

유형별 완전혼합사료 급여가 반추위내의 발효성상 및 영양소 소화율에 미치는 영향

이덕윤*·고종렬**·최낙진*·이상석*·송재용*·이세영*·박성호*·성하균*·하종규*
서울대학교*, 농협사료**

Effects of Types of TMR on Rumen Fermentation Characteristics and Nutrients Digestibility in Sheep

D. Y. Li*, J. Y. Ko**, N. J. Choi*, Sang S. Lee*, J. Y. Song*, S. Y. Lee*, S. H. Park*,
H. G. Sung* and J. K. Ha*
School of Agricultural Biotechnology, Seoul National University*
Nonghyup Feed INC.**

ABSTRACT

This study was conducted to examine effects of feeding dry TMR(DTMR), wet TMR(WTMR) and fermented TMR(FTMR) on rumen fermentation, enzyme activity and digestibility in the total tract of sheep. Three rumen cannulated sheep were used in a 3×3 latin square design. The present results showed that pH, NH₃-N, total and individual VFA, A/P ratio and enzymes (CMCase, Xylanase and Protease) activity in the rumen were higher in WTMR and FTMR compared with DTMR. In addition, dry matter, organic matter, crude protein, ether extract, NDF and ADF digestibility in the total tract were also higher in WTMR and FTMR compared with DTMR. Therefore, the present results showed that WTMR and FTMR are better than DTMR for rumen fermentation and nutrients digestibility.

(Key words : TMR, Rumen fermentation, Enzyme Activity, Digestibility)

I 서 론

반추가축의 사료급여체계에 있어서 완전혼합사료 (Total mixed rations, TMR) 급여는 사료의 선택채식을 방지하고 조사료와 농후사료의 균형있는 섭취를 유도하며, 반추위내 발효를 안정시키고 사료섭취량과 영양소 이용효율을 향상시킨다는 점은 (Kleiber 등, 1952; McGilliard 등, 1983; Nocek 등, 1985) 이미 널리 알려져 있어 TMR 급여의 이점은 새삼 연구의 대상이 크게 되지 않는다. 오히려 최근 들어서는 단순

한 TMR 급여방법이나 TMR 배합에 관한 기본적인 관심사에서 탈피하여 TMR의 질적 향상과 관련하여 건TMR, 습TMR 및 발효TMR 등 유형별 TMR에 대해 관심이 집중되고 있다. 특히 TMR내의 수분함량은 저장성, 사료섭취량, 반추위 발효 성상 및 영양소 이용효율과 밀접한 관련이 있기 때문에 앞으로 이에 관한 연구가 요구되고 있다.

TMR내 수분함량이 낮은 배합사료 수준인 13% 내외가 되면 짚소는 편식을 하게 되어 TMR 사양의 이점을 얻을 수가 없으나, 반대로

Corresponding author : Ha, Jong Kyu, School of Agricultural Biotechnology, Seoul National University, Suwon, 441-744. Tel : 031-290-2348, Fax : 031-295-7875, E-mail : jongha@snu.ac.kr

TMR내 수분함량이 너무 많은 경우에는 특히 하절기에는 2차 발효와 곰팡이에 의한 변질이 일어나며 기호성도 극히 저하된다 (미국사료곡물협회, 1997). TMR를 구성하고 있는 원료 사료원들 중 수분함량이 높은 것들은 단시간 내에 부패하기 쉬워 장기간 저장과 운반이 곤란하므로 TMR 제조 시 탈수나 부패방지의 처리가 요구되는데, 성 (2001)은 고수분의 식품가공 부산물을 이용하여 TMR을 제조할 때 발효(사일리지)화 또는 건조화 등의 처리가 필요하다고 하였다. West 등 (1994)도 고수분 사료는 부패되기 쉬우므로 계절별 적정 저장기간 설정이 매우 중요하다고 하였다. 이 등 (투고중)은 고수분 함량의 과일박을 20℃ · 30℃ 서 저장하여 외관상 변화를 살펴보았는데 곰팡이 발생과 부패 없이 양호한 상태가 9일 정도까지 유지되었다고 하였다. 따라서 계절별 온도차에 따른 적정 저장일수는 차이가 있을 수 있다. 수분함량이 높은 TMR 원료사료의 적정 저장기간은 여름철 7일 (Johnson 등, 1987), 봄철 10일(김 등, 1996), 여름철 5일 (김 등, 1996) 및 겨울철엔 60일 정도(김 등, 1996)이다. 한편 적정 저장기간 내 습TMR은 발효가 일어나 반추위내 미생물들이 이용하기 쉬운 형태로 전환되어 반추위내 발효안정과 영양소 이용효율 등을 향상시킬 수 있을 것이라고 예측할 수 있으나, 습TMR과 발효TMR 사이의 명확한 개념 차이는 아직까지 확립되지 않은 상태이다.

