나일론 백을 사용하여 젖소에서 조사하였다. 알팔파의 경우에는 질소와 유황의 분해도가 유사한 성적이었다. 그러나 spear grass, stylo, chloris (N:S의 비율은 각각 9:1, 7:1, 과 3.6:1)목초의 경우에는 반대로 유황의 분해속도가 질소의 분해속도 보다는 2.5배나 빨랐다. 따라서, 사료배합표 작성시 사료중에 있는 N:S의 비율은 그 상대적인 이용성을 고려 할 때 총 S의 함량은 의미가 적고 무기태S나 함유황 아미노산태 S로 공급함이 필요하다. 또한 유황의 급원 즉 SO₄ 또는 단백질태S에 따라라도 반추위내 미생물에 의한 이용성이 다르고, 어떤 급원을 더 좋아하는지 그리고 미생물 성장은 얼마나 증진시키는지 등 아직도 논란의 대상이 되고 있다(Bray 등, 1975; Bull, 1973). 미생물의 최대 성장을 위해 요구되는 반추위내 유화물(Sulphide)의 농도는 알려져 있지 않으나 제한수준은 리터당1mg이 Sulphide 형태의 S로 추정된다(Bray 등 1975).

(마) 프로토조아(Protozoa)

반추위내 프로토조아 단백질 합성 효율 또는 프로토조아 제거시 반추위내 박테리아 단백질 합성에 대한 연구 보고자료는 매우 제한돼 있다. 프로토조아가 있거나 또는 제거시에 박테리아 합성에 미치는 영향은 없었다(Roy 등, 1977). 일반적으로 프로토조아 제거는 사료의 소화율이나 동물의 생산성을 저하시키는 경향이 있으나, 저단백질 사료를 급여시에는 사료효율이 현저히 개선됐다는 보고도 있다(Bird 등, 1978). 프로토조아가 없으면 보통 반추위내 박테리아 수는 증가되며, 그 종류나 화학적 성분도 현저히 달라질 수 있다(Clarke, 1978; McAllan 등, 1976). 프로토조아에 필요한 대부분의 영양소는 섭취한 박테리아와 사료에서 유도되며, 사료적 요인이나 시료 채취시간이 프로토조아의 숫자에 큰 영향을 미친다(Clarke, 1978). 특히 상당한 수의 프로토조아는 사료의 입자에 단단히 부착돼 있어 자료 해석에 어려움이 있다(Bauchope 등, 1976). Weller 등(1954)은 건초를 급여한 면양의 제일위내에서 분리된 미생물단백질 중 프로토조아의 비율은 사료 급여 3시간 후에 0.05였으나 21시간 이후에는 0.4로 증가됐다. 반추위내 미생물 중 프로토조아의 비율은 0~10% 사이에서는 10⁶ciliates/ml로 평가되

나, 60~100% 사이에서는 ciliates수가 10^6 /ml로 평가됐다 (Leng 등, 1976). 측정한 결과는 다음 표 17과 같은데 총반추위 미생물 중 프로토조아의 비율은 0.46에서 0.87범위지만 곡류사료를 많게 급여하면 최대 수치를 보였다. 이 자료는 또한 십이지장이나 4위에 들어가는 총반추위 미생물 중 프로토조아의 비율이 반추위내 비율에 비해서 현저히 낮는데 이는 상당한 양의 프로토조아가 제일위내에서 머무는 것을 의미한다.

Ushida 등(1984)은 알팔파 건초를 67%나 급여한 면양에서 프로토조아를 제거 안한 정상적인 경우에 많은 수의 프로토조아는 미생물 단백질이나 사료단백질의 십이지장 통과율을 크게 감소시켰는데 이는 프로토조아가 반추위내에서 단백질 분해를 증가시켰기 때문이다(표 18).

십이지장에서 총 미생물 질소 중 프로토조아 질소는 20%였다. 또한 DAPA방법에 의하여 측정된 박테리아 N 합성 효율은 프로토조아 존재 유무에 크게 영향을 받았

Table 17. 젖소나 면양의 제일위내 총 미생물 중 프로토조아의 비율 및 십이지장에 들어가는 프로토조아의 비율

동물	사료	제일위내 총 미생물 중 프로토조아비율	십이지장 또는 4위에 들어가는 미생물 중 프로토조아 비율	십이지장에서 총 미생물 중 프로토조아비율	참고문헌
면양	반정제사료	0.50	0.28	0.27	Harrison 등(1979)
면양	알파파	0.46	-	-	Hungate 등(1971)
면양	고-조사료	0.49	0.28	0.16	Jauny(1978)
면양	고-농후사료	0.78	0.59	0.55	Jauny(1978)
소	고-농후사료	0.87	-	-	Coleman(1975)

Table 18. 프로토조아가 질소대사에 미치는 영향

	프로토조아 제거상태	프로토조아 존재
질소 섭취량(g/일)	22.1	22.8
유기물 섭취량(g/일)	1019	1032
십이지장 NAN(g/일)	32.8 ^a	23.4 ^b
제일위내 사료단백질 분해(%)	36.0 ^a	54.8 ^b
미생물단백질생산효율(gN/kg OM소화)①	60.6 ^a	26.9 ^b

자료: Ushida 등(1984)

① 제일위내 소화된 유기물 kg당 합성된 단백질 N의 g수

는데 프로토조아가 없는 상태에서 미생물 단백질 생산효율은 프로토조아가 있는 정상상태에서 보다 2배나 증진됐다.

Punia 등 (1984)은 가성소다 처리한 밀짚을 급여한 미경산자우에서 총질소 중 프로토조아의 함량을 측정했는데 제일위내에서는 16~20%, 3위에서는 17%, 4위에서는 11%로 보고했다.

4. 소장내에서 단백질의 소화 흡수

가. 질소 공급원

반추위내에서는 질소의 상호 전환 때문에 섭취한 단백질이 소장에 유입되는 질소와는 다르다(Whitlow 등, 1979). 젖소, 비육우, 송아지, 면양 등 반추동물에서 얻어진 시험결과는 농후사료나 조사료 급여시에 섭취된 대사에너지(Mcal)당 10.5~12.5 g NAN이 십이지장에 유입되는

단백질로 평가됐다(oldham등, 1980). 이것은 소장에 유입되는 질소의 양을 결정하는데 에너지 소비가 중요한 요인이 된다는 것을 의미한다. 미생물 단백질 합성이나 사료단백질의 제일위내 분해도에 영향을 미치는 모든 요인들도 소장에 공급되는 질소의 양을 변화시킬 수 있다. 십이지장에 들어가는 질소는 미생물단백질, 비분해성 사료단백질, 내생성단백질로 이뤄진다. 박테리아와 프로토조아 간에 아미노산 성분의 차이나(Chalupa, 1972), 섭취한 단백질과 미생물단백질 간에(Smith, 1975; Laughren 등, 1979), 섭취한 단백질과 비분해성 섭취 단백질 간에(Smith 등, 1977) 아미노산의 차이는 소장에 들어가는 미생물 단백질과 비분해성 섭취단백질량이 흡수할 수 있는 아미노산의 공급에 영향을 미칠 수 있다는 것을 의미한다. 그러나 미생물 단백질과 비분해성 섭취단백질을 분리하는 어려움이나 내생성 질소 분비량을 측정하는 기술적 문제들이 정확한 양을 평가하는데 어려운 점들이

다. 위로부터 소장에 공급되는 질소는 미생물단백질의 경우 0.3~1.0사이, 비분해성 섭취단백질의 경우는 0에서 0.70범위일 수 있다(Smith, 1975). 영양학적 견지에서 소장내 질소의 화학적 성분을 아는것은 중요하다. Oldham 등(1980)은 젖소의 십이지장내 단백질을 분류시에 필수아미노산 비율이 0.35, 비필수 아미노산이 0.30, 아미드 0.04, 핵산 0.11, 암모니아 0.06, 미상 0.14였다. NAN은 용이하게 평가 할 수 있기 때문에 흔히 소장내 유입되는 질소의 측정방법으로 사용된다. Stern 등(1982)은 젖소의 십이지장내 아미노산태 질소는 NAN의 0.79로 평가했으며 면양에서는 아미노산태 질소는 NAN의 0.80이었다(Hogan 등, 1970), 이남형 등(1985)도 보리와 옥수수를 급여한 면양에서 십이지장내 아미노산태 질소는 총 NAN의 0.81로 측정했으며 필수아미노산 : 비필수아미노산은 48:52로 평가됐다.

나. 소화 시스템

제4위 소장에서 단백질소화는 핵장효소 리보뉴클레아스(ribonuclease)가 많고, 소장에서 식이의 중화속도가 느린 점을 제외하고는 반추동물이나 단위동물이나 유사하다(Armstrong 등, 1975; Bergen, 1978; Chalupa, 1978). 소장의 상단부에서 식이의 중화속도가 느린것은 핵장액에 있는 bicarbonate 함량이 낮은데 기인한다(Taylor, 1962), 이런 점은 4위내 팽신의 활성을 증가시키게 되지만 소장내 효소의 활성개시는 지연시키게 된다. 따라서 십이지장내 상당량의 단백질 분해는 소화관내 단백질 분해효소인 팽신에 의한다. 트립신, 카이모트립신, 카복시펩티데즈에 대한 최적 역가는 空腸의 중반부까지에서도 일어나지 않으며 exopeptidases와 dipeptidases의 최적역가는 回腸의 중반부에서 발견된다(Benghedalia 등, 1974). 핵산의 분해는 DNA 분해효소, RNA 분해효소, phosphodiesterase, phosphomonesterases에 의한다(Bergen, 1978; Roth 등, 1980). 반추동물에서 풍부한 핵장효소인 ribonuclease의 중요한 역할은 타액에 의하여 제일위내로 재순환되는 핵산태 인(Nucleic acid phosphorus)을 방출시키는데 있다(Barnard, 1969). 흡수되는 핵산 소화산물은 nucleotides, nucleosides 및 염기이다(Bergen, 1978; Smith, 1979).

다. 흡수기작

소장내 점막은 유리 아미노산, 펩타이드, 뉴클레오타이드, 뉴클레오사이드에 대한 섭취시스템을 갖고 있다(Armstrong 등, 1975; Bergen, 1978; Scharer 등, 1980). 면양에서 아미노산 흡수의 가장 활발한 부위는 回腸 중반부에서 하반부까지이나(Johns 등, 1973; phillips 등, 1976) in vitro시험에서는 소장내 식이를 가지고 아미노산의

흡수율을 조사했을때 空腸의 중반부에서 가장 높은 활성을 보였다(Benghedalia 등, 1974), Johns 등(1973)은 空腸 절편을 사용하여 조사시 아미노산의 흡수는 농도에 반대되는 양상을 보였고, 포화기작을 나타냈으며, 대사에너지 의존도가 높았다. 면양 空腸에서 글라이신, 메치오닌, 라이신 운송에 대한 km 치(Michaelis상수)나 $Vmax$ (최대 운송률)치는 쥐의 空腸에서 조사된 자료와 유사했다. 소장에 넘어오는 식이로부터 필수아미노산의 흡수가 비필수 아미노산의 흡수보다 빠르다는 것을 면양에서(Johns 등, 1973; Phillips 등, 1976), 소에서(Varit Klooster 등, 1972) 보고 했다. Williams(1969)는 아미노산의 흡수순서는 이소류신>알지닌>바린>류신>메치오닌>페닐알라닌>라이신>트립토판>아스팔틱산>세린>알라닌>프로린>히스티딘>드레오닌>글루타민산>글라이신 순서로 보고했다. Johns 등(1973)은 역시 in vitro 시험에서 메치오닌>라이신>글라이신 순서로, Phillips 등(1976)은 메치오닌>바린>드레오닌 순서로 보고했는데 면양의 소장내에서의 흡수 순서는 사람이나 쥐에서 보고된 성적과 유사했다. 류신이 라이신 흡수율 억제하는 현상은 in vitro(Johns 등, 1973), in vivo(Hume 등, 1972)에서 모두 보고됐다. 비반추동물에서와 같이 펩타이드의 흡수는 반추동물에서도 중요하며 그 순서는 펩타이드 섭취, 펩타이드 가수분해, 아미노산 운송단계를 거친다. 소장을 통해 흘러온 식이 중 핵산소화의 최종산물 제거는 효과적인 흡수기작에 의하여 행해진다(Bergen, 1978). 뉴클레오사이드는 소장으로부터 Na 의존형 포화 운송과정에 의하여 흡수된다(Scharer 등, 1980).

