

지방의 공급형태와 Ca 및 Mg의 첨가가 *In Vitro* 발효 및 비육후기 한우의 성장성적에 미치는 영향

이흥구* · 이도형*** · 최낙진* · 이상락** · 최윤재* · 맹원재**

서울대학교 농업생명과학대학 농생명공학부*, 건국대학교 축산대학**, (주)드림피드텍***

Effects of Supplementation of Fat Sources, Ca and Mg on *In Vitro* Fermentation and the Performance of Finishing Hanwoo Bulls

H. G. Lee*, D. H. Lee***, N. J. Choi*, S. R. Lee**, Y. J. Choi* and W. J. Maeng**

Seoul National University, Seoul, Korea*, Kon-Kuk University, Seoul, Korea**

Dreamfeedtech Co., Ltd., Korea***

ABSTRACT

This study was aimed at investigating the effect of fat supplementation with divalent ions such as MgO and CaCl₂ on 1) *in vitro* ruminal fermentation characteristics and insoluble fatty acid formation, and on 2) animal performance in finishing Hanwoo bulls. In *in vitro* trial, five different types of diets based on supplementation sources of fat and divalent ions, i.e. T=basal diet + 4% tallow, T-Ca = T + 0.5% CaCl₂, T-Mg = TA + 0.5% MgO, T-MgCa = T + 0.5% CaCl₂ + 0.5% MgO, T-CaS = 4% Ca salt tallow, were tested. Higher pH values were observed at 6 hr incubation(P < 0.01) while higher amount of VFA were produced in diets 4 and 5 at 12 hr incubation(P < 0.05). Nutrients(DM, OM, Crude protein and NDF) degradation tended to increase in divalent ions or Ca-salts treated tallow treatments compared with tallow treatment after 12 h. The amount of insoluble fatty acid increased by adding MgO or CaCl₂ to tallow or Ca soap tallow during incubation(P < 0.05). In *in vivo* trial, thirty finishing Hanwoo(average BW 460kg) were divided into three groups based on fat sources and divalent ions, i.e. Control(EE 2.40), T-MgCa = control + tallow + CaCl₂ + MgO, T-CaS = control + Ca soap tallow (EE 5.30%). After feeding each diet for 80 days, average daily weight gain showed 0.89, 1.02, 1.17kg in diets 1, 2 and 3, respectively. The highest feed efficiency was observed(0.12) in diet 2 group, followed by diet 3 (0.10) and 1 groups(0.08; P < 0.05). In conclusion, the present results could be summarized that the performance of Hanwoo bulls was improved by tallow with divalent ions without any negative effect on rumen fermentation.

(Key words : Tallow, CaCl₂, MgO, Ca-salt tallow, *In vitro* fermentation, Hanwoo)

I 서 론

반추가축 사료 내 지방의 첨가는 단위 중량 당 에너지 밀도가 타 영양소에 비하여 높은

장점을 가지고 있어 사료섭취가 제한된 시기에서 에너지 밀도를 증대시킬 필요가 있는 고능력우 또는 비육후기의 비육우의 고에너지 사료 제조를 위한 보충제로 널리 이용되고 있

Corresponding author : H. G. Lee, School of agricultural biotechnology, College of agriculture and life sciences, Seoul national university San 56-1, Shillim-dong 151-744, Korea, Phone : +82-2-880-4835, Fax : +82-2-875-7340, E-mail : hglee66@snu.ac.kr

다(Palmquist와 Jenkins, 1980; 맹, 1987). 그렇지만 반추동물에 있어서 지방의 첨가는 반추위 내에서의 가수분해된 LCFAs(long chain fatty acids)의 반추위 미생물인 Protozoa, cellulolytic bacteria, methanogenic bacteria 등의 활성억제(Galbraith 등, 1973; Palmquist and Jenkins, 1980; Palmquist 등 1986; Maczulak 등, 1981; Towne 등, 1990), 섬유소를 물리적으로 피복하여 미생물 접근을 방해 조섬유 소화율의 저하(Davison와 Woods, 1963; EI Hag와 Miller, 1972; Van der Horning과 Tamminga, 1986) 및 양이온과의 염 형성으로 인한 양이온 부족현상 등(Chalupa 등, 1984) 반추동물의 소화생리에 부정적이다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 여러 연구자들에 의해 Ca의 추가급여가 제안되었는데, 이것은 LCFAs와의 염 형성을 증가시킴으로 LCFAs의 반추위발효 저해작용을 막음은 물론, 반추위 미생물이 이용할 수 있는 곡물 내 Ca과의 염 형성으로 인한 Ca^{2+} 이온의 부족 분에 대한 보충효과가 있음이 확인되었다(White 등, 1958; Davison와 Woods, 1960; Jenkins와 Palmquist, 1982; Bock 등, 1990). 그렇지만 Ca의 과다 급여는 동일한 2가 양이온이며 체내 에너지 및 영양소 대사과정에 중요한 Mg의 흡수를 저해 할 수 있으므로(Erdman 등, 1982), Ca 추가급여 또는 Ca-soap tallow 급여시 Mg의 보충이 필요할 것으로 사료된다. 아울러 Mg은 Ca과 동일한 2가 양이온으로 LCFAs와의 염 형성이 가능할 것으로 기대되어 Ca 단독급여보다 Mg의 보충은 지방의 이용성을 개선시킬 것으로 예상된다.

따라서 본 실험에서는 비육후기 에너지 보충체로서 우지의 첨가효과를 개선시키기 위하여 Ca의 추가급여 및 Mg의 보충효과를 *in vitro* 실험을 통하여 검증하고 이러한 결과를 기초로 한우의 성장 성적에 미치는 영향에 대하여 조사하였다

II 재료 및 방법

1. 실험 1

지방의 공급형태에 따른 *in vitro* 발효 및

Insoluble Fatty Acid Soap 형성에 미치는 영향

(1) Rumen Inoculum 준비

Rumen inoculum은 도축장에서 소의 반추위 내용물을 채취하여 2겹의 cheese cloth로 거른 후 39°C로 유지하여 즉시 실험실로 운반후 8겹의 cheese cloth로 여과하여 20 liter용 pyrex병에 39°C로 보관한 것을 배양 30분전 반추위 내용물 여과액을 CO₂로 bubbling한 rumen buffer 용액(Weller, 1974)과 1:1로 혼합하여 이를 rumen inoculum 으로 사용하였다.