따라서 본 연구에서는 건TMR, 습TMR 및 발효TMR 사료를 면양에 급여하여 반추위내 발효성상, 효소 역가 및 영양소 소화율을 관찰함으로써 각 유형별 TMR 급여효과를 비교하고자 한다.

II 재료 및 방법

1. 공시축 및 사양관리

반추위에 누관이 장착된 면양(평균체중 43±12.48 kg) 3두를 이용하여 Table 1에 나타낸 시험 사료들을 1일 체중 kg당 20g의 건물을 섭취하도록 하였다. 사료는 09:00과 18:00의 2회

Table 1. Chemical composition and formulation of experimental diets

	DTMR ¹⁾	WTMR ²⁾	FTMR ³⁾
<i>Ingredients (% of DM)</i>			
Beet pulp			17.4
Tall fescue straw			9.0
Brewers grain			16.0
Wet citrus pulp			11.8
Malt hulls			10.4
Molasses			3.5
Wheat bran			2.5
Corn			14.2
Sodium bicarbonate			0.7
Salts			0.3
Liquid form yeast			13.9
Vitamin mixture			0.1
Mineral mixture			0.1
Total			99.9
<i>Chemical composition (% of DM)</i>			
Dry Matter	86.7	55.7	53.7
Ash	6.4	7.7	8.5
Crude protein	12.4	12.5	13.5
Crude fiber	18.6	17.6	18.8
Neutral detergent fiber	49.1	46.6	47.5
Acid detergent fiber	26.7	24.2	25.1
Ether extract	2.5	2.9	2.9
Total digestible nutrient	66.0	68.6	67.6

¹⁾ DTMR: Dry TMR, ²⁾ WTMR: Wet TMR and ³⁾ FTMR: Fermented TMR.

균등 급여하였다. 미네랄 블록과 물은 자유로이 섭취할 수 있도록 하였다.

2. 시험사료 준비 및 실험 설계

건TMR, 습TMR 및 발효TMR의 배합구성은 동일하게 하였고, 습TMR과 발효TMR의 수분함량은 각각 44.3과 46.3%로 인위적으로 조절하였다. 습TMR은 공시축에게 급여하기 전까지 발효과정을 억제하기 위하여 -4℃ 서 보관하였다. 그리고 발효TMR은 습TMR를 실온상태 (20~ 25℃)에서 10일간 방치하여 TMR내 액상효모에 의한 발효를 유도하였다. 실험은 3×3 라틴 방각법으로 설계하였고, 12일의 적응기간과 본시험기간 2일 동안 분 채취를 하

였으며, 마지막 2일째는 반추위액 채취를 0, 3, 6, 및 9h 간격으로 실시하였다. 시험사료의 성분과 화학적 조성은 Table 1에 나타난 바와 같다.

3. 조사항목 및 방법

제 1위액의 pH, 암모니아태 질소 농도, 휘발성 지방산의 생산량을 측정하기 위해 사료급여 전 및 사료 급여 후 3, 6, 9시간 후에 위액을 채취하였다. 위액은 채취 즉시 4겹의 cheese cloth로 여과한 후 pH를 측정하였고, 이후 원심분리(1000×g, 4℃ 15min)를 한 후, 상층액을 취해서 암모니아태 질소 농도, 휘발성지방산 농도 및 효소역가를 측정하였다.