라. 외견상 흡수율

아미노산의 외견상 흡수율은 십이지장과 回腸사이에서 조단백질 또는 아미노산의 흡수차이에 의하여 측정한다. 십이지장의 캐놀라 수술 부위가 담즙이나 핵장액 분비 입구 이전에 설치되는 내생성 질소만 포함되나 수술 부위가 담즙이나 핵장액 분비입구를 지나서 장치 때에는 핵장 분비액으로 부터 오는 질소도 또한 함유된다. 비유중인 젖소의 소장으로부터 흡수된 외견상 NAN과 아미노산 함량은 표 19에서와 같은데, 비육우, 건유우, 면양에서 조사된 평균치는 외견상 NAN흡수율 0.65, 외견상 아미노산 흡수율은 0.68이었다(표 20). 외견상 NAN흡수율은 요약된 그룹간에 유사했으나 비유중 젖소나 면양의 경우에는 아미노산의 흡수율보다는 낮았다. ARC(1980)는 NAN과 아미노산 흡수율에서 현저한 차이는 없었다고 보고했다. 그러나 Tamminga(1980)는 총질소의 외견상 흡수율은 아미노산의 외견상 흡수율보다 0.05 낮았다고 결론지었다. 따라서 소장에서 NAN과 아미노산의 외견상

Table 19. 비유 중 젖소의 소장내 외견상 단백질 흡수율

사 료	NAN	아미노산	참 고
건초 또는 목건초			
누른 압착보리	-	0.66	ARC (1980)
고수분 보리	-	0.77	
펠렛트 보리	-	0.69	
펠렛트 옥수수	-	0.70	
알팔파			
싸일레지 건물 29%	0.62	0.71	Merchen and Satter(1983)
싸일레지 건물 40%	0.61	0.71	
싸일레지 건물 66%	0.63	0.74	
건초	0.60	0.73	
옥수수 싸일레지, 건초, 농후사료 (단백질공급 50%)			
대두박	0.67	0.71	Stern등(1974)
생대두	0.64	0.70	
익스트루드한 대두	0.72	0.75	

Table 20. 반추동물 소장에서 NAN과 아미노산의 외견상 흡수율

측 정 동 물	평 균 치	측 정 수
NAN		
비유중 젖소	0.65	12
건 유 우	0.66	17
면 양	0.64	29
평 균	0.65	58
아미노산		
비유중 젖소	0.69	21
건 유 우	0.62	11
면 양	0.70	22
평 균	0.68	54

자료: Tamminga (1980).

흡수율은 십이지장에 들어오는 양의 0.65와 0.70으로 추정된다. 필수아미노산의 외견상 흡수율은 비필수아미노산보다 0.05 높다(Armstrong 등, 1977; Tamminga, 1980). 필수아미노산의 흡수율은 라이신, 아지닌이 높은 반면에 드레오닌, 바린, 페닐알라닌은 평균 필수아미노산의 흡수율보다 낮았다(표 21). 메치오닌의 흡수율은 젖소의 경우에 다양한데 이는 십이지장 캐놀라의 위치와 관계가 있기 때문인 듯 하며 십이지장 시료를 담즙, 체장액 분비 이후에 수집한데 기인된다(Tamminga, 1980). 이남형 등(1985)의 보고에 의하면 면양에서 외견상 흡수율을 측정시에 라이신, 메치오닌이 높은 반면에 히스티딘, 드레오닌, 이소류신, 페닐알라닌 흡수율은 평균 필수아미노산의 흡수율보다 낮게 평가됐다.

마. 내생성 질소 손실

질소의 순수한 흡수율을 계산하기 위해서는 소장내에서 재흡수되지 않은 내생성 질소의 유입에 대한 보정이 필요하다. 소장에 들어가는 내생성 단백질원은 효소, 담즙산, 점막, 혈청알부민, 임파, 상피세포 및 기타 장내 분해성 산물들이다(Swanson, 1982). 전 소화기관에 내생성 질소 총유입은 큰 부분을 차지한다. 비산유 젖소의 경우에는 유지시보다 2배이상이나 면양에서 N^m을 사용해 추적시 소장에 유입되는 NAN량(g/일)은 비분해성 섭취단백질 6.5, 미생물 단백질 10.3, 소장내 분비된 것 17.0이었다(Nolan, 1975). 따라서 내생성 질소는 위로부터 유입되는 NAN량과 거의 같은 수준이었다. 4위액, 체장액, 담즙, 상피세포로부터 오는 십이지장 내용물 중의 질소는 섭취된 건물×0.004로 추정됐다(Tamminga 등, 1979). 산유중인 젖소의 경우 십이지장 내용물 중의 질소는 위로부터 오는 질소의 0.10~0.15수준이었으나 이 결과에는 담즙산이나 체장액이 분비입구 이후에 캐놀라를 설치한 자료는 포함돼 있지 않다. 순수한 소화율이나 내생성 질소 손실은 $Y=a+bX$ 공식에 의해 계산할 수 있다. 여기서 Y는 소화기관내에서 두 기관간의 차이 즉 입과 항문간: 십이지장과 回腸간을 의미하며 X는 소화기관내(입, 십이지장) a기관까지 공급되는 양 또는 농도이다. a는 -수치를 나타내며 내생성손실을 의미하고 b는 순소화율을 의미한다(Van Soest, 1982). 회귀식을 적용하여 면양의 경우도 계산할 수 있다. Hogan 등(1970)은 소장내의 내생성 손실은 십이지장에 유입되는 유기물×0.0016으로 계산했다. 전 소화기관으로부터오는 내생성 손실은 섭취된 유기물×0.004였다. 다음 표 22에는 소장에서 내생성 질소

Table 21. 소장내에서 필수아미노산의 외견상 흡수율

아미노산	면양①	면양②	젖소②	젖소②
라 이 신	0.82	0.77	0.77	0.74
하스티딘	0.59	0.70	0.77	0.73
아 지 닌	0.77	0.79	0.82	0.79
드레오닌	0.64	0.68	0.70	0.71
바 린	0.71	0.72	0.72	0.72
메치오닌	0.82	0.75	0.75	0.61
이소류신	0.63	0.73	0.76	0.72
류 신	0.71	0.74	0.78	0.73
페닐알라닌	0.66	0.69	0.68	0.71
총필수아미노산	0.71	0.73	0.75	0.72

자료: ① 이남형 등(1985)

② Tamminga(1980).

Table 22. 십이지장과 회장에 NAN과 아미노산의 공급, 질소의 외견상 소화율 및 순소화율, 소장에서의 내생성 질소손실

자 료 원	질소분류	십이지장에 공급량 (g/일)	회장에 공급량 (g/일)	소장에서의 외견상소화율 (g/일)	외견상 흡수율	순수한 흡수율	내생성소실①	
							(g/일)	십이지장 내비율
면 양								
Merchen 등(1983)	NAN	22.6	8.0	14.6	0.64	0.75	2.2	0.10
Lu 등(1981)								
Orskove 등(1974)								
비산유 젖소								
Zinn 등(1982)	NAN	102.9	33.8	69.1	0.67	0.68	1.2	0.01
Sharma 등(1974)	NAN	124.5	45.6	78.9	0.63	0.87	29.5	0.24
Sharma 등(1974)	아미노산	615.9	202.3	413.6	0.67	0.83	97.8	0.16
산유 젖소								
Merchen 등(1981)	NAN	442.6	155	287	0.65	0.78	56.0	0.13
Stern 등(1984)	아미노산	2092	609	1455	0.70	0.82	250	0.12

① $Y = a + bX$ 여기서 Y = 소장에서 외견상 흡수율(g/일), X 는 십이지장에 공급량(g/일), a = 비재흡수된 내생성 질소, b 는 순수 소화율

손실량(g/일)을 요약한 자료인데 면양은 2.2g NAN, 산유종 젖소는 56g NAN, 250g 아미노산: 비산유 젖소는 0.77g NAN, 98g 아미노산으로 계산됐다. 또한 면양과 젖소에서 내생성 손실은 십이지장에 유입되는 질소의 0.10과 0.13으로 각각 추정됐다. 비산유젖소의 경우에는 아미노산의 내생성 손실은 위로 공급되는 질소의 0.16으로 추정됐다. 그러나 NAN의 내생성 손실은 십이지장 NAN의 0.01정도로 낮았다.

바. 순수한 질소 흡수율

1) 위로 부터 오는 NAN과 아미노산

회귀방정식으로 부터 소장에서의 내생성 질소 손실뿐만 아니라 순수한 질소 흡수율도 또한 추정이 가능하다(표 22).

십이지장에 공급되는 질소량을 비율로 나타내면 면양

은 0.75 NAN, 비유중인 젖소는 0.78 NAN 또는 0.82 아미노산, 비산유중인 젖소는 0.67 NAN 또는 0.83 아미노산으로 평가했다. 내생성 질소 손실을 십이지장에 공급되는 질소 비율로서 나타냈을 때 순수한 질소 흡수율은 외견상 흡수율과 내생성 질소 손실량(예, 순흡수율 0.75 = 외견상 흡수율 0.65 + 내생성 질소손실 0.10)의 합계이다. 따라서 비산유중인 젖소의 경우 십이지장내 순수한 NAN 흡수율이 낮은 것은 내생성 손실량을 보정한 결과이다. 질소의 순 흡수율을 보고한 결의를 비교한 자료는 다음 표 23과 같다. 면양의 경우 소장으로부터 오는 NAN의 순수한 흡수율은 0.76, 아미노산의 흡수율은 0.80이었고(Hogan과 Weston, 1970), Tas 등(1981)은 면양에서 아미노산의 흡수율은 0.86으로 추정했다. 또한 질소 이용에 관한 Nolan(1975)의 모델을 사용했을 때 십이지장에 공급되는

질소의 순수한 흡수율은 NAN의 0.80이었다. 이상의 결과를 요약했을 때 NAN의 순수흡수율은 십이지장에 들어가는 양의 0.76, 아미노산은 0.83이었다(표 23).

2) 미생물 단백질

미생물 단백질의 순수한 소화율은 역시 표 23에 제시되어 있다. Bergen(1978)은 in vitro에서 일위내 박테리아를 순수분리 배양시에 소화율은 0.44에서 0.93범위였다. Chalupa (1972)와 Zinn 등(1982)은 쥐에서 박테리아의 순수흡수율은 0.66, 프로토조아의 순수흡수율은 0.88로 평가했다. 동위원소 S³⁵를 사용하여 평가했을 때는 0.74(Bird, 1973), 0.85(Salter 등, 1977)이었다. N¹⁵을 사용한 초기 연구에서는 박테리아의 순수 흡수율은 0.41~0.70이었고(Smith 등, 1974), 그후 연구에서는 0.79로 보고 했다(Salter 와 Smith, 1977), 회귀방정식을 이용했을 때는 미생물 태 아미노산의 경우 0.87(Tas 등, 1981), 미생물 태 질소의 경우 0.73(Zinn 등, 1982)로 평가했으나 Zinn 등(1982)은 내생성 손실량이 적기때문에 NAN의 순수흡수율은 외전상흡수율과 유사하다고 했다.

미생물 태 질소는 0.10~0.20핵산 태 질소를 함유하고 있다. Bergen(1978)이나 Smith(1975)는 핵산의 소화흡수

과정도 효과적으로 이뤄지며, 면양이나 소에서 십이지장에 들어가는 핵산의 0.75~0.90 정도가 회장이전에서 제거됐다.

3) 비분해성 단백질

비분해성 단백질의 순수 흡수율은 동위원소를 처리한 식물(植物)이나 회귀방정식으로 평가 할 수 있다. ¹⁵N을 처리한 단백질의 흡수율은 0.85(Salter 등 1977)인 반면에 ¹⁴C을 처리한 염록체 단백질의 흡수율은 0.73~0.82였다(Smith 등, 1974).

회귀방정식에 의하면, 면양에서 비분해성 아미노산의 순수흡수율은 0.82(Tas 등, 1981)였고 비산유젖소에서 비분해성 NAN의 순수흡수율은 0.68(Zinn 등, 1982)로 측정됐다.

4) 내생성 질소

소장에 들어가는 내생성 아미노산의 순수흡수율에 관한 자료는 제한돼 있다. 면양에서 회귀방정식을 이용한 경우 0.78에서 0.84 범위로 보고했다(Tas 등, 1981).