(2) 시료준비, 실험설계 및 배양방법

실험에 사용된 시료는 wiley mill로 분쇄한 뒤 1~0.177mm 사이에 통과하도록 sieving하여 사용하였으며 시료의 일반성분은 Table 1에 나타난 바와 같다. 실험 사료 배합은 CP(Crude protein) 10.5%, NDF(Neutral detergent fiber) 22.7% 그리고 61.5%의 TDN(Total digestible nutrient) 함량으로 비육후기 수소 NRC(1988) 사양 표준에 따라 배합하여 이를 배양기질로 사용하였으며 각 처리구별 배합내용은 Table 1에 나타내었다.

Tallow(EE: 96% 영수화학, Korea) 및 Ca-salt tallow(EE: 88% 영수화학, Korea)의 첨가수준은 총 건물량의 4%이며 2가 양이온으로 사용된 MgO와 CaCl₂의 첨가수준은 각각 건물의 0.5% 수준 이었다. Tallow는 용해시켜 2가 양이온이 혼합된 기초사료와 잘 섞어 배양기질로 사용하였다.

실험설계는 4% tallow(T), 4% tallow+0.5% MgO(T-Mg), 4% tallow+0.5% CaCl₂(T-Ca), 4% tallow+0.5% MgO+0.5% CaCl₂(T-MgCa) 및 4% Ca-salt tallow(T-CaS)의 5개 처리구로 완전 임의 배치하였다.

배양은 Tilley와 Terry(1963)의 방법을 개량한 맹 등(1986)의 방법에 따라 실시하였으며, 1 liter용 narrow-mouthed bottle(Nalge Co., USA)와 40ml polyallomer centrifuge tube(BBR CO., USA) 시료를 각각 10g 및 0.4g을 넣은 후 준비된 rumen inoculums을 500ml 및 20ml씩 각각 주입하여 39°C로 설정된 항온 교반기(Samwoo Co., Korea)에서 0, 6, 12 및 24 hr 동안 100 rpm으로 교반하면서 배양하였다.

Table 1. Formulation(% DM) and chemical composition(% DM) of diets¹⁾ in *in vitro* experiment.

	T	T-Mg	T-Ca	T-MgCa	T-CaS
<i>Formulation</i>					
Beet pulp	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98
Brewers grain, dry	34.00	34.00	34.00	34.00	34.00
Alfalfa cube	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94
Corn gluten feed	4.80	4.80	4.80	4.80	4.80
Cracked corn	25.10	25.10	25.10	25.10	25.10
Wheat bran	14.79	14.79	14.79	14.79	14.79
Lupinseed	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Oat	8.38	8.38	8.38	8.38	8.38
Rice straw	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01
Tallow	4.00	4.00	4.00	4.00	-
Ca-salt Tallow	-	-	-	-	4.00
CaCl ₂	-	-	0.50	0.50	-
MgO	-	0.50	-	0.50	-
Total	100	100.5	100.5	101	100
<i>Chemical composition</i>					
DM	94.89	94.80	94.87	94.85	94.32
Ash	5.11	5.20	5.13	5.15	5.68
CP	10.50	10.56	10.52	10.49	10.53
NDF	22.92	22.70	22.84	22.77	22.81
EE	6.30	6.28	6.32	6.28	5.80
Calcium	0.40	0.40	0.70	0.70	0.74
Magnesium	0.25	0.51	0.25	0.51	0.25
Phosphorus	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

¹⁾ T: Tallow, T-Mg: Tallow + MgO, T-Ca: Tallow + CaCl₂, T-MgCa: Tallow +MgO+ CaCl₂, and T-CaS: Tallow + Ca-salt tallow; These abbreviations are same in Table 3-6.

(3) 분석항목 및 방법

시료의 DM(Dry matter), OM(Organic matter), CP, EE(Ether extract) 및 Ash(Crude ash) 함량은 AOAC(1985) 방법에 따랐으며, NDF의 분석은 Van Soest 등(1991)의 분석방법에 따라 분석하였다. 각 처리구별로 배양이 종료된 후 즉시 1 liter 배양병의 배양물을 polyester fiber bag (1015cm, pore size: 502 μ m)에 옮겨 여과된 액을 pH meter(HM-10P, TOA Electronics Ltd.)를 이용하여 pH를 측정하였고 ammonia-N 분석을 위하여 1,500×g로 20min 동안 원심분리한 후 상층액을 냉동 보관하여 분석시 상온상태에서 녹인 후 25,000×g로 20분 동안 원심 분리한 후 분석에

사용하였다(Chaney and Marbach, 1962). 휘발성 지방산(VFA) 성분을 분석하기 위하여 1 ml supernatant에 25% metaphosphoric acid 5%를 첨가한 후 30분 동안 방치 후 formic acid 1 %를 첨가한 다음 3,000 rpm 20분 동안 원심분리 후 상층액을 gas chromatograph(Hewlatpackard 5890 A, Hewlatpackard, Co., Avondale, PA)에 주입하여 분석하였다(Erwin 등, 1961). Polyester fiber bag(10×15cm, pore size: 50±2 μ m)에 걸러내고 남은 잔류물은 일정한 유속으로 잘 씻은 후 60℃로 고정된 건조기 48시간 동안 잘 건조한 후 DM, CP, NDF 및 OM 분해율을 평가하였다. 배양이 종료된 40ml centrifuge tube는 35,000×g로

20분 동안 원심 분리하여 상층액을 제거한 후 남은 잔류물은 80°C에서 2시간 동안 건조한 후 Jenkins와 Palmquist(1984)의 방법에 따라 가용성 지방산함량(soluble fatty acid)과 불용성 지방산 함량(insoluble fatty acid soap) 그리고 총 지방소실율 (total lipid disappearance)를 분석하였다.