(1) pH

채취한 반추위액의 pH를 pH meter (METTLER DELTA 340)로 측정하였다.

(2) 암모니아태 질소 농도

Chaney와 Marbach(1962)의 방법에 따라 phenol 용액으로 위액중의 암모니아를 발색시킨 후 spectrophotometer (Spectronics 21D)를 이용하여 630nm에서 흡광도를 측정하여 계산하였다.

(3) 휘발성 지방산 (Volatile fatty acids, VFA)

채취한 반추위액을 1000×g, 4℃ 서 15분간 원심분리하고, 상층액 1mL를 취하여 eppendorf tube에 넣고, HPO₃ 0.2mL를 넣어 잘 혼합시킨 후 30분간 정치시켰다. 이를 -70℃ deep freezer에서 분석 전까지 냉동 보관하였다. VFA의 분석은 gas chromatography(HP6890, U.S.A.)를 이용하였으며, 측정의 전 과정은 Erwin 등(1961)의 방법에 따랐다.

(4) 효소역가

채취한 반추위액을 1000×g, 4℃ 서 15분 동안 원심분리한 후 상층액을 회수하여 조효소액으로 사용하였다. CMCCase의 활성은 기질용액을 0.1M acetate buffer(pH 5.0)에 1%(w/v) CMC 용액이 되게 하여, 조효소액 0.5mL과 CMC 기질 용액 0.5mL을 섞고, 55℃ 서 1시간 반응시키고, 원심분리한 후, 상층액 0.2ml에 DNS 0.6mL을 더하고 100℃ 서 5분간 진탕 반응시켜 상층액 내의 환원당의 양을 DNS (Dinitrosalicylic acid)법으로 550nm에서 흡광도를 측정하여 구하였다. CMCCase의 1 unit 는 1분 동안 1μmol의 glucose를 생성하는 효소의 양으로 하였다. Xylanase도 CMCCase의 측정법과 동일한 방법으로 수행하였으며, 분석방법은

Table 2. Effects of different types of TMR on pH and NH₃-N in the rumen

Time (h)	DTMR ¹⁾	WTMR ²⁾	FTMR ³⁾	SEM	significance
pH					
0	6.80	6.81	6.84	0.014	NS
3	6.29 ^b	6.38 ^a	6.43 ^a	0.026	**
6	6.33 ^b	6.40 ^{ab}	6.48 ^a	0.032	*
9	6.54 ^b	6.63 ^{ab}	6.66 ^a	0.223	NS
Mean	6.49 ^b	6.55 ^a	6.60 ^a	0.021	**
NH ₃ -N(mg/100ml)					
0	10.60	11.41	12.05	0.899	NS
3	11.48 ^b	15.39 ^a	13.48 ^a	0.515	**
6	2.26 ^b	3.75 ^{ab}	5.44 ^a	0.749	*
9	3.67 ^b	5.99 ^a	5.34 ^{ab}	0.434	*
Mean	7.01 ^b	9.13 ^a	9.15 ^a	0.521	*

* I < 0.05, ** I < 0.01 and NS : not significant.

^{a,b,c} In this table and subsequent tables mean values in a row different superscript differ significantly(I < 0.05).

^{1),2),3)} As Table 1.

Miller(1960)의 CMCASE 측정 방법과 동일하였다.

(5) 전장 소화율

각 영양소의 전장 소화율을 구하기 위하여 각 period의 마지막 2일간 분을 채취하고 이 채취한 분을 60°C drying oven에서 3일간 건조 후 Wiley mill로 분쇄하여 일반분석시료로 사용하였다. 영양소 소화율은 섭취한 영양소에서 분으로 배설된 영양소를 뺀 값을 소화된 양으로 하여 섭취량에 대한 비율로 나타내었다.

4. 통계분석

본 시험에서 얻어진 결과는 SAS(1989)의 GLM (General Linear Model) 방법으로 분석하였고, 처리 평균간의 비교는 Duncan(1955)의 Multiple range test를 이용하였다.