사. 소장조직에서 질소대사

소장으로 부터 흡수되는 대부분의 아미노산 중 상당한 양이 흡수하는 과정에서 대사된다(Bergman 등, 1978:

Table 23. 소장에서 질소의 순수 흡수율 요약

질소구분	측 종	방 법	자 료 원	순수흡수율
NAN	면 양	회귀식	표22	0.78
	면 양	회귀식	Hogan 등(1970)	0.76
	면 양	¹⁵ N	Nolan(1975)	0.80
	산유젖소	회귀식	표 22	0.78
	비산유젖소	회귀식	표 22	0.67
			평 균	0.76
아미노산	면 양	회귀식	Hogan 등(1970)	0.80
	면 양	회귀식	Tas 등(1981)	0.86
	산유젖소	회귀식	표 22	0.82
	비산유젖소	회귀식	표 22	0.83
			평 균	0.83
미생물질소	쥐	분리된 박테리아	Chalupa(1972)	0.66
	쥐	분리된 박테리아	Zinn 등(1982)	0.88
	면 양	³⁵ S-박테리아	Bird(1972)	0.74
	면 양	³⁵ S-박테리아	Salter 등(1977)	0.85
	면 양	¹⁵ N-박테리아	Salter 등(1977)	0.79
	비산유젖소	회귀식	Zinn 등(1982)	0.73
			평 균	0.78
미생물아미노산	면 양	회귀식	Tas 등(1981)	0.87
	면 양	¹⁵ N 있단백질	Salter 등(1977)	0.85
	면 양	¹⁴ C 염록체 단백질	Smith 등(1974)	0.73-0.82
	비산유젖소	회귀식	Zinn 등(1982)	0.68
			평 균	0.77
비분해성 아미노산	면 양	회귀식	Tas 등(1981)	0.82
내생성 아미노산	면 양	회귀식	Tas 등(1981)	0.78-0.84

MacRae, 1978; Tamminga 등, 1980). 소장 조직에서 대사되는 아미노산은 소장으로 부터 없어지는 아미노산량과 혈액에 나타나는 아미노산량과의 차이에 의하여 평가할 수 있다. 면양의 경우 일당 800g의 고농도 단백질과 650g의 중농도 단백질을 섭취시에 소장에서 흡수되는 아미노산의 0.67~0.71%와 0.55~0.57%가 소장벽에 대사됐다(Tagari 등, 1978).

5. 대장에서의 질소대사

반추동물의 맹장이나 대장에서의 발효나 대사는 소장이나 대장에 캐놀라를 설치하는 기술이 발달되기 이전에는 거의 관심을 갖지 못했다. 저수준의 조사료를 섭취한 면양의 경우에 맹장이나 대장에서의 총 유기물 소화율은 40% 미만이었으나(Ulyatt 등, 1975), 고수준의 조사료를 섭취한 소의 경우에는 총열량의 37% 이상이 회腸을 지나서 일어날 수 있다(Zinn과 Owens, 1981). 맹장이나 대장에서의 소화는 제일위내 체제시간, 암모니아 공급, pH 등 소화를 제한시킬 수 있는 요인 때문에 발생하는 제일위내 불완전 소화를 보상할 수가 있다. 이러한 제일위로부터 대장으로 발효장소의 전환은 동물자체에 대한 열량이나 아미노산 이용성, 미생물 단백질 합성 및 糞中 질소 손실을 변경시킬 수 있다. 분중 질소 손실은 반추동물에서 가장 큰 질소 손실원이며 단백질대사 모델에서 고려돼야만 한다. 대장에서의 생리 및 소화에 관해서는 Ulyatt 등(1975), Hoover(1978), Stevens 등(1980), Wrong 등(1981), Orskov(1982) 등이 요약했다.

맹장과 대장에 들어오는 질소는 회腸으로부터 그리고 장벽을 통한 투과에 의하여 행해진다. 맹장으로 부터 넘어오는 질소는 소화되지 않은 사료단백질, 불소화성 사료단백질, 소화되지 않은 미생물 단백질, 소장 전반부에서 분비되거나 탈락된 내생성 질소로 구성된다. 대장에 들어오는 유리아미노산이나 펩타이드량은 중요성이 없다(Clake 등, 1966). Benghedalia(1982)는 소장내 여러부위의 핵산 농도를 기준으로 하여 조사했을 때 어떤 종류의 박테리아는 소장의 후반부에서 자랄 수 있으며 이들이 회腸의 질소 공급원이 된다고 했다. 회腸의 질소는 45~60%가 아미노산태 질소, 3~4%가 핵산태 질소, 1~13%가 암모니아태 질소, 15%가 요소태 질소이다(Clarke 등, 1966; Coelho da Silva 등, 1972; Varit Klooster, 1972). 나머지 8~40%의 질소는 핵소스아민과 장점막그라이코프로틴(glycoprotein)으로 추정된다. 정상적인 사양관리하에서는 회腸으로부터 떠나 대장에 들어가는 질소량은 糞단백질로 떠나는 양보다 많으며 면양에서는 일일

0.5~2g의 순수한 흡수가(Cearke 등, 1966; Hecker, 1971; Orskov 등, 1971; Coelho da Silva, 1972; Thornton 등, 1970), 소에서는 0~5g의 흡수가 이뤄진다(Varit Klooster 등, 1972; Zinn 등, 1982). 그럼에도 불구하고, 일일 回腸을 통과하는 질소량은 糞에서 분비되는 양과 높은 상관관계를 갖고있다(Zinn 등, 1982). 맹장이나 대장으로부터 혈액으로 흡수되는 질소량이나 다른 기관으로 투과에 의한 흡수질소량은 조사료 위주 사양조건에서는 대장내 높은 pH(7~9)에 의하여 증가되며 이는 주로 암모니아 농도에 기인된다. 암모니아는 대장내 미생물에 의하여 미생물 단백질합성에 이용될 수도 있고 혈액으로 흡수되든지 또는 糞질소로 배설된다. 전분, 포도당, 설탕을 인위적으로 주입하여 대장내에서 에너지의 이용성을 증가시키면 糞질소 함량은 증가하는 반면 尿질소의 분비는 감소시킨다(Thornton 등, 1970; Orskov 등, 1971; Mason 등, 1977). 이런 변화는 부분적으로 糞中 미생물 단백질 감소에 기인되기도 하고(Mason 등, 1977), 부분적으로는 糞中 pH 감소와 관련하여 용해성 질소 부분이 증가함에 기인되기도 한다. 尿中 단백질로서 분비되는 질소로부터 糞中 질소로의 전환은 반추동물에서 고전적인 단백질 평가방법, 즉 외견상 소화율, 생물가의 개념, 대사성 분질소 등을 무의미하게 한다. 일반적으로 回腸으로부터 대장에 들어가는 질소량은 糞질소보다 많다 할지라도 질소의 운송정도는 사료, 섭취수준, 동물의 종류나 기타요인에 의하여 좌우될 수 있다. Scharrer(1978)는 in vitro 시험에서 結腸에서의 아미노산 흡수를 설명하였으나 아미노산이 腸 혈액으로 운송된다는 것은 증명하지 못하였다. 대장에서 아미노산의 흡수는 여러 방법으로 추정돼 왔다. 말에서 단백질을 맹장에 infusion시킨다든지, 요소를 공급시에 질소 축적이 증가될 수 있었다(Slade 등, 1970; Reitnour 등, 1972). 또한 맹장으로 부터 ¹⁴C 아미노산이 없어지는 양(Hoover와 Heitman, 1975) 또는 ¹⁵N 미생물 단백질이 없어지는 양(Slade 등, 1971)으로 부터도 아미노산의 흡수를 반영시킬 수 있다. 그러나 이런 유사한 결과는 맹장에서 미생물의 소화작용은 암모니아와 VFA를 생성시키고, 흡수되며, 조직에서 비필수 아미노산의 합성을 위해서 이용될 수 있기 때문에 옳 수도 있다.

맹장이나 대장에서 유리아미노산 농도가 낮은 이유는 상당량의 아미노산이 흡수될 때 유리된 형태에서 이용되지 않는다는 것을 추정할 수도 있다. 대장에서 아미노산 농도가 낮은 이유는 흡수속도가 빠르다든지, 장내 미생물에 의한 아미노산이 분해가 빠르다는 것을 의미할 수도 있다. Wrong 등(1981)은 새로 태어난 어린 동물을 제외하

고는 대장에서 아미노산 흡수는 정량적으로는 중요하지 않다고 주장했다. 그럼에도 불구하고, 흡수된 암모니아는 조직내에서 amination 반응에 이용 될 수 있고, 재순환을 위한 요소합성에도 이용된다.

반추동물에서는 총유기를 소화율의 4~37%가 맹장과 대장에서 일어난다. 휘발성 지방산이나 연쇄고리형 지방산 농도가 높다는 것은 대장에서 발효가 일어난다는 것과 단백질이 분해된다는 것을 의미한다(Kern 등, 1974). 고수준의 배합사료 급여시 젖산생성은 pH를 저하시킬 수 있고(Kern 등, 1974), 암모니아는 부족 될 수도 있다. 포도당, 전분, 젤라틴을 infusion시에 糞질소량과 糞中 미생물 함량(DAP, RNA)이 증가된다(Mason 등, 1977). 가용성에너지도 정상적 사양관리하에서 대장에서의

미생물 단백질 합성을 제한시키는 요인으로 알려졌다.

糞中질소량은 ① 섭취하는 질소 ② 사료 단백질의 순수 소화율이나 대사성 분 질소를 평가하기 위하여 시도되는 건물섭취량이나 분 건물 생성량과도 밀접한 관계가 있다. 사료의 질소수준에 대한 의견상 질소 소화율의 회귀식은 섭취단백질의 순수소화율을 경사도에서 얻을 수 있다. 순수소화율에 관한 많은 시험 성적들이 표 24에 요약돼 있다. 순수소화율은 섭취한 사료 단백질의 85~95%로 평가됐다(표 24). 이들 자료는 전체 소화기관의 평균치이며 특별히 소장에서의 순수소화율을 의미하는 것은 아니다. 여러 종류의 사료에 가스화 에너지 함량이나 단백질원이 다양함에도 불구하고 순수소화율이 비교적 일정하다는 사실은 놀랍다. 또한 대사성 분질소는 kg건물 섭취당

Table 24. 순수 소화율과 대사성 분질소

자료원	순질소소화율	대사성분단백질(g/kg건물)	동물	사료
Anderson 등(1967)	85.4	21	면양	조사료 + 농후
Harris 등(1972)	86.6	31	소	목초
Harris 등(1972)	85.0	21	소	목초
Harris 등(1972)	90.8	38	소	목초
Harris 등(1972)	91.8	40	소	농후사료
Stallcup 등(1975)	90.2	36	소	조사료 + 농후
Boehholt(1976)	83.3	33	소	혼합
NRC(1976)	87.7	26	소	혼합
Swanson(1977)	89.8	29	소	조사료 + 농후
Mason 등(1979)	92.0	30	면양	목초·혼합
Dror 등(1980)	84.0	29	면양	조사료 + 농후
Pieston(1982)	90.3	34	소	혼합
Waldo 등(1982)	86.1	29	소	혼합
Morrison(1959)				
생초(n=65)	89.0	38	소·양	목초
건초(n=75)	87.0	30	소·양	목초
싸일레이(n=25)	82.8	27	소·양	목초
농후사료(n=29)	95.0	38	소·양	농후
총계(n=197)	93.6	35	소·양	목초 + 농후

21~38g 단백질로 평가됐다.

6. 조직에서의 질소 대사

반추동물의 조직에서는 비반추동물에서와 같은 아미노산 대사를 한다. 반추동물의 경우에서도 필수아미노산은 조직에서 적정량이 합성되지 않기 때문에 비반추동물에서와 동일하며, 소화기관내에서 흡수되어야만 한다. 반추동물과 비반추동물에서의 주요한 차이는 단백질의 질이 섭취한 사료에서 보다는 제일위를 떠나는 아미노산의 이용성에 달려 있다. 반추동물도 흡수되는 아미노산의

가장 효율적인 이용을 위해서는 아미노산의 적정비율이 요구되지만 과거 10여년동안 조직내 아미노산 대사연구는 소화기관내 단백질 대사만큼 진전되지 않았다. 반추동물에 대한 아미노산 요구량에 관해서는 상당한 관심을 보여 왔음에도 불구하고 아미노산 요구량에 관한 자료나 정보는 제한돼 있다.