(4) 통계분석

통계분석은 통계 SAS(Statistical Analysis System, Version 6.04 USA, 1989)를 이용하여 각 처리구간의 평균값을 Duncan's multiple range test로 비교, 검정하였다(Steel and Torry, 1980).

2. 실험 2

지방의 공급원에 따른 비육후기 한우의 성장 성적에 미치는 영향

(1) 공시축, 시험사료 및 실험설계

실험 2는 *in vitro* 실험을 통하여 얻은 결과를 토대로 성적이 좋은 T-MgCa구와 T-CaS구를 비육후기 한우의 성장률에 미치는 영향을 점검하고자 80일간 전라북도 장수군 장수축협 목장에서 실시하였다. 실험에 사용된 공시 축은 비육 시기에 있는 200마리 한우 비거세우 중 30마리 (평균체중이 460kg)를 선발하여 실험에 사용하였다. 80일 동안 생산성을 보기 위하여 처리구 당 10두씩 3처리구로 완전임의 배치하였다. 실험사료의 CP, P, Ca 및 Mg의 수준은 비육후기 500kg 수소의 NRC(1988) 사양표준(CP; 11%, TDN; 65.5%, Ca; 0.49%)의 요구량에 준하게 배합하였으며, 이들의 배합내용은 Table 2에 나타내었다.

실험에 사용된 공시축은 4개월령 입식하여 육성시기에는 방목 사양하였으며 비육시기에는 TMR을 제한급여 하였으며, 시험개시까지 일당 증체량이 일정한(0.8~1.0g/d) 우군을 선발하여 실험개시 1개월전 부터 실험에 사용될 비육후기 TMR을 적응시켰으며, 사료급여는 매일 오전 11:00시에 공시체중의 2%를 이동식 TMR mixer(TMR-800 Haechung Co., Korea)를 이용하여

Table 2. Formulation(% DM) and chemical composition(% DM) of diets¹⁾ in *in vivo* growth trial.

	Control	T-MgCa	T-CaS
<i>Formulation</i>			
Beet pulp	4.00	4.00	4.00
Brewers grain, dry	12.40	12.40	12.40
Alfalfa cube	2.60	2.60	2.60
Corn gluten feed	6.70	6.70	6.70
Cracked corn	35.60	35.60	35.60
Wheat bran	20.00	20.00	20.00
Lupinseed	2.70	2.70	2.70
Oat	13.30	13.30	13.30
Rice straw	2.70	2.70	2.70
Premix ²⁾	1.00	1.00	1.00
Tallow	-	3.00	-
Ca-salt Tallow	-	-	3.50
CaCl ₂	-	0.40	-
MgO	-	0.40	0.50
Total	100	103.8	103.5
<i>Chemical composition</i>			
TDN	68.50	73.20	72.60
Ash	5.70	6.40	5.90
CP	11.00	10.97	11.5
NDF	26.60	26.55	26.63
EE	3.40	6.42	5.94
Calcium	0.53	0.76	0.81
Magnesium	0.22	0.43	0.22
Phosphorus	0.6	0.6	0.6

¹⁾ T-MgCa: Tallow +MgO+ CaCl₂, and T-CaS: Tallow + Ca-salt tallow; these abbreviations are same in Table 7 and 8.

²⁾ Premix contained 20% Ca, 16% P, 1% Mg, 25,000IU Vit. A and 10,000 IU Vit. D.

여 급여하였으며 제조 후 즉시 3.0% tallow + 0.4% MgO + 0.4% CaCl₂와 3.5% Ca-soap tallow를 각각의 처리구에 잘 혼합하였다.

(2) 분석사료의 준비 및 분석방법

실험사료의 DM, Crude protein, Ether extract, 및 NDF는 실험1의 분석방법과 동일하였다. 체중은 20일 간격으로 오후 3시에 측정하였으며

건물섭취량은 20일 간격으로 5일 동안 측정하였다.

(3) 통계분석

통계분석은 통계 SAS(Statistical Analysis System, Version 6.04 USA, 1989)를 이용하여 각 처리구간의 평균값을 Duncan's multiple range test로 비교, 검증하였다(Steel and Torry, 1980).

III 결과 및 고찰

1. 실험 1

지방의 공급형태에 따른 *in vitro* 발효 및 Insoluble Fatty Acid Soap 형성에 미치는 영향

(1) 반추위 발효성상

In vitro 배양에 의한 처리구간의 pH 변화는 Table 3에 나타난 바와 같다. 전반적으로 배양시간이 증가함에 따라 pH는 감소하는 경향을 보였다. 0 hr과 24 hr에서의 pH는 처리구들간에 통계적 유의차이가 없었다. 반면에 6 hr에서는 T-MgCa 구와 T-CaS 구에서의 pH 값이 다른 처리구들의 값보다 높게 조사되었다(P<0.05). Rogers 등(1982)과 Ruyet 등(1992)은 MgO와 CaCl₂의 빠른 용해성과 높은 완충능력으로 배

양초기 pH 상승을 가져오며 양이 증가할수록 그 효과는 증가한다고 보고하였다. 본 실험에서는 배양시간 12 hr에서는 T와 T-Mg 구에서의 pH 값이 다른 처리구 보다 높게 조사되었다(P<0.05). 이와 같은 결과는 VFA 생성량과 밀접한 관계가 있을 것으로 사료된다. 실제로 Table 4의 결과에서 12시간대 총 VFA 생성량은 T 구 및 T-Mg 구가 다른 처리구에 비하여 낮은 수치를 보였다. 이와 같이 낮아진 총 VFA 생성량이 급격한 pH의 감소를 완화시켰을 것으로 보여진다. Ammonia-N의 농도는 배양 6 hr에서 T구에 비하여 다른 처리구에 있어서 증가된 결과를 나타내었다(Table 3). 이것은 우지중 함유된 LCFAs의 반추위 발효 저해작용을 Ca 및 Mg의 보충과 Ca-soap을 통하여 개선 시킴으로 기초사료중 CP 분해가 활발하게 진행된 결과라 사료된다. 실제로 Table 5의 6 hr대의 CP 소화율이 T 구에 비하여 다른 처리구에서 높게 나타난 결과를 보이고 있다.

