

섬유소 공급원이 면양의 반추위 pH, Buffering Capacity 및 소화율에 미치는 영향

서인준·김명화·김동식·이상락*·맹원재

Effects of Fiber Sources on Ruminal pH, Buffering Capacity and Digestibility in Sheep

In Jun Seo, Myeong Hwa Kim, Dong Sik Kim, Sang Rak Lee* and Won Jai Maeng

ABSTRACT

This study was conducted to study the effect of fiber sources on ruminal pH and buffering capacity and whole digestive tract digestibility with five ruminally fistulated sheep. Evaluated fiber sources were alfalfa hay cube (AHC), corn cob (CC), corn silage (CS), cotton seed hull (CSH), peanut hull (PHL), rice straw (RS), and sugarcane bagasse (SCB). Sheep were fed consecutively a diet containing each tested fiber source (45%) with a corn-based concentrate diets (55%) during each experimental period. Ruminal pH showed no difference among fiber sources except the significantly lower pH at 8 h ($p<0.05$) with RS (pH; 5.78) than those in other sources. Buffering capacity showed significant differences at 0 h ($p<0.05$) and 2 h ($p<0.05$) after feeding in CS compared to those from SCB and CC, while there was higher in PHL ($p<0.01$) at 12 h post feeding except AHC than CC, CS, SCB, and RS. Dry matter digestibility was significantly higher in CS ($p<0.001$) than in other sources. Neutral detergent fiber digestibility was higher in CC, CS, CSH, and RS than other fiber sources ($p<0.001$). These results suggest that ruminal pH and buffering capacity and whole digestive track digestibility were significantly affected by fiber sources in ruminant diet, and, therefore, should be took those effects into account for TMR formulation.

(Key words : Fiber sources, Ruminal pH, Buffering capacity, Digestibility, Sheep)

I. 서 론

TMR 급여체계의 보급 확산으로 많은 낙농 농가가 TMR 급여방식을 채택하고 있다. 그러나 이들 농가의 현실적 문제점은 동물의 영양소 요구량에 적합한 배합비의 안정적 작성이

어렵다는 점이다. 이는 농가에서도 쉽게 확보할 수 있는 많은 종류의 조사료와 부산물이 새로운 사료자원으로 개발되어 이용되고 있으나 이들 원료의 이용성에 대한 정확한 평가가 선행되어 있지 않아 대부분 추정치에 의존하고 있기 때문이다.

건국대학교 축산대학(Kon-kuk University, Seoul 143-701, Korea)

Corresponding author : Sang Rak Lee, College of Animal Husbandry, Konkuk University, 1 Whayang-dong, Gwangjin-gu, Seoul, 143-701, Korea. Tel : 02-450-3696, Fax : (02)458-2124, E-mail : lecsr@konkuk.ac.kr

Present address : In Jun Seo, Wootech, 102-402, Hyundai-greenville, Shinbong-dong, Yongin-shi, Korea
Tel : 031-261-7164, Fax : 02-458-2124, E-mail : wootec@paran.com

반추가축에 있어서 사료로 공급된 영양소의 이용성은 반추위 내에서의 소화정도에 따라 좌우된다. 특히 섬유소원의 소화는 반추위 pH에 크게 영향을 받는다. pH가 6 이하로 내려가면 non-structural carbohydrate의 소화율은 큰 영향을 받지 않으나 섬유소 분해균이 사멸되어 NDF 등의 섬유소 구성물질의 소화율은 극심하게 감소된다. *In vitro*와 *in situ*의 실험 결과들은 반추위의 pH가 cellulose와 dry matter의 소화율에 밀접한 관계를 가지고 있으며, pH 6.4에서 6.8의 범위일 때 소화율이 가장 높게 나타난다고 한다(Cheng 등, 1955; Erfle 등, 1982; Mould 등, 1984; Terry, 1969). 농후사료 급여 위주의 사양체계에서는 반추위내 pH가 낮아져 미생물의 활동이 둔화되기 쉽고, 이는 결국 반추위내 기능을 약화시켜 유지방 감소 등 생산성의 저하를 유발하게 된다.