몇몇 아미노산을 반추위를 지나서 투여했을 때 질소균형 개선, 양모생산량, 산유량 증가는 아미노산 요구량이 반추위내 공급과는 다를 수 있다는 것을 추측할 수 있고 고능력우의 경우에 질소 이용효율은 4위에 infusion을 통한 공급으로 향상시킬 수 있다. 아미노산 대사에 관한

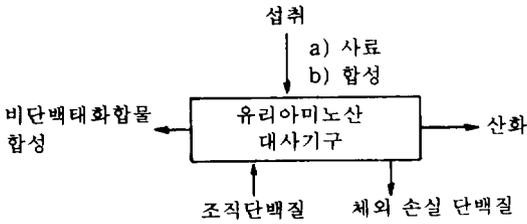


Fig 5. 포유동물에서 아미노산 대사 모델

간단한 도식은 다음 그림 5와 같다.

가. 유리아미노산 대사기구

체내 대부분의 아미노산은 단백질로 펩타이드에 의해 결합돼 있다. 소량의 아미노산은 유리상태로 있으며 대사기구내에서 평형을 이룬다. 유리아미노산의 주요 대사기구는 세포외 및 세포간 조직체액과 혈액에서 행해진다. 혈액에 있는 유리필수아미노산은 조직단백질의 분해와 소화기관으로부터 흡수로 온다. 소장 상 장점막세포에서 일어나는 거의 모든 흡수는 유리아미노산, 디펩타이드, 트리펩타이드 상태이다. 대부분 펩타이드는 장점막에서 유리아미노산으로 가수분해된 다음에 혈액으로 이송된다. 장에서 단백질 소화로부터 유도되는 아미노산의 일부는 단백질 합성을 위해 사용되든지 장세포에 의하여 산화된 다음 도관으로 들어간다. 흡수된 아미노산은 문맥을 통하여 혈액에 의하여 간에 이송된 다음 간조직에 보내진다. 대부분의 이송은 혈장에서 유리아미노산이나 펩타이드처럼 조직에 아미노산을 수송한다는 보고도 있다(McCormick 등, 1982). 조직내 총 유리 아미노산의 농도는 혈장에서 보다 5~10배 높는데 이는 세포가 아미노산을 축적한다는 것을 의미한다. 세포에 의한 유리 아미노산의 섭취는 세포막을 지나는 active transport에 의하지만 유리 아미노산은 계속적으로 세포를 떠난다(Christensen, 1982). 조직과 혈장 내 유리 아미노산 간 분포율은 각기 다른 아미노산에 대하여 운송 체계가 다르기 때문에 다양하다. 조직이 단백질을 합성 할 때는 혈액으로부터 아미노산 흡수가 이뤄지나 사료 에너지나 단백질이 부적절 할 때는 골격근육과 같은 조직으로부터 유리 아미노산 손실이 올 수도 있다. 포유동물의 조직내 혈액으로부터 아미노산의 추출은 단백질 중 아미노산과 비례하지는 않을지도 모른다. 골격 근육을 떠나는 아미노산 비율은 유리 글루타민, 알라닌이 높고, 유리 연쇄형 아미노산 비율은 근육자체내 존재하는 것보다 낮다. 이러한 차이는 근육내 몇몇 아미노산의 분해를 반영하기도하고 알라닌과 글루타민이 암모니아를 간에 운송하는 수단으로서의 역할도 반영한다. 아미노산이나 그 대사물의 기관간 이동

은 모든 체조직의 영양소 요구량을 적절하게 공급하는데 유익 할 수도 있다. 단백질 축적 개념은 어떤 조직에서 단백질이 아미노산으로 분해되는 것에 기초를 둔 것이며 다른 조직에 운송돼 이용된다. 비유 중 젖소의 단백질 축적은 체단백질의 27%로 높게 추정됐다. 유리 아미노산 대사기구의 개념은 그림 5의 도식 보다는 훨씬 복잡하다. 체내 유리 아미노산의 대사기구는 아미노산 크기, 비율, 혈장으로 부터 아미노산 추출 효율에 따라 다양하다. 상당한 양의 아미노산은 유리아미노산 대사기구를 통과한다 할지라도 체내 유리 아미노산의 저장은 제한돼 있고 결과적으로 유지 아미노산은 단백질 합성을 위한 아미노산의 축적을 대표하지는 못한다. 대부분 아미노산은 단백질로 결합돼 있고 과량의 아미노산은 산화된다. 따라서 사료 단백질의 효율적 이용을 위해서는 적절한 수준의 아미노산 균형을 위해 계속 공급해야만 된다.

나. 아미노산의 이용성

유리아미노산 대사기구로 부터 나간 아미노산은 체단백질 합성이나 산화를 위하여 주로 이용된다. 반추동물에서의 포도당 합성(Gluconeogenesis)을 위한 아미노산의 이용에 대해서는 상반된 견해가 있다. Wolff 등(1972)은 면양에서 합성된 포도당의 1~30%는 아미노산으로부터 유도된다고 한 반면에 Bruckental 등(1980)은 고능력 젖소에서는 포도당과 아미노산이 모두 요구량에 부족하기 때문에 불과 포도당의 1~2%만이 아미노산으로부터 유도된다. 어떤 경우이든 포도당 합성을 위한 아미노산의 이용은 대부분 제한된 필수 아미노산의 탄소골격이 이용된다든지 또는 비필수 아미노산의 합성을 위한 전구체가 부족하던지의 경우, 동물의 단백질 요구량과 경합관계에 있다. Tamminga와 Oldham(1980)은 포도당 합성을 위해 이용되는 아미노산의 1/4이상이 필수 아미노산으로부터 유도 될 수 있다고 평가했다.

포도당 합성을 위하여 비필수 아미노산으로부터 탄소를 공급할 목적으로 과잉 단백질을 공급하는 것은 어떤 시점에서는 유익 할 수도 있다. 제한된 양의 몇몇 아미노산은 크레아틴, 핵산, 타이로신과 같은 비단백태 화합물 합성을 위해 이용된다든지 노로 배설된다. 아미노산의 유동은 단백질 합성 쪽이다. 왜냐면 아미노산에서 아미노기를 제거시키는 효소의 Michaelis 상수가 밀리몰(millimolar) 단위인데 비해 단백질 합성을 시작하는 효소의 상수는 마이크로몰(micromolar)단위이기 때문이다. 그러나 한계 또는 그 이상 아미노산 또는 다른 요인들이 단백질 합성을 제한시킬 수 있고, 유리 아미노산도 한 조직에서 다른 조직으로 혈액에 의하여 운송되기 때문에 간에서 아미노산 추출은 산화에 의하여 계속적인 아미노산의

손실 결과로 온다. 소량의 아미노산을 과잉으로 공급하면서 합성효소에 의하여 축적했을 때 과잉의 아미노산이 축적되었으며 혈장에서의 농도도 증가됐다.

다. 단백질 합성

체단백질의 합성과 분해는 계속적이며 다른 조직에 있는 단백질은 물론 동일 조직내 여러 단백질의 전환율도 다르다. 어린 반추동물에서는 상당한 양의 단백질 합성이 골격 근육에서 행해지며 고형분 사료를 급여함에 따라서 소화기관이 발달돼 자연히 소화기관내에서 총 단백질 합성이 비례적으로 증가된다. 소나 면양에서는 총 단백질 합성 중 30~40%는 소화기관에서 일어나며 10~20%는 피부에서, 15~20%는 골격근육에서, 4~8%는 간에서 행해진다. 소화기관과 가축은 총 체단백질의 6~20%를 각각 함유하고 있고 급속한 전환율에 의하여 일당 합성된 총 단백질의 30~40%는 소화기관에서, 10~20%는 가축에서 이뤄진다. 골격근육은 총 체단백질의 40%에 해당되며 성장하는 동물의 경우에는 축적 질소의 약 50%에 상당하나 일일 단백질 합성량에는 약 20%에 불과하다. 단백질 합성은 골격근육에서 보다는 소화기관, 간, 가축부위에서 훨씬 빠르다. 반추동물의 소화기관이 급속한 성장 후에는 소화기관, 간, 가축의 상대적 성장률은 장이나 기관을 제외한 몸 자체 보다는 낮다. 그러나 높은 전환율 때문에 대부분 단백질합성은 역시 골격근육에서 보다는 이들 조직에서 일어난다.

동물이 성숙함에 따라서 체단백질의 순수한 증가는 0에 가깝지만 상당량의 단백질은 계속되는 전환율 때문에 합성도 계속된다. Lobley 등(1980)은 성숙한 젖소에서 단백질 합성은 일당 1.9~3.1kg이지만 비도체 성분에서 일어나는 단백질 합성량은 일일 1.0~2.1kg으로 평가했다. 상당량의 단백질은 포유동물의 유선조직에서 합성된다. 3%의 유단백을 함유한 우유 30kg을 생산하는 젖소는 일일 900g의 단백질을 분비한다. 분비된 단백질의 분해는 거의 없기 때문에 실제로 합성은 일일 900g을 약간 상회한다. 비유가 다른 체조직에서 단백질 합성율을 변경하는지에 관해서는 알려져 있지 않으나 최소한 체조직의 비도체 부분에서의 단백질 합성은 유선조직에서의 합성과 대등하다. 그러나 유단백질로 분해되고, 체외로 손실되는 양 때문에 유단백질 합성을 위한 순수 아미노산 요구량은 훨씬 높다. 조직 단백질이 전환됨에 따라 방출된 상당량의 아미노산은 재 이용될 수도 있다. 그러나 그 효율은 방출되는 필수 아미노산과 합성되는 양과의 관계에 따라서 달라질 수 있다. 하이드록시프로린(Hydroxy-proline)과 3-메틸히스티딘(3-methyl histidine)은 재 이용되지 않기 때문에 이 두 아미노산의 제거는 전환율을 반영하는 표시체로서

이용된다.

단백질의 전환율은 가축체의 총 아미노산 요구 보다는 총 에너지 요구에 비례하여 더 크다.

라. 비단백태 화합물 합성

아미노산은 비단백태 화합물 즉 크레아틴, 글루타치온, 카니틴, 메라닌, 도파민, 에피네프린, 노레피네프린, 타이로이드호르몬, 히스타민, 카노진, 안세린, 타오린, S-아데노실메치오닌, 핵산, 세로토닌, 폴리아민, r-아미노부칠산, 푸린, 피리미딘, 헴, 하이드록시 라이신, 하이드록시 푸로린과 같은 화합물의 합성을 위해서도 사용된다.

필수아미노산은 함유량 아미노산, 일지닌, 라이신, 페닐알라닌, 타이로신, 트립토판, 히스티딘을 포함한다. 이 필수아미노산의 손실은 정량적으로 연구된 바 없으나 아마도 흡수 단백질의 1%미만일 것이다. 크레아틴의 분비는 체중에 비례하고 주로 골격근육에서 행해지는 포스포크레아틴 대사기구에 관련된다. 일일 크레아틴태 질소의 배설은 소의 경우 체중 kg당 3.8~8.4mg, 양의 경우는 8.4mg으로 추정된다. 퓨린 대사의 최종 산물인 알란토인데 질소는 가소화 유기물 섭취와 관련되며 반추위내 미생물로 부터 흡수됐으나 이용되지 않은 퓨린을 반영하며, 건초를 급여한 면양의 경우에는 일일 사료 유기물 kg당 14mg, intragastric infusion에 의하여 역상사료를 급여시에는 일일 사료 유기물 kg당 0.7mg으로 평가됐다(Antoniewicz 등, 1982). 소의 경우 노 중 3-메틸히스티딘의 배설은 체중과 관계가 높고 일일 kg당 0.6~0.7mg으로, 양의 경우에는 조직 단백질로 부터 분해된 3-메틸히스티딘은 정량적으로 보고 되지 않았다. 노중 체조직으로부터 오는 유리 아미노산 배설은 정상조건하에서는 무시할 정도이다.

마. 아미노산의 산화

몸으로부터 오는 아미노산의 중요한 불가역적 손실은 산화에 의한 것이다. 필수 아미노산의 산화는 거의 전부가 반추동물에서는 간에서 일어난다. 비반추동물의 경우에는 골격근육과 기타 간장조직에서 연쇄상 고리형 아미노산의 분해가 상당량 일어나는데 반추동물에서는 그렇지 않다. 반추동물에서 간에서의 아미노산 산화는 서로 다른 영양 및 생리적 조건하에서 상세히 연구되지는 않았지만 상당부분의 유리 아미노산은 간에 의해 혈액으로부터 제거되는 것으로 알려졌다.