총 VFA 생성량(Table 4)은 6 hr에서는 처리구들간 통계적 유의차이가 없었지만 12 hr와 24 hr에서는 T 처리구에 비하여 tallow에 2g 양이온 첨가 또는 Ca-salt를 혼합 첨가한 처리구들에서 높게 조사되었다(P<0.05). Acetate, butyrate 생성량 및 A/P ratio는 전 배양시간 동안 처리구들간 통계적 유의차이가 없었으나,

Table 3. Effects of different type of fat sources on *in vitro* pH and ammonia N concentration.

Incubation time, hr	T	T-Mg	T-Ca	T-MgCa	T-CaS
..... pH					
0	6.9 ± 0.01	6.9 ± 0.01	7.0 ± 0.04	7.0 ± 0.03	6.9 ± 0.01
6	6.5 ± 0.01 ^b	6.9 ± 0.01 ^b	6.5 ± 0.01 ^b	6.6 ± 0.01 ^a	6.6 ± 0.01 ^a
12	6.3 ± 0.01 ^a	6.2 ± 0.03 ^a	6.0 ± 0.01 ^b	6.1 ± 0.02 ^b	6.1 ± 0.02 ^b
24	5.8 ± 0.02	5.8 ± 0.01	5.7 ± 0.01	5.7 ± 0.01	5.7 ± 0.01
..... Ammonia N (mg/dl)					
0	6.1 ± 0.1	5.8 ± 0.2	6.1 ± 0.2	6.1 ± 0.1	6.3 ± 0.1
6	6.5 ± 0.8 ^b	7.1 ± 0.1 ^{ab}	7.3 ± 0.1 ^{ab}	8.4 ± 0.2 ^a	8.8 ± 0.2 ^a
12	10.3 ± 0.2	9.0 ± 0.3	10.4 ± 0.6	9.3 ± 0.7	9.4 ± 0.4
24	15.7 ± 0.1	17.4 ± 0.4	16.1 ± 0.3	18.0 ± 0.9	18.1 ± 0.4

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

Table 4. Effects of different type of fat sources on *in vitro* VFA concentration(mM/dl).

Incubation time, hr	T	T-Mg	T-Ca	T-MgCa	T-CaS
..... Total VFA					
6	25.9 ± 0.3	37.1 ± 5.4	32.0 ± 0.9	45.9 ± 0.6	33.6 ± 3.4
12	58.8 ± 1.2 ^b	59.3 ± 2.0 ^b	62.7 ± 0.2 ^{ab}	64.2 ± 0.6 ^{ab}	67.8 ± 0.1 ^a
24	94.9 ± 1.9 ^{ab}	99.8 ± 1.7 ^a	86.8 ± 3.4 ^b	100.7 ± 0.1 ^a	103.1 ± 1.3 ^a
..... Acetate (A)					
6	11.4 ± 0.1	19.0 ± 4.0	17.8 ± 0.9	25.2 ± 0.7	17.6 ± 2.8
12	35.0 ± 1.5	36.0 ± 1.3	37.2 ± 0.4	39.4 ± 0.4	42.2 ± 0.5
24	52.1 ± 0.5	50.4 ± 0.7	47.7 ± 2.5	56.3 ± 0.1	55.6 ± 1.5
..... Propionate (P)					
6	7.1 ± 0.1 ^c	10.4 ± 1.1 ^b	8.4 ± 0.1 ^{bc}	13.0 ± 0.3 ^a	9.1 ± 0.2 ^{bc}
12	13.9 ± 0.2 ^b	13.7 ± 0.4 ^b	14.2 ± 0.1 ^b	14.5 ± 0.5 ^b	15.3 ± 0.5 ^a
24	29.6 ± 1.1	34.8 ± 1.3	25.2 ± 1.2	30.1 ± 0.7	33.0 ± 2.6
..... Butyrate					
6	4.4 ± 0.1	4.4 ± 0.5	3.1 ± 0.1	4.5 ± 0.2	3.4 ± 0.4
12	6.0 ± 0.2	6.2 ± 0.5	6.9 ± 0.1	6.5 ± 0.2	5.8 ± 0.3
24	8.3 ± 0.4	9.2 ± 0.1	9.0 ± 0.1	9.3 ± 0.3	9.1 ± 0.1
..... Valerate					
6	0.8 ± 0.1 ^b	1.0 ± 0.1 ^b	1.1 ± 0.1 ^b	0.9 ± 0.1 ^b	1.5 ± 0.1 ^a
12	1.3 ± 0.2	1.1 ± 0.1	1.6 ± 0.3	1.1 ± 0.1	0.9 ± 0.1
24	1.7 ± 0.1	1.8 ± 0.1	1.6 ± 0.1	1.5 ± 0.0	1.7 ± 0.0
..... A/P ratio					
6	1.6 ± 0.0	1.8 ± 0.1	2.1 ± 0.1	1.9 ± 0.0	1.9 ± 0.3
12	2.5 ± 0.1	2.6 ± 0.1	2.6 ± 0.0	2.7 ± 0.1	2.8 ± 0.1
24	1.8 ± 0.1	1.5 ± 0.1	1.9 ± 0.0	1.9 ± 0.0	1.7 ± 0.2

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

6 hr에서 propionate 생성량은 T-Ca 및 T-CaS 처리구는 T보다 높은 경향을 보였고 MgO T-MgCa 구에서 유의성 있는 증가를 보였다($P < 0.05$). 12 hr에서는 처리구들 중 T-CaS에서의 propionate 생성량이 가장 높았다($P < 0.05$). Valerate 생성량은 12 hr와 24 hr에서는 처리구들간