반추위의 pH는 일차적으로 가축에 공급되는 사료에 의해서 조절되며 조사료는 타액의 분비와 반추작용에 영향을 미친다. 이러한 영향은 섬유소 공급원에 따라 다양하게 나타나게 되며 특히 acid detergent fiber (ADF)의 함량과 밀접한 관련이 있다(West 등, 1987). 사료중의 ADF 수준이 감소하게 되면 반추위의 pH는 감소하며 ADF 수준이 1%씩 낮아질 때마다 pH는 약 0.0564 단위씩 저하되는 것으로 알려져 있다(Erdman 등, 1982). 반추위의 pH가 6.3 이하에서는 pH가 0.1 낮아질 때마다 ADF 소화율은 3.6%씩 감소되며(Hoover 등, 1984), 결과적으로 사료의 섭취량을 저하시키게 된다. 각 영양소의 발효 및 발효 산물의 적정 pH는 cellulose 소화 시에는 pH 6.0-6.8, 미생물 단백질 합성에는 6.3-7.4, 단백질 분해력은 6.5-7.0 그리고 총 VFA 생산량은 6.2-6.6에서 가장 높았다고 하였다(McCullough, 1973).

한편 사료의 완충능력 또는 acid-consuming capacity는 반추위내 pH 변화와 acid-base metabolism에 크게 영향을 미친다(McDougall, 1981; Playne과 McDonald, 1966). 사료의 완충

능력은 일반적으로 화본과 목초나 옥수수보다 두과 목초에서 높았고 곡류 급여 시에 완충능력이 특히 낮았으며 또한 조사료의 비율과 단백질 함량이 높아질수록 2~4배까지 증가한다고 하였다(Jasaitis 등, 1987; James와 Martin, 1952). Jasaitis 등(1987)에 의하면 사료의 완충능력은 total ash와 cation의 양에 따라 다르게 나타나며 완충능력을 측정하는 척도가 될 수 있다고 하였다.

성공적인 TMR 급여체계의 확립에는 사료의 이용성에 크게 영향을 미치는 반추위내에서의 pH를 최적상태로 유지시킬 수 있는 사료배합비 작성기술이 필수적이다. 이를 위해서는 반추위 pH에 가장 크게 영향을 미치는 섬유소 공급원의 기능에 대한 정확한 이해가 필요하다.

본 연구에서는 국내에서 TMR의 원료로 주로 이용하고 있는 7가지의 주요 섬유소 공급원을 면양에게 급여하여 반추위내에서의 pH와 완충능력을 측정하였고, 전소화관에서의 소화율을 측정하여 주요 섬유소원들의 이용성을 평가하였다.

II. 재료 및 방법

1. 시험동물

반추위 fistula가 장착된 평균체중 37.1 kg인 Corridale종 수컷 면양 5두를 공시하였다. 면양들은 온도가 조절되는 대사실의 대사케이지에 각각 배치하고 flaked corn, flaked lupin seed, canola seed, corn gluten feed, beet pulp, tapioca 및 vitamin-mineral premix가 함유된 기초사료 55%에 평가하고자 할 섬유소 공급원 7종을 45%의 비율로 혼합하여 1일 2회(09:00, 21:00) 총 800 g을 급여하였으며 물과 vitamin-mineral premix는 자유롭게 섭취하도록 하였다. 급여한 사료원료의 화학적 조성은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Chemical composition of ingredients

Ingredients	Chemical composition ¹⁾					
	DM	CP	Ash	EE	NDF	NSC
 % DM					
Alfalfa hay, cube	87.62	17.22	13.41	1.57	64.36	3.44
Corn cob	86.65	2.32	1.62	0.62	93.65	1.79
Corn silage	21.70	6.94	6.95	2.88	59.98	23.25
Cotton seed hull	91.99	7.47	2.97	3.97	81.27	4.32
Peanut hull	86.98	6.62	4.20	1.14	81.90	6.14
Rice straw	94.14	3.65	11.91	1.06	83.11	0.27
Sugar cane bagasse, cube	91.45	2.68	4.51	1.12	84.89	6.80
Beet pulp, pellet	88.76	10.33	3.53	0.35	56.67	29.12
Corn, flaked	85.10	9.22	1.40	3.16	13.85	72.38
Corn gluten feed	91.92	20.56	5.97	2.26	46.96	24.25
Canola meal	89.29	37.80	8.32	4.16	26.12	23.60
Lupin seed, flaked	87.25	34.02	3.27	6.19	35.08	21.45
Tapioca, ground	89.00	2.50	6.34	0.99	15.00	73.67

¹⁾ DM; dry matter, CP; crude protein, EE; ether extract, NDF; neutral detergent fiber, NSC; non-structural carbohydrate.