III 결과 및 고찰

반추위 평균 pH와 사료급여 후 3 h에서의 pH는 건TMR구보다 습TMR구와 발효TMR구에서 높았다($P < 0.01$). 반면에 사료급여 후 0 h 과 9 h에서는 처리구간 통계적 유의차가 발견되지 않았고, 6 h에서의 pH값은 각각 6.48, 6.40 및 6.33으로 발효TMR > 습TMR > 건TMR 구 순으로 높았다($P < 0.05$). 본 시험에서 처리구들의 평균 pH는 6.55이었는데 이는 Russell 등(1979)이 보고한 반추위내 발효과정을 저하시키는 한계 pH인 6.2 보다 높은 수준이었다. 유형별 TMR에 의해 반추위내 pH가 영향을 받은 이유는 습TMR이나 발효TMR의 단백질 이용성이 건TMR과 다르기 때문인 것으로 사료된다. 심 등(1998)은 사료 내 단백질이 반추위내에서 일종의 buffering agent로 작용하는 것으로 판단하였으며, 본 연구결과에서 습TMR이나 발효TMR을 급여한 처리구에서 측정된 암모니아태 질소 농도가 건TMR처리구 보다 높게 나타난 것이 이를 뒷받침하는 증거라고 볼 수 있다. 실제 암모니아는 반추위액 중의 양성자(H^+)를 흡수하여 위액의 pH를 높이는 역할을 한다.

암모니아태 질소 생성량은 0 h에서는 처리구들간 통계적 유의성이 발견되지 않았지만, 3 h, 6 h 및 9 h에서는 습TMR과 발효TMR를 급여했을 때 암모니아태 질소 생성량이 건TMR 급여 시 보다 높았다($P < 0.05$). 평균 암모니아태 질소 생성량도 마찬가지로 습 TMR구와 발효TMR구가 건TMR구보다 높았다($P < 0.05$). 한편 처리구들 중 6 h에서의 암모니아태 질소 생성량은 발효TMR구, 그리고 9 h에서는 습TMR구에서 가장 높았다. Erdman 등(1986)은 반추위내의 암모니아태 질소 농도는 사료의 소화 속도가 커질수록 증가한다고 보고 하였는데, 본 실험에서는 TMR내 수분함량이 비교적 높은 습TMR과 발효TMR구에서 암모니아태 질소 농도가 건TMR구 보다 높았던 것은 반추위 미생물들에 의해서 분해되는 속도가 이들 습TMR과 발효TMR이 높았기 때문이거나 또는 제조 또는 저장 중 사료단백질의 일부가 분해되었기 때문인 것으로 보인다.

Acetic acid와 총 VFA 생성량은 3 h, 6 h 및 9 h에서 처리구들간에 통계적 유의차가 발견되지 않았다. 그러나 0 h에서는 발효TMR구에서의 acetic acid 생성량이 건TMR이나 습TMR구보다 높았고($P < 0.001$), 평균 acetic acid 생성량이 발효TMR구에서 가장 높게 조사된 것도 0 h에서의 처리구간 차이를 반영하고 있다($P < 0.05$). 전 샘플 채취 시간(0, 3, 6 및 9 h)과 평균 propionic acid 생성량은 건TMR이나 습TMR구보다 발효TMR구에서 유의성 있게 높았다. Butyric acid 생성량은 0 h의 발효TMR구에서 가장 높았고($P < 0.01$), 나머지 시간대와 평균 생성량은 처리구들간에 통계적 유의차가 발견되지 않았다. 전 샘플링 시간대에 걸쳐 A/P ratio는 발효TMR구에서 가장 낮았고 습TMR 급여 시 높은 경향이였다. 따라서 평균 A/P ratio는 습TMR구가 발효TMR구나 건TMR구보다 높았다($P < 0.001$).