유지사양 조건하의 면양에서는 거의 모든 아미노산은 간에 의하여 혈액 혈장으로 부터 제거되는 것처럼 생각된다. 기아상태하에서는 소화기관으로 부터 아미노산의 흡수가 상당히 감소되는데 이때는 간에서 아미노산의 방출로 유지된다. 간으로부터 아미노산의 순수한 방출은

아미노산 운송 형태로서 펩타이드와 적혈구와 관련하여 재조사할 필요가 있다. 아미노산 섭취가 요구량보다 많으면 산화작용이 증가된다. 소화기관으로부터 높은 섭취에 의한 과잉 필수아미노산 또는 한개 이상 아미노산의 결핍에 의한 상대적인 과잉 아미노산은 간에서 산화작용에 의하여 유리 아미노산 대사기구로부터 제거된다. 어떤 단백질은 체조적으로 부터 직접적인 아미노산 손실도 있다. 머리, 발굽, 양모, 우유 중 단백질이나 소화기관내 분비되거나 탈락된 단백질 및 수태시에 축적된 단백질은 체조적으로 부터 오는 대표적인 단백질 손실이다. 머리카나 양모의 성장을 위해서는 총 체단백질과 비교할때 바린, 류신, 이소류신, 라이신, 타이로신과 함유량 아미노산 요구량이 높다.

바. 질소의 배설

아미노산에서 탈아미노기로 부터 오는 요소나 소화기관으로부터 흡수된 암모니아는 요로, 일부는 우유 중 배설되거나 또는 소화기관으로 되돌아 간다. 제일위로 되돌아 오는 질소는 사료에 추가되는 질소로 불수있고 미생물 성장을 위해 이용 할 수 있다. 제일위에 재순환된 질소량은 동물이나 사료조건에 따라 다르다.

Kennedy와 Milligan(1980)은 위내 암모니아 농도와 혈액내 요소가 없어지는 관계를 소에서 회귀식으로 나타냈다.

$$Y = 59 - 0.4 \times 0.00086X^2$$

여기서 Y = 제일위내 혈장 중 요소 없어지는 량(ml/시간/kg체중)

$$X = \text{제일위 암모니아 농도(mgN/l)}$$

Glenn 등(1983)도 혈장 요소 농도와 제일위 암모니아 농도와 관련하여서 회귀방정식을 유도했다.

$$Y = 79.0 + 14.5X$$

여기서 Y = 혈장중 요소태 질소(mgN/l)

X = 제일위내 암모니아태 질소(mgN/100ml) Roffler와 Satter(1975)는 사료 중 조단백질 함량과 TDN함량을 가지고 제일위내 암모니아 농도를 추정하는 방정식을 다음과 같이 유도했다.

$$\text{제일위내 암모니아태 질소(mgN/100ml)}$$

$$= 38.73 - 3.04IP + 0.171IP^2 - 0.49TDN + 0.0024TDN^2$$

여기서 IP = 사료중 조단백질 함량(%)

$$TDN = 1.02 \text{ 가소화 유기물}$$

이상의 결과로부터 재순환되는 요소량을 추정 할 수가 있는데 Kennedy와 Milligan(1980)은 일일 체중의 약 2.5%가 재순환된다고 계산했다. 재순환되는 요소태 질소는 사료 중 질소 수준과도 밀접한 관계가 있는데 다음 두

공식과 같다.

$$(1) Y = 0.1255 + 0.00426X - 0.003886X^2$$

여기서 Y = 재순환된 요소태 질소량(gN/일/Kg체중)

$$X = \text{사료 중 섭취한 조단백질 함량(\%)}$$

$$(2) Y = 121.7 - 12.01X + 0.3235X^2$$

여기서 Y = 재순환된 요소태 질소량(N 섭취량의 %)

$$X = \text{사료 중 섭취한 조단백질 함량(\%)}$$

제일위내 재순환되는 요소태 질소량을 계산하는데는 후자의 공식이 더 편리하다. 이 회귀식에 의하면 4%의 단백질을 함유한 사료는 사료 질소의 86%에 상당하는 요소태 질소가 제일위로 재순환되는데 이는 저단백질을 급여한 사료에서 재순환이 많이 된다는 것을 의미한다. 12% 조단백질을 함유한 사료는 재순환 요소태 질소가 25%로 저하되고, 20% 조단백질을 함유한 사료는 재순환되는 요소태 질소는 불과 섭취한 질소의 7%수준이다.

급속하게 성장하거나 고능력우인 경우에는 위의 회귀식을 유도하는데 사용된 면양에서 보다는 혈장 중 요소농도가 낮다. 조직이나 우유함성은 요소 함성이나 혈장 중 요소농도를 감소시킬수 있다. 따라서 고능력우는 당연히 저능력우 보다 제일위내 요소의 재순환이 낮다. 타액이나 제일위 상피세포가 탈락된 세포로부터 오는 내생성 단백질은 제일위내 미생물들에 질소 공급원이지만, 이에 관한 양적 연구는 제한돼 있다. 더우기 반추위내 상피세포로부터 탈락된 세포 중 케라틴태 질소이용율에 관해서는 알려진 바 없다.

V. 인용문헌

1. ARC, 1980. The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock. pp.121-166. Agricultural Research council Commonwealth Agricultural Bureaux. The Gresham Press, Old Woking, Surrey, England.
2. Akin, D.E., G.L.R. Gordon and J. Hogan 1983. Rumen bacterial and fungal degradation of *Digitaria pentzii* grown with and without sulfur. App. Environ. Microbiol. 46:738
3. Axford, R.F.E., R.A. Evans and N.W. Offer 1971. An automatic device for sampling digesta from the duodenum of the sheep. Res. Vet. Sci. 12:128-131.
4. Amos, H.E. and J. Evans 1976. Supplementary protein for low quality bermudagrass diets and microbial protein synthesis. J. Anim. Sci. 43:861-868.
5. Armstrong, D.G. 1980. Net efficiencies (in vivo) of microbial N synthesis in ruminant livestock. Proceedings of the 3rd EAAP symposium on protein metabolism and nutrition (ed. II. J. Oslage and K. Rohr) pp.400-413.
6. Arambel, M. J., and C.N. Coon 1981. Effect of dietary protein on amino acids and microbial protein of duodenal digesta. J. Dairy Sci. 64:2201-2208.

7. Armstrong, D.G., and K. Hutton 1975. Fate of nitrogenous compounds entering the small intestine. P.432. in *Digestion and Metabolism in the Ruminant*, I. W. McDonald and A.C.I. Warner, eds. Armidale, NSW. Australia: The University of New England Publishing Unit.
8. Armstrong, D.G., G.P. Savage, and D.G. Harrison 1977. Digestion of nitrogenous substances entering the small intestine with particular reference to amino acids in ruminant livestock. p.55 in *Proc. 2nd Int. Symp. on Protein Metabolism and Nutrition*. EAAP Pub. 22. Wageningen, Netherlands.
9. Anderson, M.J., and R.C. Lamb 1967. Predicting digestible protein from crude protein. *J. Anim. Sci.* 24:912 (Abstr.)
10. Antoniewicz, A.M., and P.M. Pisulewski 1982. Measurement of endogenous allantoin excretion in sheep urine. *J. Agric. Sci. Camb.* 98:221.
11. Burroughs, W., D.K. Nelson and D.R. Mertens 1975. Protein physiology and its application in the lactating cow: The metabolizable protein feeding standard. *Journal of Animal Science* 41:933-944.
12. Burroughs, W., D.K. Nelson, and D.R. Merten's 1974. Evaluation of proteing nutrition by metabolizable protein and urea fermentation potential *J. of Dairy Science* 58(4): 611-619.
13. Bauchop, T. 1981. The anaerobic fungi in rumen fibre digestion. *Agric. Environ.* 6:339-
14. Burroughs, W., D.K. Nelson and D.R. Mertens 1975. Evaluation of protein nutrition by metabolizable protein and urea fermentation potential. *J. Dairy Sci.* 58:611.
15. Bailey, C.B. and C.C. Balch 1961. Saliva secretion and its relation to feeding in cattle. 1. The composition and rate of secretion of parotid saliva in a small steer. *Brit. J. Nutr.* 15:371-382.
16. Ben-Ghedalia, D., N.P. McMeruman and D.G. Armstrong 1978. The effect of partially replacing urea nitrogen with protein N on N capture in the rumen of sheep fed a purified diet. *Brit. J. Nutr.* 39:37-44.
17. Buttery, P.J. 1977. Aspect of the biochemistry of rumen fermentation and their implication in ruminant productivity. In *Recent Advances in Animal Nutrition 1977*, edited by W. Haresign and D. Lewis. pp.8-24. Butterworth Inc. England.
18. Beaver, D.E., D.G. Harrison, D.J. Thomson, S.B. Cammell, D.F. Osbourn. 1974. A method for the estimation of dietary and microbial protein in the duodenal digesta of ruminants. *Br. J. Nutr.* 32:99-112.
19. Bauchop, T. and S.R. Elsdon 1960. The growth of microorganisms in relation to their energy supply. *J. Gen. Microbiol.* 23:457-469.
20. Beaver, D.G., D.F. Osbourn, S.B. Cammell and R.A. Terry 1981. The effect of grinding and pelleting on the digestion of Italian ryegrass and timothy by sheep. *Brit. J. Nutr.* 4 6:357-370.
21. Brandt, V.M., K. Rohr, and P. Lebzien 1981. Bietrage zur quantifizierung der N-umsetzungen in den vormgen von milchkuhen. *Z. Tierphysiol. Tierernaehr. Futtermittelkd.* 46:49.
22. Bryant, M.P. and I.M. Robinson 1962. Some nutritional characteristics of predominant culturable ruminal bacteria. *J. Bacteriol.* 84:605-614.
23. Bartely, E.E. and C.W. Dehoe. 1977. Reducing the rate of ammonia release by the use of alternative non-protein nitrogen sources. In W. Haresign, and D. Lewis, (eds), *Recent Advances in Animal Nutrition*, pp.50-65. Butterworths.
24. Bird, P.R. 1973. Sulphur metabolism and excretion studies in ruminants. X II Nitrogen and sulphur composition of rumen bacteria. *Aust. J. Biol. Sci.* 26:1429-1434.
25. Bray, A.C. and A.R. Till. 1975. Metabolism of sulphur in the gastro-intestinal tract. In I.W. McDonald and A.C.I. Warner (eds) *Digestion and Metabolism in the ruminant*, pp.243-260 (Armidale, Australia: Univ. New Engl. Publ. Unit).
26. Bull, L.S. and J.H. Vandersall 1973. Sulphur source for in vitro cellulose digestion and in vivo ration utilization, nitrogen metabolism and sulphur balance. *J. Dairy Sci.* 56:10 6-112.
27. Bird, S.H. and R.A. Leng 1978. The effect of defaunation of the rumen on the growth of cattle on low-protein high-energy diets. *Br. J. Nutr.* 40:163-167.
28. Bauchop, T. and R.T.J. Clarke 1976. Attachment of the ciliate *Epidinium crawleyi* to plant fragments in the sheep rumen. *Appl. Environ. Microbiol.* 32:417-22.
29. Bergen, W.G. 1978. Post-ruminal digestion and absorption of nitrogenous components. *Fed. Proc.* 37:1223-1227.
30. Ben-Ghedalia, D.H. Tagari, A. Bondi, and A. Tadmor 1974. Protein digestion in the intestine of sheep. *Br. J. Nutr.* 31:125-142.
31. Barnard, E.A. 1969. Biological functions of pancreatic ribonuclease. *Nature* 221:340-344.
32. Bergman, E.N. and R.N. Heitmann. 1978. Metabolism of amine acids by the gut, liver, kidneys and peripheral tissues. *Fed. Proc.* 37:1228-1232.
33. Bockholt, H.A. 1976. Nitrogen metabolism of the lactating cow and the role of gluconeogenesis from amino acids. *Meded. Landbouwhogeschool, Wageningen* 76:10.
34. Bruckental, I., J.D. Oldham, and J.D. Sutton. 1980. Glucose and urea kinetics in early lactation. *Br. J. Nutr.* 44:33.
35. Chalupa, W. 1975. Amino acid nutrition of growing cattle. p.175 in *Tracer Studies on Non-Protein Nitrogen for ruminants*. II. *Proc. Res. Coord. Mty. and Panel. Vienna: International Atomic Energy Agency.*
36. Chalupa W. 1980. Methods for estimating protein requirements and feed protein values for ruminants. *Feedstuffs* June 30. 18-20.
37. Chalupa W. 1984. Discussion of protein symposium. *J. Dairy Science* 67:1134-1146.
38. Chalupa, W. 1980. In "Digestive physiology and metabolism in ruminants" (Y. Ruckebush and P. Thivend eds), MTP Press Ltd., Lancaster, England.
39. Cole, N.A., R.R. Johnson, F.N. Owens and J.R. Males 1976. Influence of roughage level and corn processing method on microbial protein synthesis by beef steers. *J. Anim. Sci.* 43:497-503.
40. Czerkawski, J. W. 1974. Methods for determining 2,6-diaminopimelic acids and 2-aminoethyl phosphonic acid in gut