2. 시험설계

평가에 사용한 7종의 섬유소 공급원은 alfalfa hay cube (AHC), corn cob (CC), corn silage (CS), cotton seed hull (CSH), peanut hull (PHL), rice straw (RS), sugar cane bagasse (SCB)였다. 각 섬유소 급여구별로 5두의 면양을 배치하여 급여하였고, 매 급여기간을 12일간으로 설정하였으며, 사료 교체 시에는 5일간의 적응기간을 두었다. 섬유소 공급원과 기초사료를 혼합한 각 급여사료의 배합비와 영양소 함량을 Table 2에 나타내었다.

3. 측정항목 및 방법

(1) 반추위내 pH 및 완충능력

각 처리구별 반추위내 pH를 측정하기 위해 매 시험기간의 9일째 오전 사료 급여 후 0, 2, 4, 6, 8 및 12시간 경과 시에 반추위 fistula를 통해 약 50 ml의 위액을 채취하여 즉시 pH meter (HM-10P, TOA Electronics Ltd)로 pH를

측정하였으며, 이중 40 ml의 위액을 취하여 1N HCl을 사용하여 pH 5.0가 될 때까지의 적정치와 이를 다시 1N NaOH로 pH 7.0이 될 때까지의 적정치를 산정하여 완충능력을 측정하였다.

(2) 소화율

매 시험기간의 9~12일째 (3일간)에 사료섭취량과 전체 배설분뇨를 채취하여 처리구별 dry matter (DM), NDF의 소화율을 조사하였다.

4. 영양성분 분석방법

원료사료는 1 mm screen이 장착된 Wiley mill로 분쇄하여 영양소 함량 분석에 사용하였다. 건물, ash, crude protein (CP), ether extract (EE) 등의 일반성분 분석은 AOAC (1990)의 방법에 따랐으며 NDF는 Van Soest 등 (1991)이 제시한 분석 기준에 따라 Goering과 Van Soest (1970)의 방법 및 Van Soest와 Robertson (1985)의 방법을 원료별로 달리 적용하여 분석하였다. 그리고 non-structural carbohydrate (NSC)는 Nocek

Table 2. Formula and chemical composition of experimental diet¹⁾

Formula and Chemical composition	Treatment ²⁾						
	AHC	CC	CS	CSH	PHL	RS	SCB
..... % DM							
Formula							
Alfalfa hay, cube	45.00	—	—	—	—	—	—
Corn cob	—	45.00	—	—	—	—	—
Corn silage	—	—	45.00	—	—	—	—
Cotton seed hull	—	—	—	45.00	—	—	—
Peanut hull	—	—	—	—	45.00	—	—
Rice straw	—	—	—	—	—	45.00	—
Sugar cane bagasse, cube	—	—	—	—	—	—	45.00
Corn, flaked	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
Corn gluten feed	5.00	—	2.00	—	—	—	—
Canola meal	—	—	4.00	—	5.00	6.00	10.00
Lupin seed, flaked	3.00	—	7.00	—	7.00	7.00	7.00
Beet pulp, pellet	10.00	—	6.00	—	6.00	6.00	2.00
Tapioca, ground	7.00	—	6.00	—	7.00	6.00	6.00
Chemical composition							
Dry matter	87.28	88.08	57.54	89.12	86.80	90.07	88.85
Crude protein	10.73	10.12	10.88	10.53	10.77	10.06	10.54
Ash	8.30	3.23	5.50	3.04	4.27	7.75	4.61
Ether extract	2.06	2.08	2.94	3.38	2.19	2.21	2.37
Neutral detergent fiber	43.01	55.69	39.94	49.15	49.00	50.13	49.39
NDF % from fiber sources	67.34	75.67	67.58	74.40	75.22	74.60	77.34
Non-structural carbohydrate	32.08	29.62	39.95	33.78	32.96	29.07	32.29

¹⁾ Vitamin-mineral premix (Cowton blockTM) was supplied to free access during experimental period.