CMCase 역가는 0 h 과 9 h에서 처리구들간 통계적 유의성이 발견되지 않았고, 평균값 또한 처리구들 사이에 비슷하였다. 한편 3 h 과 6 h에서의 CMCase 역가는 습TMR > 발효TMR > 건TMR구 순으로 높았다($P < 0.05$). Xylanase

Table 3. Effects of different types of TMR on VFA production in the rumen

Time (h)	DTMR ¹⁾	WTMR ²⁾	FTMR ³⁾	SEM	significance
<i>Acetic acid(mM)</i>					
0	38.55 ^b	36.83 ^b	57.29 ^a	3.667	***
3	66.02	65.94	69.48	2.121	NS
6	60.08	65.37	71.24	4.058	NS
9	47.82	51.91	62.91	4.015	NS
Mean	53.12 ^b	54.90 ^b	65.23 ^a	3.209	*
<i>Propionic acid(mM)</i>					
0	9.43 ^b	8.03 ^b	14.56 ^a	1.095	***
3	19.87 ^b	18.53 ^b	22.82 ^a	0.838	***
6	17.49 ^b	17.61 ^b	22.20 ^a	1.531	*
9	13.66 ^b	13.34 ^b	17.61 ^a	1.293	*
Mean	15.11 ^b	14.38 ^b	19.30 ^a	1.118	***
<i>Butyric acid(mM)</i>					
0	10.32 ^b	9.82 ^b	14.83 ^a	1.112	**
3	13.61	13.46	13.32	0.683	NS
6	12.28	13.28	16.30	1.398	NS
9	9.96	11.12	13.12	1.116	NS
Mean	11.54	11.92	13.93	0.922	NS
<i>Total VFA(mM)</i>					
0	61.32 ^b	57.40 ^b	91.41 ^a	6.125	***
3	103.20	102.56	109.94	3.575	NS
6	91.97	98.93	111.39	6.661	NS
9	73.34	78.64	96.58	6.573	NS
Mean	82.46 ^b	84.38 ^b	102.33 ^a	5.425	*
<i>A/P ratio</i>					
0	4.10 ^b	4.61 ^a	4.09 ^b	0.097	***
3	3.33 ^{ab}	3.62 ^a	3.03 ^b	0.094	**
6	3.45 ^b	3.79 ^a	3.30 ^b	0.086	**
9	3.50 ^b	3.95 ^a	3.68 ^b	0.081	**
Mean	3.59 ^b	3.99 ^a	3.52 ^b	0.079	***

* I < 0.05, ** I < 0.01, *** I < 0.01 and NS: not significant.

^{1),2),3)} As Table 1.

역가는 사료급여 후 시간에 상관없이 TMR 종류에 의해 영향이 있었으나, 6 h에서는 습TMR과 발효 TMR 급여 시 건TMR 급여에 비해 높았다(I < 0.001). Protease 역가는 3 h과 6 h에서는 처리구들간 통계적 유의차가 없었지만, 0 h에서는 건TMR과 습TMR구 보다 발효TMR구에서 Protease 역가가 높았다(I < 0.05). 그리고 9 h와 평균 Protease 역가는 건TMR구보다 습TMR

과 발효TMR구에서 높은 수치를 나타내었다 (I < 0.01). 이와 같이 시간대별로 급여한 TMR의 종류간 섬유소분해 효소와 단백질분해 효소의 활력의 차이가 있는 것은 습TMR이나 발효 TMR내 효소가 존재하거나 부분 소화가 발생하여 반추위 미생물의 영양소원으로 작용한 것으로 사료된다.

전장 소화율은 Table 5에 나타난 바와 같다.

Table 4. Effects of different types of TMR on enzymes activity in the rumen

Time (h)	DTMR ¹⁾	WTMR ²⁾	FTMR ³⁾	SEM	significance
<i>CMCase(glucose, μ mol/min/ml)</i>					
0	0.515	0.494	0.510	0.047	NS
3	0.406 ^b	0.479 ^a	0.460 ^{ab}	0.021	*
6	0.422 ^b	0.517 ^a	0.465 ^{ab}	0.028	*
9	0.434	0.489	0.474	0.036	NS
Mean	0.445	0.493	0.477	0.030	NS
<i>Xylanase(xylose, μ mol/min/ml)</i>					
0	2.56	2.24	2.66	0.121	NS
3	1.99 ^b	2.19 ^{ab}	2.50 ^a	0.096	NS
6	1.78 ^c	2.06 ^b	2.27 ^a	0.081	***
9	2.09	2.23	2.31	0.083	NS
Mean	2.11	2.18	2.44	0.079	NS
<i>Protease(azocasein, μg/h)</i>					
0	0.116 ^b	0.129 ^b	0.186 ^a	0.024	*
3	0.135	0.190	0.158	0.016	NS
6	0.108	0.117	0.121	0.009	NS
9	0.080 ^b	0.119 ^a	0.117 ^a	0.013	**
Mean	0.110 ^b	0.139 ^a	0.145 ^a	0.011	**