- contents. *J. Sci. Food. Agric.* 25:45-55.
41. Chamberlain, D.G., and P.C. Thomas 1976. Efficiency of bacterial protein synthesis in the rumen of sheep receiving a diet of sugar beet pulp and barley. *J. Sci. Food Agric.* 27:231-238.
 42. Chamberlain, D.G. and Phillip C. Thomas 1980. The effect of urea and artificial saliva on rumen bacterial protein synthesis in sheep receiving a high-cereal diet. *J. Sci. Food Agric.* 31:432-438.
 43. Clarke, R.T.J. 1978. Protozoa in the rumen ecosystem. In R.T.J. Clarke and T. Bauchop (eds.), *Microbial Ecology of the Gut*, pp.251-275. Academic press.
 44. Coleman, G.S. 1975. The interrelationship between rumen ciliate protozoa and bacteria. In I.W. McDonald and A.C.I. Warner (eds.) *Digestion and Metabolism in the ruminant*, pp.149-164.
 45. Chalupa, W. 1972. Metabolic aspects of non protein nitrogen utilization in ruminant animals. *Fed. Proc.* 31:1152-1164.
 46. Chalupa, W. 1978. Digestion and absorption of nitrogenous compounds in ruminants, p.211 in proc. 3rd World Congr. on Animal Feeding. Madrid.
 47. Clarke, E.M.W., G.M. Ellinger, and A.T. Phillipson. 1966. The influence of the diet on the nitrogenous components passing to the duodenum and through the lower ileum of sheep. *Proc. R. Soc., Ser. B* 166:63.
 48. Coelho da Silva, J.F., R.C. Seeley, D.J. Thomson, D.E. Beever, and D.G. Armstrong. 1972. The effect in sheep of physical form on the sites of digestion of a dried lucern diet. 2. Sites of nitrogen digestion. *Br. J. Nutr.* 28:43.
 49. Christensen, H.N. 1982. Interorgan amino acid nutrition. *Physiol. Rev.* 62:1193.
 50. Danfaer, A. 1979. Quantitative protein and energy metabolism in a high yielding dairy cow. In *Protein Utilization in Farm Animals*, Vol. 1. Copenhagen: Inst. Anim. Sci., The Royal Vet. and Agric. Univ.
 51. Danfaer, A., I. Thyssen, and T. Ostergaard. 1980. The effect of the level of dietary protein on milk production, 1. Milk yield, liveweight gain, and health. *Beretning fra statens Husdyrbrugs forsog* 492. Kobenhavn.
 52. Dror, Y., and H. Tagari. 1980. Indirect measurement of metabolic and endogenic nitrogen. *Nutr. Rep. Int.* 21:721-725.
 53. Erfle, J.D., F.D. Sauer, and S. Mahadevan 1977. Effect of ammonia concentration on activity of enzymes of ammonia assimilation and on synthesis of amino acids by mixed rumen bacteria in continuous culture. *J. Dairy Sci.* Vol 60:1064-1072.
 54. Fox, D.G., C.J. Sniffen, and P.J. Van Soest. 1982. A net protein system for cattle: Meeting protein requirements of cattle. In the Proceedings of an International symposium at Oklahma State University. Januaring 1980. MD-109. pp. 280-295.
 55. Fox, D.G. R.G. Gickenberger, W.G. Bergen and J.R. Black 1977. A net protein system for predicting protein requirements and feed protein values for growing and finishing cattle. *Mich. Agr. Expt. Sta. Res. Report* 328:163-176.
 56. Ganey, G., E.R. Orskov, and R.Smart 1979. The effect of roughage or concentrate feeding and rumen retention time on the total degradation of protein in the rumen. *Jour. Agric. Sci., Cambridge.* 93:651-656.
 57. Harrison, D.G. and A.B. McAllan 1980. In "Digestive Physiology and metabolism in ruminants". (Y. Ruckebusch and P. Thivend, eds), MTP Press Ltd, Lncaster, England.
 58. Hume, I.D. 1970. Synthesis of microbial protein in the rumen III. The effect of dietary protein. *Aust. J. Agric. Res.* 21: 305-314.
 59. Harris, L.E. and A.T. Phillipson 1962. *Animal production* 4:97-110.
 60. Hume, I.D. 1970. Synthesis of microbial protein in the rumen. III. The effect of dietary protein. *Australian Jour. Agric. Research* 21:305-314.
 61. Hume, I.D. and P.R. Bird 1970. Synthesis of microbial protein in the rumen. IV. The influence of the level and form of dietary sulfur. *Australian Jour. Agric. Res.* 21:315-322.
 62. Hume, I.D., R.J. Moir and M. Somers, 1970. Synthesis of microbial protein in the rumen. I. Influence of the level of nitrogen intake. *Australian J. Agri. Res.* 21:283-296.
 63. Harrison, D.G., D.E. Beever, D.J. Thomson and D.F. Osbourn, 1975. Manipulation of rumen fermentation in sheep by increasing the rate of flow of water from the rumen. *J. Agric. Sci. Cambridge* 85:93-101.
 64. Harrison, D.G., D.E. Beever, D.J. Thomson and D.F. Osbourn, 1976. Manipulation of fermentation in the rumen. *J. Sci. Food. Agr.* 27:617-620.
 65. Harrison, D.G., and A.B. McAllan. 1979. Factors affecting microbial growth yields in the reticulo-rumen. In *Digestive physiology and Metabolism in Ruminants* edited by Y. Ruckebusch and P. Thivend. pp.205-226.
 66. Harmeyer, I., H. Martens, and H. Holler (1975). Incorporation of S by rumen micro-organisms in vitro at various growth rates. In *Tracer Techniques in studies on the use of Non-protein Nitrogen in Ruminants*, pp.7-14. (Vienna: IAEA).
 67. Hvelplund, T., and P.D. Moller. 1976. Nitrogen metabolism in the gastrointestinal tract of cows fed silage. *Z. Tierphysiol. Tierernachr. Futtermittelkd.* 37:183.
 68. Hume, I.D., and D.B. Purser 1974. Ruminant and post-ruminal protein digestion in sheep fed on subterranean clover harvested at four stages of maturity. *Aust. J. Agric. Res.* 25:199-208.
 69. Hodgson, J.C. and P.C. Thomas 1975. A relationship between the molar proportion of propionic acid and the clearance rate of the liquid phase in the rumen of the sheep. *Br. J. Nutr.* 33:447-456.
 70. Hobson, P.N. and R. Summers 1972. ATP pool and growth yield in *Selenomonas ruminantium*. *J. Gen. Microbiol.* 70:351-360.
 71. Hungate, R.E., T. Reichl and R. Prnns 1971. Parameters of rumen fermentation in a continuously fed sheep: evidence of a microbial rumination pool. *Appl. Microbiol.* 22:1104-1113.
 72. Harrison, D.G., D.E. Beever, and D.F. Osbourn 1979. The contribution of protozoa to the protein entering the duodenum of sheep. *Br. J. Nutr.* 41:521-527.
 73. Hogan, J.P., and R.H. Weston 1970. Quantitative aspects

- of microbial protein synthesis in the rumen p.474 in physiology of Digestion and Metabolism in the Ruminant. A.T. Pholpson, ed Newcastle upon Tyne: Oriel press.
74. Hume, I.D., D.R. Jacobson, and G.E. Mitchell 1972. Quantitative studies on amino acid absorption in sheep. *J. Nutr.* 102:495-506.
 75. Hoover, W.H. and R.N. Heitmnn. 1975. Cecal nitrogen metabolism and amino acid absorption in the rabbit. *J. Nutr.* 105:245.
 76. Hecker, J.F. 1971. Metabolism of nitrogenous compounds in the large intestine of sheep. *Br. J. Nutr.* 25:85-95.
 77. Harris, C.I., and G. Milne. 1981. The excretion of N-methyl histidine by cattle: Validation as an index of muscle protein breakdown. *Br. J. Nutr.* 45:411-422.
 78. Isaacson, H.R., F.C. Hinds, M.P. Bryant and F.N. Owens 1975. Efficiency of energy utilization by mixed rumen bacteria in continous culture. *J. Dairy Sci.* 58:1645-1659.
 79. Jouany, J.P. 1978. Contribution a l'etude des protozoaires cilies du rumen: leur dynamique, leur role dans la digestion et leur interet pour le ruminant. These, University de Clermont-Ferrand II.
 80. Jones, J.T.m, and W.C. Bergen 1973. Studies on amino acid uptake by ovine small intestine. *J. Nutr.* 103:1581-1586.
 81. Kaufmann, W. 1977. Calculation of the protein requirements of n metabolism. In "Proceedings of the second International Symposium on Protein Metabolism and Nutrition." edited by S. Tamminga. Published by canter for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, Netherlands.
 82. Kowalczyk, J., E.R. Orskov, J.J. Robinson and C.S. Stewart 1977. Effect of fat supplementation on voluntary food intake and rumen metabolism in sheep. *Br. J. Nutr.* 37:251-257.
 83. Kay, R.N.B. 1960. The rate of flow and composition of various salivary secretions in sheep and calves. *J. Physiol.* 150:515-537.
 84. Kennedy, P.M. and L.P. Milligan 1978. Effects of cold exposure on digestion, Microbial synthesis and nitrogen transformations in sheep. *Br. J. Nutr.* 39:105-117.
 85. Kennedy, P.M., R.J. Christopherson and L.P. Milligan 1976. The efficiency of microbial synthesis. *Brit. J. Nutr.* 36:231-242.
 86. Kennedy, P.M. and L.P. Milligan 1978. Effects of cold exposure on digestion, microbial synthesis and nitrogen transformations in sheep. *Brit. J. Nutr.* 39:105-117.
 87. Kropp, J.R., R.R. Robinson, J.R. Males and F.N. Owens 1977. Microbial protein synthesis with low quality roughage rations: Isonitrogenous substitution of urea for soybean meal. *J. Anim. Sci.* 46:837-843.
 88. Kennedy, P.M., R.T.J. Clarke, and L.P. Milligan 1981. Influences of dietary sucrose and urea on transfer of endogenous urea to the rumen of sheep and numbers of piteal bacterial. *Br. J. Nutr.* 46:533-541.
 89. Kennedy, P.M. and L.P. Milligan 1978. Quantitative aspects of the transformations of sulphur in sheep. *Br. J. Nutr.* 39:165.
 90. Kern, D.L., L.L. Slyter, E.C. Leffel, J.M. Weaver, and R.R. Oitjen 1974. Ponies vs steers: Microbial and chemical characteristics of intestinal digesta. *J. Anim. Sci.* 38:559.
 91. Landis, J. 1979. Die protein-und energieverorgung der Milchkuh Schweiz. *Landwirtsch. Monatsch.* 57:381.
 92. Lee, Nam-Hyung and E.R. Orskov 1982. 면양에서 소립자의 제일위 통과속도에 관한 연구 *한국축산학회지* 24:267-273.
 93. Lee, Nam-Hyung, E.R. Orskov and C.S. Kim 1982. 젖소의 제일위내에서 단백질의 분해율에 관한 연구 *한국축산학회지* 24:351-256.
 94. Lee, Nam-Hyung and D.G. Armstrong 1985. 면양의 제일위내 미생물단백질 합성에 미치는 요인과 소장에서 아미노산이용에 관한 연구 I. 제일위 미생물 단백질합성 *한국축산학회지* 27:443-460.
 95. Lee, Nam-Hyung, J.A. Rooke and D.G. Armstrong 1985. 개미산 또는 개미산과 퍄롤 알데하이드를 처리한 목초싹일레지가 Jersey 미경산우의 제일위내 미생물 단백질 합성과 단백질 분해율에 미치는 영향. *한국축산학회지* 27:499-503.
 96. Leibholz, J., and P.E. Hartmann 1972. Nitrogen metabolism in sheep. 1. The effect of protein and energy intake on the flow of digesta into the duodenum and on the digestion and absorption of nutrient. *Aust. J. Agric. Res.* 23:1059.
 97. Lee, Nam-Hyung, J.A. Rooke and D.G. Armstrong 1986. The digestion by sheep of barley and maize-based diets containing either meat and bone meal or soybean meal. *Animal Feed Science and Technology.* 15:301-310.
 98. Leng, P.A. and T.R. Preston 1976. Sugar cane for cattle production: present constraints, perspectives and reasearch priorities. *Trop. Animal Prod.* 1:1-22.
 99. Laughren, L.C. and B.W. Young 1979. Duodenal nitrogen flow in response to increasing dictary crude protein in sheep. *J. Animal Sci.* 49:211-220.
 100. Lee, Nam Hyng and D.G. Armstrongy 1985. 면양의 제일위내 미생물 단백질 합성에 미치는 요인과 소장에서 아미노산이용에 관한 연구 III. 소장에서 아미노산 이용. *한국축산학회지* 27:515-524.
 101. Lu, C.D., N.A. Jorgensen, R.J. Early, and K.B. Smith 1981. Flow of nitrogenous compounds in the gastro-intestinal tract of sheep fed alfalfa protein concentrate prepared by vanous methods. p.415 in *Am. Soc. Anim. Sci. (Abstr.)*.
 102. Lobley, G.E., V. Milne, J.M. Lovie, P.J. Reeds, and K. Pennie. 1980. Whole body and tissue protein synthesis in cattle. *Br. J. Nutr.* 43:491.
 103. Maeng, W.J. and R.L. Baldwin 1976. Factors influencing rumen microbial growth rates and yields: Effects of urea and amino acids over time *Jour. Dairy Sci.* 59:643-647.
 104. Mehrez, A.Z. 1977. Assessment of nitrogen requirements for rumen fermentation in sheep. Ph. D. Thesis, University of Aberdeen, Scotland.
 105. Mohammed, O.E. and R.H. Smith 1977. *Proceedys of Nutrition Society* 36:152A.
 106. Mehrez, A.Z. and E.R. Orskov 1977. A study of the artificial fibre bag technique for determining the digestibility of feeds in the rumen. *J. Agric. Sci. Camb.* 88:645-650.
 107. Mehrez, A.Z., E.R. Orskov and J. Obstvedt 1980. Precessing factors affecting the degradability of fish meal in the rumen. *J. Anim. Sci.* 50:737-744.
 108. Mathers, J.C. and E.L. Miller 1980. A simple procedure using S incorporation for the measurement of microbial and