²⁾ AHC; alfalfa hay cube, CC; corn cob, CS; corn silage, CSH; cotton seed hull, PHL; peanut hull, RS; rice straw, SCB; sugarcane bagasse.

(1986)이 제시한 방법에 따라 계산하였다.

III. 결과 및 고찰

5. 통계처리

각 처리구간의 측정된 저작행동의 유의성은 SAS package의 GLM(general linear model) procedure를 이용하여 Duncan's multiple range test로 측정하였다(Steel과 Torrie, 1980).

1. 반추위내 pH

반추위내 pH는 사료 급여 후 2시간 및 4시간 경과 시를 제외하고는 각각 사료급여 직후 0시간과 8시간 및 12시간 경과 시에 처리구간에 차이를 보였다(Table 3). 즉 사료급여 직후인 0시간대에서의 pH는 PHL구에서 AHC구와

Table 3. Ruminal pH in the rumen of sheep fed 800g of dry matter containing a 45% different fiber sources and a 55% corn-based diets per day

Time after feeding	Fiber sources ¹⁾					
	AHC	CC	CS	PHL	RS	SCB
0	6.57±0.08 ^b	6.62±0.07 ^a	6.74±0.04 ^{ab}	6.93±0.02 ^a	6.52±0.18 ^b	6.55±0.10 ^b
2	5.96±0.06	6.08±0.13	6.19±0.01	6.27±0.15	6.12±0.40	6.06±0.17
4	5.87±0.06	6.13±0.14	6.20±0.10	6.18±0.12	6.10±0.39	5.87±0.14
8	6.31±0.04 ^a	6.24±0.23 ^a	6.47±0.03 ^a	6.61±0.08 ^a	5.78±0.23 ^b	6.29±0.08 ^a
12	6.68±0.09 ^b	6.69±0.09 ^b	6.81±0.01 ^{ab}	7.02±0.02 ^a	6.81±0.02 ^{ab}	6.72±0.07 ^b

¹⁾ AHC; alfalfa hay cube, CC; corn cob, CS; corn silage, PHL; peanut hull, RS; rice straw, SCB; sugar cane bagasse.

²⁾ Mean±pooled S.E.

^{a, b} Means in the same row with different superscripts differ ($p < 0.05$).

SCB구 및 RS구에 비하여 유의적으로 높게 나타났다 ($p < 0.05$). 사료 급여 후 8시간 경과 시에는 RS구에서만 다른 처리구에 비하여 낮았고 ($p < 0.05$), 또한 12시간 경과 시에는 RS구 (pH 6.81)를 제외하고 사료 급여 직후의 반응과 동일한 결과를 보여 PHL구 (pH 7.02)가 SCB구 (pH 6.72)와 AHC구 (pH 6.68)에 비하여 유의적으로 높게 나타났다 ($p < 0.05$). 그리고 사료급여 후 12시간 동안의 반추위내 pH 변화는 PHL구가 전반적으로 높게 유지된 반면 RS구는 가장 낮게 유지되었다.

본 연구에서 RS구는 일반적으로 잘 알려진 바와 같이 기호성이 낮아 다른 섬유소 공급원에 비하여 섭취속도가 매우 늦은 것이 관찰되었는데, 기호성이 높아 먼저 섭취한 기초사료(농후사료)가 빠르게 발효하여 다량의 VFA를 생성함으로써 pH가 낮아진 직접적인 원인이었던 것으로 사료되었다.

반추위내 pH 저하 요인에 대하여 명확하게 규명되지는 않았으나 반추위내 VFA 농도와 밀접한 관계를 가지고 있으며 (Rumsey 등, 1970; Briggs 등, 1957), 반추위 미생물에 의한 발효 생성물과 위벽을 통한 VFA의 흡수, 타액 분비량, 사료의 산도, 하부 소화기관으로의 소화물의 유입량 등 복잡한 상호 작용에 의해서 달라진다고 하였다 (Baldwin 등, 1987; Sutton, 1985).

본 연구에서 섬유소 공급원에 따라 반추위 pH가 크게 다르게 나타난 것은 상기 여러 요인이 복잡하게 관여하고 있는 것으로 보인다.