통계적 유의차 없었지만, 6 hr에서 T-CaS 구에서 생성량이 처리구들 중 가장 높았다($P < 0.05$). 아울러 총 VFA 생성량에 있어서 배양 12 및 24 hr 모두에서 T-MgCa 및 T-CaS 구에서 다른 처리구 보다 뚜렷한 증가를 보였다($P < 0.05$). 이와 같은 결과는 지방첨가시 2가 양이

온의 첨가 및 보호지방의 첨가가 영양소 소화율을 개선시켜 휘발성지방산 생성량이 증가되었다는 여러 연구자들의 결과(White 등 1958; Davison and woods, 1960; Jenkins과 Palmquist 1982)를 다시 한번 확인하였다. 아울러 지방첨가시 Ca 단독보다는 Mg의 보충이 반추위 VFA 생성량 증가에 더 효과적임이 입증되었다. 일반적으로 반추동물에 있어서 지방의 첨가는 제 1위 내에서 가수분해된 LCFAs의 반추위 미생물의 세포표면에 작용하여 세포 침투성과 세포막의 표면활성 작용을 억제시켜 protozoa, cellulolytic bacteria, methanogenic bacteria 등의 활성을 저하시키며(Galbraith 등, 1973; Henderson,

1973; Palmquist and Jenkins, 1980; Maczulak 등, 1981; Towne 등, 1990), 섬유소를 물리적으로 피복하여 미생물 접근을 방해 조섬유 소화율의 저하(Davison와 Woods, 1963; EI Hag와 Miller, 1972; Van der Horning과 Tamminga, 1986)와 양이온과의 염 형성으로 인한 반추위 내 양이온 부족현상 등(Chalupa 등, 1984), 반추동물의 반추위 발효에 부정적인 영향을 보인다. 따라서 본 실험에서 나타난 *in vitro* 발효산물의 결과를 종합해 볼 때 우지 단독 처리 보다는 2가 양이온 보충제라 할 수 있는 CaCl₂ 및 MgO 첨가는 LCFAs의 반추위발효 저해작용을 막고, 사료 자체 내인성 2가 양이온의 염형성으로 인한

Table 5. Effects of different type of fat sources on *in vitro* nutrients disappearance(%).

Incubation time, hr	T	T-Mg	T-Ca	T-MgCa	T-CaS
..... <i>Dry matter</i>					
0	18.7 ± 0.9	20.2 ± 1.4	17.2 ± 3.0	21.0 ± 0.5	19.3 ± 0.2
6	37.0 ± 0.2	39.2 ± 0.8	34.5 ± 0.2	35.0 ± 1.3	38.6 ± 0.9
12	45.9 ± 1.2 ^b	49.3 ± 0.9 ^{ab}	52.9 ± 0.6 ^a	54.1 ± 2.1 ^a	54.0 ± 0.5 ^a
24	60.9 ± 0.8	61.6 ± 1.9	62.8 ± 0.9	64.4 ± 0.2	66.0 ± 0.4
..... <i>Organic matter</i>					
0	24.1 ± 1.5	24.9 ± 1.3	22.4 ± 3.0	26.0 ± 0.4	23.9 ± 0.2
6	40.1 ± 0.2	42.3 ± 0.7	38.0 ± 0.1	38.4 ± 1.1	41.2 ± 0.7
12	49.1 ± 1.1 ^b	51.8 ± 0.8 ^{ab}	55.8 ± 0.5 ^a	57.0 ± 1.9 ^a	56.7 ± 0.4 ^a
24	63.7 ± 0.6	64.7 ± 1.6	65.8 ± 0.9	67.3 ± 0.3	68.3 ± 0.8
..... <i>Crude protein</i>					
0	18.6 ± 0.1 ^b	21.8 ± 1.1 ^a	16.6 ± 0.1 ^c	18.9 ± 0.1 ^b	16.7 ± 0.8 ^c
6	32.0 ± 0.4 ^d	41.8 ± 0.3 ^b	34.4 ± 0.3 ^c	43.5 ± 0.3 ^a	34.5 ± 0.1 ^c
12	35.4 ± 0.3 ^d	48.3 ± 0.5 ^c	54.1 ± 0.6 ^b	60.8 ± 0.7 ^a	53.5 ± 1.5 ^b
24	62.3 ± 0.6	71.1 ± 0.4	70.3 ± 6.0	75.5 ± 1.8	71.6 ± 1.2
..... <i>Neutral detergent fiber</i>					
0	13.0 ± 0.1	12.4 ± 0.2	12.0 ± 0.1	13.0 ± 0.2	12.6 ± 0.2
6	25.5 ± 0.2 ^a	26.3 ± 0.3 ^a	23.0 ± 0.1 ^b	22.5 ± 0.5 ^b	26.0 ± 0.4 ^a
12	30.6 ± 0.2 ^d	33.4 ± 0.1 ^c	35.1 ± 0.2 ^b	37.4 ± 0.4 ^a	38.1 ± 0.1 ^a
24	38.4 ± 0.2 ^d	43.2 ± 0.3 ^{bc}	42.3 ± 0.9 ^c	45.0 ± 0.2 ^{ab}	46.3 ± 0.1 ^a

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

반추위 미생물이 이용할 수 있는 2가 양이온의 부족현상을 보충하였으리라 사료된다(White 등, 1958; Davison와 Woods, 1960; Jenkins와 Palmquist, 1982; Bock 등, 1990). 아울러 선행연구자들에 의해 보고된 Ca-salt 지방의 경우 반추위 발효에 좋은 지방공급형태임이 다시 한번 확인되었다(Ferlay 등, 1993).