- undegraded food protein in ruminant digesta. *Br. J. Nutr.* 43:503-515.
109. Mercer, J.R., S.A. Allen and E.L. Miller. 1980. Rumen bacterial protein synthesis and the proportion of dietary protein escaping degradation in the proportion of dietary protein escaping degradation in the rumen of sheep. *Brit. J. Nutr.* 43:421-433.
 110. Moller, P.D., and T. Hvelplung 1982. Nitrogen metabolism in the forestomachs of cows fed ammonia treated barley straw and supplemented with increasing amounts of urea or soybean meal. *Z. Tierphysiol. Tierernachr. Futtermittelkd.* 48:46.
 111. Merchen, N.R., and L.D. Satter. 1983. Digestion of nitrogen by lambs fed alfalfa conserved as baled hay or as law moisture silage. *J. Anim. Sci.* 56:943-951.
 112. Merchem, N.R., and L.D. Satter 1983. Changes in nitrogenous compounds and sites of digestion of alfalfa harvested at different moisture contents. *J. Dairy Sci.* 66:789-801.
 113. Mathers, J.C. and E.L. Miller. 1981. Quantitative studies of food protein degradation and the energetic efficiency of microbial protein synthesis in the rumen of sheep given chopped lucerne and rolled barley. *Brit. J. Nutr.* 45:587-604.
 114. Merchen, N., T. Hanson, and T. Klopfenstein 1979. Ruminant bypass of brewers dried grains protein. *J. Anim. Sci.* 49:192-198.
 115. McAllan, A.B., and R.H. Smith 1983. Estimation of flows of organic matter and nitrogen components in postruminal digesta and effects of level of dietary intake and physical form of protein supplement on such estimates. *Brit. J. Nutrition.* 49:119-127.
 116. Miller, E.L. 1973. Evaluation of foods as sources of nitrogen and amino acids. *Proc. Nutr. Soc.* 32:79-84.
 117. McMeniman, N.P., D. Ben-Ghedalia and R. Elliott 1976. Sulphur and cystine incorporation into rumen microbial protein. *Br. J. Nutr.* 36:571-574.
 118. McAllan, A.B. and R.H. Smith (1976). Effect of dietary nitrogen source on carbohydrate metabolism in the rumen of the young steer. *Br. J. Nutr.* 36:511-522.
 119. McMeniman, N.P. 1975. Aspects of nitrogen digestion in the ruminant. Ph. D. Thesis. University of Newcastle University of Newcastle Upon Tyne.
 120. McAllan, A.B. and R.H. Smith 1974. Carbohydrate metabolism in the ruminant. Bacterial carbohydrates formed in the rumen and their contribution to digesta entering the duodenum. *Br. J. Nutr.* 31:77-78.
 121. Merchen, N.R. 1981. Effect of conservation method on digestion of alfalfa by ruminants. Ph. D. Thesis. University of Wisconsin.
 122. MacRae, J.C. 1978. Nitrogen transaction in the gut and tissues. p.6 in *Ruminant Digestion and Feed Evaluation*. By D.F. Osbourn et. eds. London. ARC.
 123. Mason, V.C., M.P. Narang, J.C. Ononwu, and P. Kessank. 1977. The relationship between nitrogen metabolism in the hindgut and nitrogen excretion. In *2nd Int. Symp. on Protein Metabolism and Nutrition*, Wageningen: Netherlands.
 124. Mason, V.C., and J.H. Fredericksen. 1979. Partition of the nitrogen in sheep faeces with detergent solutions, and its application to the estimation of the true digestibility of dietary nitrogen and the excretion of non dietary fecal nitrogen. *Z. Tierphysiol, Tierernaehr. Futtermittelkd.* 41: 121.
 125. Morrison, F.B. 1959. *Feeds and Feeding*, Clinton Iowa: Morrison Publishing Co.
 126. McCormick, M.E., and K.E. Webb, Jr. 1982. Plasma free, erythrocyte free and plasma peptide amino acid exchange of calves in steady state and fasting metabolism. *J. Nutr.* 112:276.
 127. NRC. 1985. *Ruminant Nitrogen Usage*. National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C.
 128. National Research Council. 1978. *Nutrient Requirements of Dairy cattle*. 5th rev. ed. Washington, D.C. National Academy of Sciences.
 129. Nolan, J.V., B.W. Norton and R.A. Leng 1976. Further studies of the dynamics of nitrogen metabolism in sheep. *Br. J. Nutr.* 35:127-147.
 130. Nolan, J.V. and R.A. Leng 1972. Dynamic aspects of ammonia and urea metabolism in sheep. *Brit. J. Nutr.* 27: 177-194.
 131. Nikolic, J.A. 1977. Evaluation of methods for estimating microbial protein synthesis in the contents of the fore stomachs. In *Proceedings of the Second International Symposium on protein metabolism and Nutrition*, pp.44-46. (Wageningen, Netherlands).
 132. Nolan, J.V. 1975. Quantitative models of nitrogen metabolism in sheep. p.416 in *Digestion and Metabolism in the Ruminant*. I.W. McDonald and A.C.I. Warner, eds. Armidale, Australia.
 133. National Research Council. 1976. *Nutrient Requirements of Beef cattle*, 5th rev. ed. Washington, D.C.: National Academy of Sciences.
 134. Orskov, E.R., I. McDonald and M. Hughes-Jones 1980. In "Recent advances in animal nutrition (W. Haresign and D. Lewis eds)". Butterworths, London.
 135. Offer, N.W., R.F.E. Axford and R.A. Evans 1978. The effect of dietary energy source on nitrogen metabolism in the rumen of sheep. *Brit. J. Nutr.* 40:35-44.
 136. Oldham, J.D., P.J. Buttery, H. Swan and D. Lewis 1977. Interactions between dietary carbohydrates and nitrogen and digestion in sheep. *J. Agn. Sci. Camb.* 89:467-479.
 137. Offer, N.W., Axford, R.E. and R.A. Evans. 1979. The effect of dietary energy on nitrogen metabolism in the rumen of sheep. *Br. J. Nutr.* 40:35-44.
 138. Oldham, J.D. and S. Tamminga 1980. Amino acid utilization by dairy cows. I. Methods of varying amino acid supply. *Livestock product. Sci.* 7:437.
 139. Orskov, E.R., C. Fraser, I. McDonald, and R.I. Smast 1974. Digestion of concentrates in sheep. 5. The effect of adding dish meal and urea together to cereal diets on protein digestion and utilization by young sheep. *Br. J. Nutr.* 31:89-98.
 140. Orskov, E.R. 1982. *Protein Nutrition in Ruminants*. New York: Academic Press.
 141. Orskov, E.R., C. Fraser, and I. McDonald. 1971. Digestion of concentrates in sheep. 2. The effect of urea or fish-meal supplementation of barley diets on the apparent digestion