2. 반추위내 완충능력

섬유소 공급원의 완충능력을 측정된 결과에서 (Table 4) CS구가 사료 급여 후 0, 2시간에서 SCB, RS, CC구에 비하여 높게 나타났으며 ($p < 0.05$), 4시간 및 8시간 경과 시에는 모든 처리구에서 차이가 없었다. 그리고 사료 급여 후 12시간 경과 시의 완충능력은 PHL구 (88.0 meq/l)에서 가장 높았으며 AHC구 (82.2 meq/l)와는 차이가 없었으나 그 외 처리구 (CS, 76.3; CC, 73.8; SCB, 66.8; RS, 56.2 meq/l)에 비해서는 통계적으로 높게 유지되었다 ($p < 0.01$).

사료의 완충능력은 사료에 내재되어 있는 양이온과 음이온의 농도차에 따라 달라지기 때문에 (Van Soest 등, 1991), cation의 함유량을 분석하더라도 완충능력을 예측할 수 있는 척도로 활용이 가능하다 (Tucker 등, 1992). 또한 사료의 완충능력은 반추위내 pH 변화와 acid-base metabolism에 크게 작용하고 (McDougall, 1981; Playne과 McDonald, 1966), 두과 목초가 화분과 목초나 옥수수보다 완충능력이 높으며 사료 중에 조사료의 비율이 높거나 단백질 함량이 많

Table 4. Buffering capacity in the rumen of sheep fed 800g of dry matter containing a 45% different fiber sources and a 55% corn-based diets per day

Time after feeding	Fiber sources ¹⁾					
	AHC	CC	CS	PHL	RS	SCB
 Meq / liter					
0	83.6±4.33 ^{abc}	74.7±1.84 ^{bc}	93.8±2.83 ^a	89.5±3.83 ^{ab}	67.0±11.00 ^c	70.7±3.98 ^c
2	71.2±3.58 ^{ab}	61.9±1.93 ^{bc}	75.0±1.67 ^a	69.2±4.17 ^{ab}	63.3± 6.67 ^{abc}	57.1±1.98 ^c
4	67.7±5.98	64.3±4.82	64.3±4.00	66.7±1.00	57.0± 8.00	55.6±0.56
8	73.5±5.06	68.4±6.41	71.0±0.00	76.5±8.50	67.5± 4.17	65.0±2.55
12	82.2±0.56 ^{wx}	73.8±1.22 ^{xy}	76.3±8.67 ^{xy}	88.0±3.67 ^w	56.2± 4.17 ^z	66.8±2.44 ^{yz}

¹⁾ AHC; alfalfa hay cube, CC; corn cob, CS; corn silage, PHL; peanut hull, RS; rice straw, SCB; sugar cane bagasse.

²⁾ Mean±pooled S.E.

^{a,b,c} Means in the same row with different superscripts are significantly different (p<0.05).

^{w,x,y,z} Means in the same row with different superscripts are significantly different (p<0.01).

아도 완충능력은 약 2~4배 높아진다 (Jasaitis 등, 1987). 본 연구의 결과 PHL구에서 완충 효과가 높았던 이유는 다른 처리구에 비하여 cation의 함량이 높았기 때문이라고 생각된다.

3. 소화율

섬유소 공급원별로 전 소화기관내 소화율에 미치는 영향을 측정된 결과를 Table 5에 나타

내었다. DM 소화율은 CS구 (78.19%)에서 가장 높게 나타났고 CSH구 (74.80%) 및 CC구 (73.76%), RS구 (71.44%), AHC구 (68.88%), SCB구 (62.97%) 및 PHL구 (60.76%)의 순이었으며, CS구는 CSH구 및 CC구와는 차이가 없었으나 RS구, AHC구, SCB구 및 PHL구에 비하여 통계적으로 유의하게 높게 나타났다 (p<0.001).

NDF 소화율은 전 처리구에서 35.64~66.44%의 범위를 보였으며, CC구 (66.44%)가 가장 높

Table 5. Digestibilities of dry matter and neutral detergent fiber of sheep fed 800g of dry matter containing a 45% different fiber sources and a 55% corn-based diets per day

Item	Fiber sources ¹⁾						
	AHC	CC	CS	CSH	PHL	RS	SCB
 %						
Dry matter	68.88 ^C ±1.14	73.76 ^{ABC} ±1.83	78.19 ^A ±0.70	74.80 ^{AB} ±2.38	60.76 ^D ±1.67	71.44 ^{BC} ±1.52	62.97 ^D ±2.80
Neutral detergent fiber	51.71 ^B ±2.83	66.44 ^A ±2.62	64.85 ^A ±0.57	63.95 ^A ±4.10	35.64 ^C ±3.12	60.68 ^A ±2.11	48.32 ^B ±2.74

¹⁾ AHC; alfalfa hay cube, CC; corn cob, CS; corn silage, CSH; cotton seed hull, PHL; peanut hull, RS; rice straw, SCB; sugar cane bagasse.