(2) 영양소 분해율

DM과 OM 분해율은 0, 6 및 24 hr에서는 처리구들간 통계적 유의차이가 없었다. 반면에 12 hr에서는 tallow 단독 처리구(T구)에서의 값이 다른 처리구들과 비교하여 낮게 나타났다(Table 5; P < 0.05). 조단백질 분해율은 0 hr에서는 T-Mg 구에서 가장 높게 조사되었다(P < 0.05). 6 hr과 12 hr에서는 T-MgCa 처리구에서 가장 높은 조단백질 분해율을 보였고 T에서는 가장 낮았다(P < 0.05). 반면에 24 hr에서는 처리구들간 통계적 유의차이가 없었다. NDF 분해율은 배양 0 hr에서는 처리구들간에 유사한 수치를 보였으나 6 hr 이후부터는 T-CaS 처리구에서 가장 높은 분해율이 조사된 반면에 tallow 단독 처리구에서는 가장 낮았다(P < 0.05). 그 이유는 양이온이나 Ca-salt 형태의 어떠한 보호처리과정 없이 tallow의 첨가는 반추위 내에서 조섬유입자를 피복시켜 반추위미생물에 의한 조섬유의 분해를 저하시키

기 때문이다(Chalupa 등, 1986; Sutton과 Morant, 1989). 따라서 본 실험결과는 tallow 단독 급여구보다 2가 양이온이나 Ca-salt 처리가 영양소 이용효율을 개선시키는 것으로 조사되었는데, 이와 유사하게 여러 학자들에 의해서 OM이나 NDF 소화율이 채종유 같은 식물성기름 단독 급여구 보다 Ca-salt를 혼합 처리구한 시험구에서 개선됨이 보고된 바 있다 (Drackley 등, 1985; Ferlay 등, 1993). 또한 사료중 양이온과 함께 지방을 첨가하면 섬유소 분해균 독성을 가져오는 장쇄지방산과 결합하거나 이들 미생물에 2가 양이온의 공급으로 소화율이 향상되었다는 결과와도 유사하다(White 등 1958; Davison와 Woods, 1960; Jenkins와 Palmquist, 1984). 특히 T 구에 비하여 T-Ca구와 T-Mg 구에서 소화율의 개선효과가 있었던 것과 이들 처리구간의 유의성 차이가 없었던 것을 보아 tallow 첨가시 Mg 첨가효과는 Ca에 뒤지지 않다는 증거가 된다.

(3) 불용성 염 형성도 측정(Insoluble Fatty Acid Soap)

불용성 염 형성 정도는 Table 6에 나타난 바와 같다. 용해성 지방산은 전 배양시간대에 걸쳐 T-CaS 구에서 가장 낮았으나, 불용성지방산 염 형성이 가장 높았다(P < 0.05). 따라서 지방산의 Ca-salt는 반추위 내에서 용해도가 낮은

Table 6. Effects of different type of fat sources on formation of soluble fatty acid and insoluble fatty acid soap(%).

Incubation time, hr	T	T-Mg	T-Ca	T-MgCa	T-CaS
..... Soluble fatty acid					
6	54.6 ± 0.1 ^c	56.9 ± 1.0 ^b	58.1 ± 0.5 ^{ab}	59.9 ± 0.2 ^a	14.1 ± 0.5 ^d
12	40.6 ± 0.7 ^a	36.1 ± 0.5 ^b	41.4 ± 1.0 ^a	38.4 ± 0.4 ^{ab}	10.8 ± 0.1 ^c
24	23.8 ± 1.6 ^a	19.4 ± 0.2 ^a	21.5 ± 2.9 ^a	21.1 ± 0.6 ^a	6.2 ± 0.5 ^b
..... Insoluble fatty acid soap					
6	17.7 ± 0.1 ^b	19.6 ± 0.1 ^b	21.7 ± 1.2 ^b	21.0 ± 2.3 ^b	80.6 ± 0.4 ^a
12	32.7 ± 0.3 ^d	42.5 ± 2.0 ^c	39.0 ± 2.6 ^{cd}	50.6 ± 0.1 ^b	80.4 ± 0.5 ^a
24	37.1 ± 0.4 ^d	45.3 ± 2.6 ^c	44.1 ± 3.0 ^{cd}	53.3 ± 0.8 ^b	75.5 ± 1.4 ^a

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

것을 조사한 Chalupa 등(1986)의 연구결과를 다시 한번 입증한 결과이다. 본 실험결과 중 24 hr에서의 T-Ca 구의 불용성 염이 44% 형성된 것은 tallow와 CaCl₂를 48hr 동안 배양하였을 때 24hr에 50%의 불용성지방이 형성된 Palmquist 등(1982)의 결과와 유사하다. 본 실험의 결과에서 T-Mg 구에서도 배양 24시간 후 불용성 염 형성정도가 대조구에 비하여 유의성 있게 높았고, T-Ca 구와 유사하게 나타난 결과는 MgO 또한 반추위 LCFA와의 염 형성에 효과가 CaCl₂과 유사한 염 형성능력이 있음을 시사한다. 아울러 CaCl₂와 MgO 혼합급여구(T-MgCa)에서 T-CaS 구를 제외한 다른 구에 비하여 유의성있게 증가되었음을 보아 우지 급여시 Ca 단독 보충급여보다는 Ca 및 Mg 혼합급여가 반추위내 장쇄지방산과의 불용성 염 형성에 훨씬

효과적임이 확인되었다.

2. 실험 2

지방의 공급원에 따른 한우의 성장성적에 미치는 영향

사료급여 30일까지는 사료섭취량, 일당증체량 및 사료 이용효율이 처리구들간 통계적 유의차이가 없었다(Table 7). 반면에, 사료급여 30일 이후부터 50일 동안에는 처리구들간의 사료섭취량은 차이가 없었지만 일당증체량과 사료 이용효율은 T-MgCa > T-CaS > Control 순으로 높았다(P < 0.05). 사료급여 50일 이후부터 80일 동안의 사료섭취량은 T-MgCa이나 T-CaS 구보다 Control구에서 높았다(P < 0.05). 일당 증체량

Table 7. Effect of different type of fat sources on the performance of Hanwoo steers¹⁾.