* P < 0.05, ** P < 0.01, *** I < 0.001, NS : not significant.

^{1),2),3)} As Table 1.

Table 5. Effects of different types of TMR on apparent total tract digestibility of nutrients in sheep

Items	DTMR ¹⁾	WTMR ²⁾	FTMR ³⁾	SEM	significance
Dry matter	62.07 ^b	68.29 ^a	68.05 ^a	0.834	***
Organic matter	65.88 ^b	69.07 ^a	67.98 ^{ab}	0.587	*
Crude protein	58.12 ^b	65.59 ^a	66.38 ^a	0.996	***
Ether extract	67.78 ^b	74.35 ^a	76.09 ^a	1.296	***
Neutral detergent fiber	53.26 ^b	62.09 ^a	62.43 ^a	1.301	***
Acid detergent fiber	53.80 ^b	54.77 ^b	58.08 ^a	1.027	*

* I < 0.05 and *** I < 0.001.

^{1),2),3)} As Table 1.

습TMR과 발효TMR 급여 시 건물, 조단백질, 조지방 및 NDF 소화율은 건TMR보다 유의성있게 높았다(I < 0.001). 처리구별 유기물 소화율은 각각 69%, 68% 및 66%으로서 습TMR > 발효TMR > 건TMR 순이었다(I < 0.05). ADF 소화

율은 발효TMR에서 가장 높았고, 건TMR과 습TMR에서는 유사하였다(I < 0.05). 이와같이 처리구들간 외관상 영양소 소화율의 차이는 본 연구에서 이미 고찰한 바와 같이 VFA 생산량이 증가하고(Table 3), 각종 효소 활성이 높아

진 것으로도(Table 4) 설명할 수 있다. 반추위 발효성상에 관하여 이미 앞부분에서 언급했다시피, 발효TMR내 발효균들의 활동에 의하여 사료원들의 세포벽물질이 연화 혹은 파쇄 됨으로서 반추위 미생물들이 직접 이용하기 쉬웠기 때문에 외관상 소화율이 증가된 것으로 사료된다. 한편, 하(2001)는 TMR내의 수분 함량은 35~ 50%로 맞추어 주는 것이 사료 섭취량을 증가시키는 효과뿐만 아니라 사료입자를 서로 부착시켜 선택 섭취를 방지하는데 도움이 된다고 하였다. 그리고 이 등(투고 중)의 자료에 의하면 고수분의 원료사료원들의 저장성은 20℃ 혹은 30℃ 서 9일 이상이 지나면 현저히 나빠진다고 하였다.

종합적으로 본 시험 결과들을 요약하면 건TMR 보다는 습TMR이나 발효TMR을 급여했을 때 TMR내의 발효균들의 활동에 의하여 사료원들의 세포벽물질이 연화 혹은 파쇄 됨으로서 반추위 미생물들이 직접 이용하기 쉬웠기 때문에 반추위발효와 영양소 이용효율이 향상되었다. 따라서 본 연구결과는 습TMR이나 발효TMR형태로 급여하는 것을 권장하고 있다.