- of protein, fat, starch, and ash in the rumen, small intestine and the large intestine and calculation of VFA production. *Br. J. Nutr.* 25:243.
142. Playne, M.J., M.G. Eschevarria, and R.G. Megarrry, 1978. Release of N, S, P, Ca, Mg, K and Na from fow tropical hays during their digestion in nylon bags in the rumen. *J. Sci. Food. Agric.* 29:520-526.
 143. Papasalomontas, S.A. 1977. Studies on the digestion of heat processed cereals by the adult sheep. Ph. D Thesis, University of Newcastle Upon Tyne, England.
 144. Punia, B.S. and J. Leibholz 1984. Protozoal nitrogen in the stomach of cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 64 (Suppl.):24-25.
 145. Phillips, W.A., K.E. Webb, and J.P. Fontenot 1976. In vitro absorption of amino acids by the small intestine of sheep. *J. Anim. Sci.* 42:201-207.
 146. Preston, R.L. 1982. Empirical value of crude protein systems for feedlot cattle. p.201 in *Protein Requirements of cattle: Proceedings of an International Symposium*, Oklahoma State University.
 147. Roy, J.H.B, Balch, C.C., Miller, E.L, Orskov, E.R. and Smith R.H. 1977. In *Protein Metabolism and Nutrition EAAP Publ. No. 22* (Ed. S. Tamminga), pp.126-129. Centre for Agricultural Publishing and documentation, Wageningen, Netherlands.
 148. Reichl, J.R. and R.L. Baldwin (1975). Rumen modelling: rumen input-output balance models, *J. Dairy Sci* 58:879-890.
 149. Roberts, S.A. and E.L. Miller (1969). *Proc. Nutr. Soc.* 28:32A.
 150. Robinson, P.H. 1983. Development and initial testing of an in vivo system to estimate rumen and whole tract digestion in lactating dairy cows. Ph. D. Thesis, Cornell University.
 151. Rode, L.M., D.C. Wearley, and L.D. Satter 1985. Effect of forage amount and particle size in diets of lactating dairy cows on site of digestion and microbial protein synthesis. *Can. J. Anim. Sci.* 65:101-111.
 152. Roffler, R.E., C.G. Schwab, and L.D. Satter 1974. Influence of urea intake on ruminal ammonia concentration. *J. Dairy Sci.* 57:631-632.
 153. Russell J.B. and R.L. Baldwin 1978. Substrate preferences in rumen bacteria: evidence of catabolite regulatory mechanisms. *Appl. Environ. Microbiol.* 36:319-329.
 154. Roth, F.X., and M. Kirchgessner 1980. Contribution of dietary nucleic acids to the N metabolism. Paper 9. Proc. 3rd EAAP Symposium on Protein Metabolism and Nutrition Braunschweig.
 155. Reitnour, C.M., and R.L. Salisbury 1972. Digestion and Utilization of cecally infused protein by the equine. *J. Anim. Sci.* 35:1190-1193.
 156. Satter, L.D., and R.E. Roffler 1975. Nitrogen requirement and utilization in dairy cattle. *J. Dairy Science* 58:1219-1237.
 157. Satter L.D. 1982. A metabolizable protein system keyed to ruminal ammonia concentration - The Wisconsin system. In *The Proceedings of an International Symposium at Oklahoma State University*, January 1980. MP-109. pp.245-264.
 158. Satter, L.D. and R.E. Roffler. 1977. Influence of nitrogen and carbohydrate inputs on rumen fermentation. In *Recent Advances in Animal Nutrition 1977*, edited by W. Häresign and D. Lewis. pp.25-49. Butterworth Inc., Boston, U.S.A.
 159. Salter, D.N., K. Daneshvar, and R.M. Smith 1979. The origin of nitrogen incorporated into compounds in the rumen bacteria of steers given protein and urea-containing diets. *Brit. J. Nutr.* 41:197-209.
 160. Stern, M.D. and W.H. Hoover, 1979. Methods for determining and factors affecting rumen microbial protein synthesis. A Review. *J. Anim. Sci.* 49:1590-1603.
 161. Stern, M.D., W.H. Hoover, C.J. Sniffen, B.A. Crooker and P.H. Knowlton 1978. Effects of non-structural carbohydrate, urea and soluble protein levels on microbial protein synthesis in continuous culture of rumen contents. *J. Anim. Sci.* 47:944.
 162. Smith, R.H. 1975. Nitrogen metabolism in the rumen and the composition and nutritive value of nitrogen compounds entering the duodenum. In I.W. McDonald and A.C.I. Walker, (Eds), *Digestion and Metabolism in the ruminant*, pp.399-415. (Armudale, Australia).
 163. Stern, M.D., M.E. Ortega, and L.D. Satter 1983. Retention time in rumen and degradation of protein supplements fed to lactating dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 66:1264-1271.
 164. Santos, K.A., M.D. Stern and L.D. Satter 1982. Protein degradation in the rumen and amino acid absorption in the small intestine of lactating dairy cattle fed various protein sources. *J. Anim. Sci.* 58-244.
 165. Sutton, J.D., R.H. Smith, A.B. McAllan, J.E. Stary and D.A. Corse. 1975. Effect of variations in dietary protein and of supplements of cod-liver oil on energy digestion and microbial synthesis in the rumen of sheep fed hay and concentrates. *J. Agric. Sci. Camb.* 84:317-326.
 166. Stouthamer, A.H. 1977. Energetic aspects of the growth of microorganisms. In B.A. Haddock and W.A. Hamilton (eds.) *Microbial Energetics*, pp.285-315.
 167. Stouthamer, A.H. and C.W. Bettenhausen 1973. Utilization of energy for growth and maintenance in continuous and batch cultures of micro-organisms. A reevaluation of the method for the determination of ATP production by measuring molar growth yields. *Biochim. Biophys. Acta.* 301:53-70.
 168. Satter, L.D. and L.L. Slyter 1974. Effect of rumen ammonia concentration on rumen microbial production in vitro. *Br. J. Nutr.* 34:199-208.
 169. Smith, R.H. and O.E. Mohamed 1977. Effect of degradation in the rumen on dietary protein entering the ruminant duodenum. *Proc. Nutr. Soc.* 36:153A.
 170. Stern, M.D., and L.D. Satter 1982. In vivo estimation of protein degradability in the rumen. p.57 in *Protein Requirements for cattle: Proceedings of an International symposium*, F.N. Owens, ed. MP-109. Oklahoma state University.
 171. Smith, R.H. 1979. Synthesis of microbial nitrogen compounds in the rumen and their subsequent digestion. *J. Anim. Sci.* 49:1604-1614.
 172. Scharrer, E., and B. Amann 1980. Intestinal Transport of amino acids and Pyrimidines in sheep. paper 12. Proc. 3rd EAAP symp. on Protein Metabolism and Nutrition. Braunschweig.

173. Stern, M.D., A. Santos and L.D. Satter 1984. Protein degradation and amino acid absorption. *J. Dairy Sci.*
174. Swanson, E.W. 1982. Estimation of metabolic protein requirements to cover unavailable losses of endogenous nitrogen in maintenance of cattle. p.183 in *Protein Requirements of cattle: Proceedings of an International Symposium*, F.N. Owens, ed. MP-109. Oklahoma State University.
175. Sharma, H.R., J.R. Ingalls and R.J. Parker 1974. Effects of treating rape seed meal and casein with formaldehyde on the flow of nutrients through the gastro-intestinal tract of ofistulated Molstein Steers. *Can. J. Anim. Sci.* 54:305-313.
176. Salter, D.N. and R.H. Smith. 1977. Digestibilities of nitrogen compounds in rumen bacteria and in other compounds of digesta in the small intestine of the young sheep. *Br. J. Nutr.* 38:207-216.
177. Smith, R.H., D.N. Salter, J.D. Sutton, and A.B. McAllan 1974. Synthesis and digestion of microbial nitrogen compounds and VFA production by the vivine. p.81 in *Tracer Studies on non-protein nitrogen for ruminants. III*. Vienna: International Atomic Energy Agency.
178. Stevens, C.E., R.A. Argenzis, and E.T. Clemens. 1980. Microbial digestion: Rumen versus large intestine. pp.685-706 in *Digestive Physiology and Metabolism in Ruminants*. Y. Ruckebusch and P. Thivend, eds. AVI. Publ. Co.
179. Scharrer, E. 1978. Comoarative amino acid uptake at the serosal side of colon mucosa. *Pflugers Arch.* 376:245.
180. Slade, L.M., D.W. Robinson, and K.E. Casey. 1970. Nitrogen metabolism in nonruminant herbivores. I. The influence of non protein nitrogen and protein quality on the nitrogen retention of adult mares. *J. Anim. Sci.* 30:753-759.
181. Stallcup, O.T., G.V. Davis and L. Shields. 1975. Influence of dry matter and nitrogen intakes on fecal nitrogen losses in cattle. *J. Dairy Sci.* 58:1301-1307.
182. Swanson, E.W. 1977. Factors for computing requirements protein for maintenance of cattle. *J. Dairy Sci.* 60:1583-1593.
183. Trenkle, A. 1982. The metabolizable protein feeding standard. pp.238-244 in *Protein Requirements for cattle: Proceedings of an International symposium at Oklahoma State University*.
184. Tamminga, S. 1983. Recent Advances in our Knowledge on protein digestion and Absorption in ruminants. In 4th Int. Symp. Protein metabolism and nutrition edited by INRA Publ. Clermont-Ferrand pp.263-287.
185. Tamminga, S. 1981. Effect of the roughage / concentrate ratio on itрге entering the small intestine of dairy cows. *Nether. J. Agric. Sci.* 29:273-283.
186. Tamminga, S., C.J. Van Der Koelen ad A.M. Van Vuuren 1979. Effect of the level of feed intake on nitrogen entering the small intestine of dairy cows. *Livestock Production Science* 6:255-262.
187. Tamminga, S. 1981. Effect of frequency of feeding concentrate diets on N entering the small intestine of dairy cows. p.87 in *Proc. Amino Acid Symposium, Warsaw*.
188. Thomson, D.J., D.E. Beaver, C.R. Lonsdale, M.J. Haines, S.B. Cammell, and A.R. Autin 1981. The digestion by cattle of grass silage made with formic acid and formic acid-formaldehyde. *Brit. J. Nutr.* 46:193-
189. Taylor, R.B. 1962. Pancreatic secretion in the sheep. *Res. Vet. Sci.* 3:63.
190. Tamminga, S. 1980. Amino acid supply and utilization in ruminants. Paper 42. *Proc. 3rd EAAP symposium on Protein Metabolism and Nutrition*. Braunschweig.
191. Tamminga, S., C.J. Van Der Koelen, and A.M. Van Vuuren. 1979. Effect of level of feed intake on nitrogen entering the small intestine of dairy cows. *Livestock Prod. Sci.* 6:255.
192. Tas, M.V., R.A. Evans, and R.F.E. Exford. 1981. The digestibility of amino acids in the small intestine of the sheep. *Br. J. Nutr.* 45:167-174.
193. Tagari, H., and E.N. Bergman. 1978. Intestinal disappearances and portal blood appearance of amino acids in sheep. *J. Nutr.* 108:790-803.
194. Thornton, R.F., P.R. Bird, M. Sommers, and R.J. Moir. 1970. Urea excretion in ruminants. III. The role of hind-gut (caecum and colon) *Austr. J. Agric. Res.* 21:345.
195. Tamminga, S., and J.D. Oldham. 1980. Amino acid utilization by dairy cows. II. Concept of amino acid requirements. *Livestock Prod. Sci.* 7:453.
196. Ulyatt, M.J., J.C. MacRae, R.T.J. Clarke and P.D. Pearce. 1975. Quantitative digestion of fresh herbage by sheep. IV. Protein synthesis in the stomach. *J. Agric. Sci. Camb.* 84:453-458.
197. Ushida, K., J.P. Jouany, B. Lassalas, and P. Thivend 1984. Protozoal contribution to nitrogen digestion in sheep. *Can. J. Animal. Sci.* 64 (suppl.):20-21.
198. Verite, R., M. Journet and R. Jarrige. 1979. A new system for the protein feeding of ruminants: The PDI system. *Livestock Production Science* 6:349-367.
199. Van Soest, P.J., C.J. Snuffen, D.R. Mertens, D.G. Fox, P.H. Robinson and U. Krishnamoorthy 1982. A net protein system for cattle: The rumen submodel for nitrogen. In the proceedings of an International symposium at Oklahoma State University. January 1980. MP-109. pp. 265-279.
200. Ttabvan Nevel, C.J. and D.I. Demeyer 1977. Determination of rumen microbial growth in vitro from P-labelled phosphate incorporation. *Brit. J. Nutr.* 38:101-114.
201. Veira, D.M., G.K. MacLeod, J.H. Burton and J.B. Stone 1980. Nutrition of the weaned Holstein calf. I. Effect of dictary protein level on rumen metabolism. *J. Anim. Sci.* 50:937-944.
202. Van't Klooster, A. T., and H.A. Boekholt 1972. Protein digestion in the stomachs and intestines of the cow *Netheo, J. Agric. Sci.* 20:272.
203. Van Soest, P.J. 1982. *Nutritional ecology of the ruminants*. Corvallis, Ore, O & B Books, Inc.
204. Wallace, R.J. 1979. Effect of ammonia concentration on the composition, hydrolytic activity and nitrogen metabolism of the microbial flora of the rumen. *Jour. of Applied Bacteriology* 47:443-455.
205. Walker, D.J., A.R. Egan, C.J. Nader, M.J. Ulyatt and G.B. Storer. 1975. Rumen microbial protein synthesis and proportions of microbial and nomicrobial nitrogen flowing to the intestines of sheep. *Aust. J. Agric. Res.* 26:699-
206. Weller, R.A. and F.V. Gray 1954. The passage of starch

- through the stomach of the sheep. *J. Expl. Biol.* 31:40-48.
207. Whitlow, L.W., and L.D. Satter 1979. Evaluation of models which predict amino acid flow to the intestine. *Ann. Rech. Vet.* 10:307.
208. Williams, V.J. 1969. The relative rates of absorption of amino acids from the small intestine of the sheep. *Comp. Biochem. Physiol.* 29:805.
209. Wrong, O.M., C.J. Edwards, and V.S. Chadwick, 1981. The large intestine: Its role in mammalian nutrition and homeostasis. New York, John Wiley and Sons.
210. Waldo, D.R., and B.P. Glenn. 1982. Foreign systems for meeting the protein requirements of ruminants. p.296 In protein Requirements of cattle: Proceedings of an International Symposium. OKLAHOMA state University.
211. Wolff, J.E., E.N. Bergman, and H.H. Williams, 1972. Net metabolism of plasma amino acids by liver and pmortal-drained viscera of fed sheep. *Am. J. Physiol.* 223:438.
212. Zinn, R.A. and F.N. Owens, 1982. Predicting net uptake of nonammonia N from the small intestine. p.133 in Protein Requirements of cattle: Proceedings of an Internatimal Sympoium. F.N. Owens, ed. MP-109. Oklahoma State Unitenits.
213. Zinn, R.A. and F.N. Owens, 1981. Influence of level of feed intake on nitrogen metabolism in steers fed high concentrate rations. p.448 in *Am. Soc. Anim. Sci.* (Abstr.)