Item	Control	T-CaS	T-MgCa	SEM ²⁾
..... Feeding period I (0 30 d)				
Feed intake (kg/d)	11.80	10.48	10.33	0.38
Daily liveweight gain (kg/d)	1.22	1.02	1.13	0.05
Feed efficiency (gain/intake)	0.10	0.10	0.11	0.004
..... Feeding period II (31 50 d)				
Feed intake (kg/d)	10.45	9.01	9.91	0.34
Daily liveweight gain (kg/d)	0.82 ^b	1.06 ^{ab}	1.30 ^a	0.11
Feed efficiency (gain/intake)	0.08 ^c	0.12 ^b	0.13 ^a	0.01
..... Feeding period III (51 80 d)				
Feed intake (kg/d)	10.85 ^a	9.85 ^b	10.02 ^b	0.25
Daily liveweight gain (kg/d)	0.65 ^b	0.92 ^a	1.00 ^a	0.09
Feed efficiency (gain/intake)	0.06 ^b	0.09 ^a	0.10 ^a	0.01
..... Whole feeding period (0 80 d)				
Feed intake (kg/d)	11.03 ^a	9.78 ^b	10.09 ^b	0.07
Daily liveweight gain (kg/d)	0.89 ^b	1.02 ^b	1.17 ^a	0.31
Feed efficiency (gain/intake)	0.08 ^c	0.10 ^b	0.12 ^a	0.01

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

¹⁾ Number of animals per treatment = 10.

²⁾ SEM : standard error of means.

과 사료 이용효율은 Control 구 보다 T-MgCa 나 T-CaS 구에서 높았다($P < 0.05$). 한편 총 사료 급여기간 80일 동안의 증체율 결과를 보면 사료섭취량은 대조구와 T-MgCa 구와 비교하여 T-CaS 구에서 낮게 조사되었고($P < 0.05$), 일당 증체량과 사료 이용효율은 T-MgCa > T-CaS > Control 순으로 높았다($P < 0.05$). 본 실험결과와 유사하게 Bock 등(1990)은 비육후기 사료 내 지방원료와 Ca의 첨가수준에 따라 일당증체량이 증가되었다. Huffman 등(1992)도 박편 옥수수 4% tallow를 첨가시 일당증체량이 증가하였고, 사료 이용효율도 개선된 것을 보고 하였다. 따라서 본 실험결과는 사료 내 지방과 2가 양이온의 첨가는 반추위 대사의 안정화로 인하여 한우의 일당증체량과 사료 이용효율을 개선시키는 효과가 있는 것으로 요약할 수 있다.

이상의 결과를 종합해 볼 때 반추동물에 있어서 우지 이용시 Mg의 첨가는 Ca와 동일한 발효성상 및 불용성 화합물을 형성하며 이들의 혼합형태는 반추위 내에서의 지방 이용성은 저하시키고 반추위 by-pass 효율을 증가시켜 지방 첨가로 인한 반추위 발효성상에 대한 부(-)의 영향을 최소화 할 수 있음을 확인하였고, 이들 2가 양이온 지방산 염은 하부소화기관에서 분해 이용됨으로 지방의 이용성의 개선 및 2가 양이온 균형에 기여되어 비거세한우 비육마무리기의 성장성적의 개선효과에 긍정적인 결과를 얻을 수 있었다.

IV 요 약

본 실험은 지방의 공급형태에 따른 반추위 발효성상, 영양소 이용효율 및 증체율을 관찰하기 위하여 *in vitro* 실험과 *in vivo* 사양 실험을 수행하였다. *In vitro*에서는 지방원료로서 tallow(T), 그리고 tallow에 2가 양이온은 MgO (T-Mg), CaCl₂(T-Ca), MgO와 CaCl₂의 혼합 (T-MgCa) 및 Ca-salt 처리 tallow(T-CaS)의 총 5개의 처리구를 두었다. *In vitro* 배양 시간은 0, 6, 12, 및 24 hr별로 두었다. *In vivo* 사양 실험은 *in vitro* 실험을 통하여 얻은 결과를 토대로 성적이 좋은 T-MgCa 구와 T-CaS 구

를 선택하여 지방 무첨가구를 대조구로 하여 비육후기 한우의 성장률 및 육질에 미치는 영향을 관찰하고자 처리구당 10두씩 3 처리구로 완전임의 배치하여 80일간 실시하였다. 실험 결과를 살펴보면 배양시간 6 hr 이후부터 처리구들간 변화를 보였는데 6 hr에서는 T-MgCa 구와 T-CaS 구에서의 pH 값이 다른 처리구들의 값보다 높게 조사되었고($P < 0.05$), 12 hr에서는 T와 T-Mg 구에서의 pH 값이 MgO와 CaCl₂ 첨가구 보다 높게 조사되었다($P < 0.05$). Ammonia-N의 농도는 6 hr를 제외하고는 처리구들간 통계적 유의차이는 없었다. 6 hr에서의 ammonia-N 농도는 tallow 단독 처리구에서의 농도가 다른 처리구들보다 낮았다($P < 0.05$). 총 VFA 생성량은 6 hr에서는 처리구들간 통계적 유의차이가 없었지만 12 hr와 24 hr에서는 T 처리구에 비하여 tallow에 2가 양이온 첨가 또는 Ca-salt를 혼합 첨가한 처리구들에서 높게 조사되었다($P < 0.05$). 영양소(DM, OM, CP 및 NDF)분해율은 12 hr 이후부터 tallow 단독 처리구보다 양이온이나 Ca-salt 처리 tallow 구에서 보다 높은 경향을 보였다. 용해성 지방산은 전 배양 시간대에 걸쳐 T-CaS 구에서 가장 낮았으나, 불용성 지방산 염 형성은 가장 높았다($P < 0.05$). 사료급여 30일까지(feeding period I)는 사료섭취량, 일당증체량 및 사료 이용효율이 처리구들간 통계적 유의차이가 없었다. 반면에, feeding period II(31~50일)와 III(51~80일) 그리고, 전 급여기간 동안 일당 증체량과 사료이용효율은 T-MgCa > T-CaS > Control 순으로 높았다($P < 0.05$). 결론적으로 사료 섭취량의 증가가 제한되는 비거세 한우의 비육 마무리기에 있어서 고 에너지 사료제조를 위한 우지의 첨가시 Ca 및 Mg 보충은 반추위 발효성상 및 성장성적의 개선효과가 있음이 확인되었다.