^{A,B,C,D} Means in the same row with different superscripts are significantly different (p<0.001).

았다. CC구는 CS구 (64.85%), CSH구 (63.95%) 및 RS구 (60.68%)와는 통계적으로 차이가 없었으나 AHC구 (51.71%), SCB구 (48.32%) 및 PHL구 (35.64%)에 비하여 유의하게 높았다 ($p < 0.001$).

TMR 원료의 조성에 따라 조사료 및 농후사료의 급여기준이 달라질 수 있는데, 사일리지 (CS) 중심의 사료 급여 시에는 TMR의 고형물 함량을 최소한 40% 이상 유지하여야 하며, 급여사료의 고형물 함량으로 25~30% 수준이 되어야 적당하다고 하였다. 또한 소화율이 65% 정도인 목초의 경우에는 총 사료의 50%까지 공급해 주더라도 고능력우의 영양소 요구량을 충족시켜 줄 수 있다고 하였으며 (Owen, 1979), 벧짚 (RS)을 TMR의 일부로 급여할 경우에는 고형물 함량의 30% 정도까지 함유되어도 무방하며, 이로 인한 에너지의 부족은 옥수수, 옥수수 배아, 전지대두, 소맥 및 지방 공급원 등을 보충해 줌으로써 극복될 수 있다고 여기고 있다.

한편 땅콩피 (PHL)의 적정 급여수준은 착유우 사료의 10%까지 그리고 비육우에서는 30%까지 적당한 것으로 보고되어 있다 (Ensminger 등, 1990).

VI. 요약

본 연구는 섬유소공급원 7종, alfalfa hay cube (AHC), corn cob (CC), corn silage (CS), cotton seed hull (CSH), peanut hull (PHL), rice straw (RS), sugar cane bagasse (SCB)의 반추위에서의 반추활동, pH, 완충능력과 전소화기관내 소화율을 알아보려고 실시하였다. 공시 동물은 평균체중 37.1 kg인 Corridale종 수 면양 5두 (3두는 반추위 fistula 부착)를 사용하였으며, 실험기간동안 공시동물에게 급여한 사료는 각각의 조사료원 45%와 corn-based 사료 55%의 비율로 하여 1일 2회 (09:00, 21:00) 총 800 g (dry matter basis)을 급여하였다. Ruminant pH

는 급여 후 4시간까지는 처리구 간에 차이가 없었지만 8시간 후 타 조사료원 (6.24~6.61)과 RS (5.78)간에는 차이가 있었다 ($p < 0.05$). 반추위내 완충능력은 SCB구, CC구와 비교하여 CS구에서 사료급여 후 0시간 ($p < 0.05$), 2시간 ($p < 0.05$)에 유의한 차이를 나타내었고, 사료급여 후 12시간 경과 시 AHC구를 제외한 CC구, CS구, SCB구와 RS구 보다 PHL구 ($p < 0.01$)에서 높게 나타났다. DM 소화율은 CS구에서 78.19%로 타처리보다 유의하게 높았으며 ($p < 0.05$), NDF 소화율은 CC구, CS구, CSH구와 RS구가 다른 조사료원 급여구보다 높게 나타났다 ($p < 0.001$).