IV 요 약

본 시험은 유형이 서로 다른 세 가지 형태의 TMR을 반추위에 누관이 장착된 면양을 이용하여 3×3 라틴 방각법으로 반추위내 발효성상, 효소역가 및 전장 소화율을 조사하였다. 시험 결과를 살펴보면, 전반적으로 반추위 내 pH, 암모니아태 질소 농도, 총 VFA, 각종 VFA생성량, A/P ratio 및 각종 효소(CMCase, Xylanase 및 Protease) 역가는 건TMR를 급여했을 때와 비교하여 습TMR과 발효TMR급여 시 높은 경향을 보였다. 또한 건물, 유기물, 조단백질, 조지방, NDF 및 ADF의 전장 소화율도 건TMR 급여 시 보다 습TMR과 발효TMR를 급여했을 때 높게 향상된 것을 볼 수 있다. 따라서 본 시험의 결과들을 종합해 보면 보다 안정적이고 활발한 반추위 발효과정과 영양소 이용효율 측면에서 건TMR보다 습TMR이나 발효TMR이 우

수한 것으로 요약할 수 있다.

V 사 사

본 논문은 농림부 농림기술관리센터의 연구비(과제번호101041-03-2-HD110)에 의해 수행된 결과임.

VI 인 용 문 헌

1. Chaney, A. L. and Marbach, E. P. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. Clin. Chem. 8:130.
2. Duncan, D. B. 1955. Multiple range and multiple F test. Biometrics 11:1.
3. Erdman, R. A., Proctor, G. H. and Vandersall, J. H. 1986. Effect of rumen ammonia concentration on in situ rate and extent of digestion of feedstuffs. J. Dairy Sci 69:2312.
4. Erwin, E. S., Marco, S. J. and Emery, E. M. 1961. Volatile fatty acid analysis of blood and rumen fluid by gas chromatography. J. Dairy Sci. 44:1768.
5. Johnson, C.O.L.E., Huber, J. T. and King, K. J. 1987. Storage and utilization of brewers wet grain in diets for lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 70:98.
6. Kleiber, M., A. H. Smith, Black, A. L., Brown, M. A. and Tolbert, B. M. 1952. Acetate as a precursor of milk constituents in the intact dairy cow. J. Biol. Chem. 197:371.
7. McGilliard, M. L., Swisher, J. M. and James, R. E. 1983. Grouping lactating cows by nutritional requirements for feeding. J. Dairy Sci. 66:1084.
8. Miller, G. L., Blum, R., Glennon, W. E. and Burton, A. L. 1960. Measurement of carboxymethylcellulase activity. Anal. Biochem. 1:127.
9. Nocek, J. E., Steele, R. L. and Braund, D. G. 1985. Effect of mixed ration nutrient density on milk of cows transferred from high production group. J. Dairy Sci. 68:133.
10. Russell, J. B., Schcarp, W. M. and Baldwin, R. L. 1979. The effect of pH on maximum bacterial growth rate and of bacterial competition in the rumen. J. Anim. Sci. 48:251.
11. SAS. 1989. User's Guide : Statistics, Version 6 Edition, SAS Inst., Inc., Cary, NC.
12. West, J. W., Ely, L. O. and Martin, S. A. 1994. Wet brewers grains for lactating dairy cows during

- hot. humid weather. J. Dairy Sci. 77: 1496.
13. 김현섭 등, 1996. 습윤 맥주박의 계절별 저장성, 반추위 분해율 및 일반성분 변화. 농업논문집 38 (2):605~609.
 14. 성경일. 2001. 식품가공부산물을 이용한 TMR 조제. TMR 연구회 발표자료집.
 15. 심성수, 김홍대, 황일환, 강민원, 고종렬, 김원영, 이성실, 하종규. 1998. 조사료원의 종류가 산양의 반추위 발효성상 및 미생물 조성에 미치는 영향. 한축회지. 22:317.
 16. 이덕윤, 고종렬, 최낙진, 이상석, 이세영, 송재용, 김민석, 성하균, 하종규. 2003. 저장 조건이 고수분 과일박의 화학적, 물리적 변화 연구. 동자지. 투고중.
 17. 미국사료곡물협회. 1997. 젖소사양가이드. p.26. 민지 미디어. 서울.
 18. 하종규. 2001. TMR을 위한 이론적 배경. 공주산업대학 최고경영자과정. (접수일자 : 2003. 3. 31. / 채택일자 : 2003. 8. 13.)