V 사 사

본 연구의 사양실험을 협조해주신 장재영 군수님을 비롯하여 장수축산업협동조합 여러 분들에게 감사를 표한다. 본 연구는 농림부 농림기술개발사업과 Brain Korea 21 Project의

일부 지원에 의해 이루어진 것임.

VI 인 용 문 헌

1. AOAC. 1985. Official Methods of Analysis of the Association(14th eds). Association of Official Analytical Chemistry. Inc.
2. Bock, B. J., Hamon, D. L., Brandt, Jr. R. T. and Scheider. J. E. 1991. Fat source and calcium level effects on finishing steer performance, digestion, and metabolism. *J. Anim. Sci.* 69:2211-2224.
3. Chaney, A. L. and Marbach. E. P. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clin. Chem.* 8:130-137.
4. Chalupa, W., Veccdhiarelli. B., Elser, A. E. and Kronfeld. D. S. 1986. Ruminant fermentation *in vivo* as influenced by long-chain fatty acids. *J. Dairy Sci.* 69:1293-1301.
5. Davison, R. K. and Woods. W. 1960. Influence of fatty acids upon digestibility of ration components by lambs and upon cellulose digestion *in vitro*. *J. Anim. Sci.* 19:54
6. Drackley, J. K., Clark, A. K. and Sahu. T. 1985. Ration digestibilities and ruminal characteristics in steers fed sunflower seeds with additional calcium. *J. Dairy Sci.* 68:356-367.
7. Erdmam, R. A., Hemken, R. W. and Bull, L. S. 1982. Dietary sodium bicarbonate and magnesium oxide for early postpartum lactating dairy cows: effect on production, acid-base metabolism and digestion. *J. Dairy Sci.* 65:712.
8. Ferlay, A., J. Chabrot, Y. E. and Doreau. M. 1993. Ruminant lipid balance and intestinal digestion by dairy cows fed calcium salts of rapeseed oil fatty acids or rapeseed oil. *J. Anim. Sci.* 71:2237-2245.
9. Galbraith, H. and Miller. T. B. 1973. The effect of metal cation and pH on the antibacterial activity and uptake of long-chain fatty acids. *J. Appl. Bacteriol.* 36:635.
10. Huffman, R. P., Stock, R. A., Sindt, M. H. and Shain. D. H. 1992. Effect of fat type and forage level on performance of finishing cattle. *J. Anim. Sci.* 70:3889-3898.
11. Jenkins, T. C. and Palmquist. D. L. 1982. Effect of added fat and calcium on *in vitro* formation of insoluble fatty acid soap and cell wall digestibility. *J. Anim. Sci.* 55:957.
12. Jenkins, T. C. and Palmquist. D. L. 1984. Effect of fatty acid or calcium soaps on rumen and total nutrient digestibility of dairy rations. *J. Dairy Sci.* 67:978-986.
13. Maczulak, A. E., Dehority, B. A. and Palmquist. D. L. 1981. Effect of long-chain fatty acids on growth of rumen bacteria. *Appl. and Envi. Microbio.* 42(5):856-862.
14. National Research Council. 1988. Nutrient requirements of domestic animals. No. 3. Nutrient requirements of dairy cattle. 6th rev. ed. Natl. Acad. Sci., Washington, D. C.
15. Palmquist, D. L. and Jenkins, T. C. 1980. Fat in lactation rations: review. *J. Dairy Sci.* 63:1-14.
16. Palmquist, D. L., Jenkins, T. C., Joyner, AE Jr. 1986. Effect of dietary fat and calcium source on insoluble soap formation in the rumen. *J Dairy Sci.* 69(4):1020-1025
17. Rogers, J. A., Davis, C. L. and Clark. J. H. 1982. Alteration of rumen fermentation, milk fat synthesis and nutrient utilization with mineral salts in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 65:577.
18. Ruyet., P. L. and Tucker. W. B. 1991. Ruminant buffers: temporal effects on buffering capacity and pH of ruminal fluid from cows fed a high concentrate diet. *J. Dairy Sci.* 75:1069-1077.
19. SAS. 1989. SAS User's Guide: Statistic. SAS Inst. Inc., Cary, NC.
20. Steel, R. G. D. and Torrie. J. H. 1980. Principles and Procedures of Statistics. 2nd eds. McGraw-Hill Book Co., Inc., New York.
21. Sutton, J. D. and Morant, S. V. 1989. A review of the potential of nutrition to modify milk fat and protein. *Livest. Prod. Sci.* 23:219.
22. Tilley, J. M. A. and Terry. R. A. 1963. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *J. British Grassland Society.* 18:104.
23. Towne, G., Nagaraja, T. G., Brandt, Jr. R. T. and Kemp. K. E. 1990. Ruminant ciliated protozoa in cattle fed finishing diets with or without supplemental fat. *J. Anim. Sci.* 68:2150-2155.
24. Van der Horning, Y. and Tamminga, S. 1986. Effect of fat on rumen fermentation and future respective in research on rumen fermentation. A seminar in the EG program of condition of agricultural research. Rep. Eur. 10054 EN. publ. Commition Europ. Commum. Forsofsalaeg Foulum. Denmark. pp, 55-68.
25. Van Soest, P. J., Robertson, J. B. and Lewis, B. A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in rela-

- tion to animal nutrition. J. Dairy Sci. 74:3583-3597.
26. Weller, R. A. and Pilgrim. A. F. 1974. Passage of protozoa and volatile fatty acids from the rumen of the sheep and from a continuous *in vitro* fermentation system. Brit. J. Nutr. 32:341-351.
27. White, T. W., Grainger, R. B., Baker, F. H. and Stroud. J. W. 1958. Effect of supplemental fat on digestion and the ruminal calcium requirement of sheep. J. Anim. Sci. 17:797.
28. 맹원재, 신형태, 윤광로, 김대진. 1986. 수정증보 사료분석실험. 선진문화사.
29. 맹원재. 1987. 지방, 불해성 단백질의 중요성, 한국사료영양학회지. 11(1):1-17.
- (접수일자 : 2004. 2. 11. / 채택일자 : 2004. 6. 15.)