V. 인용 문헌

1. A.O.A.C. 1990. Official Methods of Analysis of the Association(13th eds.). Association of Official Analytical Chemists, Inc.
2. Baldwin, R.L., J.H.M. Thornley and D.E. Beever. 1987. Metabolism of the lactating cow. II. Digestive elements of a mechanistic model. Journal of Dairy Research. 54:706.
3. Briggs, P.K., J.D. Hogan and R.L. Reed. 1957. Effect of volatile fatty acid and ammonia on rumen pH in sheep. Aust. J. Agric. Res. 8:674.
4. Cheng, R.C.E., P. Hall and W. Burroughs. 1955. A method for the study of cellulose digestion by washed suspensions of rumen microorganisms. Journal of Dairy Science. 38:1125.
5. Ensminger, M.E., J.E. Oldfield and W.W. Heinemann. 1990. By-product feeds/crop residues. In: Feed and Nutrition. pp. 433-490.
6. Erdman, R.A., R.W. Hemken and L.S. Bull. 1982. Dietary sodium bicarbonate and magnesium oxide for early postpartum lactating dairy cow: Effects on production and digestion. Journal of Dairy Science. 65:712.
7. Erfle, J.D., R.J. Boila, R.M. Teather, S. Mehadevan and F.D. Sauer. 1982. Effect of pH on fermentation characteristics and protein degradation by rumen microorganisms *in vitro*. Journal of Dairy Science. 65:1457-1464.

8. Goering, H.K. and P.J. Van Soest. 1970. Forage fiber analysis. Agricultural handbook No. 379. USDA, Washington, D. C.
9. Hoover, W.H., C.R. Kincaid, G.A. Varga, W.A. Thayne and L.L. Junkins, Jr. 1984. Effects of solids and Liquid flows on fermentation in continuous cultures. IV. pH and dilution rate. Journal of Animal Science. 58:692-699.
10. James, A.T. and A.J.P. Martin. 1952. Biochemical Journal. 50:679.
11. Jasaitis, D.K., J.E. Wohlt and J.L. Evans. 1987. Influence of fed ion content on buffering capacity of ruminant feedstuffs *in vitro*. Journal of Dairy Science. 70:1391.
12. McCullough, M.E. 1973. Optimum feeding of dairy animals for meat and milk. University of Georgia Press, Athens.
13. McDougall, P. 1981. Studies on ruminant saliva.1. The composition and output of sheep's saliva. Biochemical Journal. 43:311.
14. Mould, F., E.R. Ørskov and S. Mann. 1984. Associative effects of mixed feeds. I. Effects of type and level of supplementation and the influence of the rumen fluid pH on cellulolysis *in vivo* and dry matter digestion of various roughages. Animal Feed Science and Technology. 10:15.
15. Nocek, J.E. 1986. Novel method for quantitating structural and nonstructural carbohydrates in feedstuffs. US Pat. No. 4, 617, 276.
16. Owen, J.B. 1979. Complete diets for cattle and sheep. Farming Press Limited.
17. Playne, M.J. and P. McDonald. 1966. The buffering capacity of herbage and of silage. Journal Science and Food Agriculture. 17:264.
18. Rumsey, T.S., P.A. Putnam, J. Bond and R.R. Oljen. 1970. Influence of level and type of diet on ruminal pH, VFA, respiratory rate and EKG patterns of steers. Journal of Animal Science. 31: 608.
19. Steel, R.G.D. and J.H. Torrie. 1980. Principles and procedures of statistics. A Biometrical Approach (2nd eds.). McGraw-Hill, Inc.
20. Sutton, J.D. 1985. Digestion and absorption of energy substrates in the lactating cow. Journal of Dairy Science. 68:3376.
21. Terry, R. 1969. Effect of pH on cellulose digestion under *in vitro* conditions. Journal Science and Food Agriculture. 20:317.
22. Tucker, W.B., J.F. Hogue, M. Aslam, M. Lema, M. Martin, F.N. Owens, I.S. Shin, P. Le Ruyet and G.D. Adams. 1992. A buffer value index to evaluate effects of buffers on ruminal milieu in cows fed high or low concentrate, silage, or hay diets. Journal of Dairy Science. 75:811.
23. Van Soest, P.J. and J.B. Robertson. 1985. Analysis of forages and fibrous foods. A laboratory manual for Animal Science 613. Cornell University, Ithaca. USA.
24. Van Soest, P.J., J.B. Robertson and B.A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. Symposium: Carbohydrate methodology, metabolism, and nutritional implications in dairy cattle. Journal of Dairy Science. 74:3583-3597.
25. West, J.W., C.E. Coppock, D.H. Nave, J.M. Labore, L.W. Greene and T.W. Odom. 1987. Effect of potassium carbonate and sodium bicarbonate on rumen function in lactating Holstein cows. Journal of Dairy Science. 70:81.