

Research Article

다양한 조사료를 이용해 제조한 TMR이 흑염소 반추위 *in vitro* 발효성상에 미치는 영향

이진욱, 이성수, 김찬란, 최봉환, 이상훈, 김동교, 이은도, 김관우*, 류채화*
국립축산과학원

Effect of Forage Sources in Total Mixed Ration (TMR) on *in vitro* Rumen Fermentation of Goat

Jinwook Lee, Sung-Soo Lee, Chan-Lan Kim, Bong-Hwan Choi, Sang-Hoon Lee, Dong-Kyo Kim,
Eun-Do Lee, Kwan-Woo Kim* and Chae Hwa Ryu*

Animal Genetic Resources Research Center, National Institute of Animal Science, RDA, Hamyang, 50000, Republic of Korea

ABSTRACT

In this study, the effect of forage sources in the total mixed ration (TMR) on *in vitro* goat rumen fermentation was investigated. Rice straw (RS), Italian ryegrass (IRG), timothy (TIM), and alfalfa (ALF) were used as forage sources. Each forage source was mixed with a commercial goat concentrate diet in the ratio of 1:1. Total 4 TMR were prepared. Rumen simulated *in vitro* fermentation using goat rumen fluid collected from the slaughterhouse was conducted until 72th. For fermentation parameters, gas production (GP), volatile fatty acids (VFAs), and ammonia nitrogen (NH₃-N) were examined. All assays were performed at 24th, 48th, and 72th h of incubation individually. Contents of crude protein and non-fibrous carbohydrate were greater in the order of RS < IRG < TIM < ALF. Significant treatment effects were found in valerate and NH₃-N at 24th h of incubation (p<0.05). ALF showed the greatest contents of them and RS was the lowest. At 48th incubation, a significant effect was detected at GP (p<0.05) and RS was greater than others. However, GP of RS was lower than others at 72th. Significant effects on Total VFA, butyrate, and valerate productions were found at 72th h of incubation (p<0.05). ALF showed the greatest production. Methane production from all treatments was not significantly different for each incubation time (p>0.05). The present study provided primary information on how goat rumen fermentation responds to different nutrient contents and forage sources of TMR. And the information could be used for the design or optimizing economical diet formulation for goats.

(Key words: Goat, Forage, *in vitro*, Rumen fermentation, TMR)

I. 서론

최근 우리나라에서 염소의 육용소비가 증가하면서 사육농가가 점차 전업화 되고 있으며, 이에 따라 집약적이고 대규모 사육에 용이한 농후사료 위주의 사육형태가 증가하고 있다(Hwangbo *et al.*, 2007). 농후사료의 다량 급여는 사료비의 부담과 대사성 질병의 발생위험을 증가시켜 염소의 성장을 저해하는 요인이 될 수 있다(Jung *et al.*, 2008). 이에 농후사료와 조사료의 균형 잡힌 급여를 통해 반추위 환경을 안정화시키고, 사료섭취량 및 영양소 이용효율을 향상시킬 수 있는 완전혼합섬유질사료(TMR, total mixed ration)에 대한 관심이 증가하고 있다(Li *et al.*, 2003). TMR은 반추위 내 영양소의 균형을 충족시키고 동시에 사료섭취

량과 영양소 이용효율을 향상시킨다(Nocek *et al.*, 1985; Kim *et al.*, 2007).

TMR은 조사료와 농후사료를 함께 급여하기 위해 만들어진 사료이며 이중 조사료의 종류에 따라 TMR의 성분의 차이가 크게 나타나 조사료의 선택이 매우 중요하다. 조사료는 반추동물에 있어 영양, 생리 및 경제적 측면에서 가장 중요한 사료자원이다. 반추동물은 반추위 내 미생물과의 공생관계를 통해 다량의 섬유성 탄수화물을 소화하고 이용할 수 있다(Loor *et al.*, 2016; Moraïs and Mizrahi, 2019). 반추동물이 섭취한 조사료원은 반추위 내에서 미생물에 의해 분해되어 반추동물이 이용할 수 있는 휘발성 지방산(volatile fatty acid, VFA)와 미생물체단백질 등의 에너지 및 단백질원으로 이용된다(Loor *et al.*, 2016). 또한, 조사

*Corresponding author : Kwan Woo Kim, Animal Genetic Resources Research Center, National Institute of Animal Science, RDA, Hamyang, 50000, Republic of Korea, Tel: 055-960-3541, Fax: 055-960-3590, E-mail: bgring@korea.kr

*Corresponding author : Chaehwa Ryu, Animal Nutritional and Physiology Team, National Institute of Animal Science, RDA, Wanju, 55365, Republic of Korea, Tel: 063-238-7467, Fax: 063-238-7453, E-mail: chryu0629@korea.kr

료는 비타민, 미네랄 등의 다양한 영양소 공급원이 될 수 있다 (Pearson *et al.*, 2007). 조사료의 영양적 가치는 초종, 수확시기 및 예취 횟수 등에 의해 영향을 받으며, 주로 단백질과 섬유소 함량의 차이가 발생한다(Ki *et al.*, 2017). 알팔파와 같은 두과목초는 단백질 함량이 높고 섬유소 함량이 낮아 섭취량과 소화율이 높고 영양소 이용률을 향상시킨다(Lee *et al.*, 2004; Durmic *et al.*, 2017). 또한 이러한 영양소 함량의 차이는 반추동물의 섭취량, 소화율 및 반추위 발효성상과 그에 따른 반추위 대사산물 생성에 있어 중요한 영향을 미친다. 반추동물에서 중성세제불용섬유(neutral detergent fiber, NDF) 함량이 높은 조사료는 물리적 포만감에 의해 섭취량을 감소시키나(Cantalapiedra-Hijar *et al.*, 2009), 단백질 함량이 높은 조사료는 소화율과 영양소 이용효율을 향상시켜 가축의 생산성 증가에도 중요한 역할을 한다(Larbi *et al.*, 1998; Getachew *et al.*, 2004).

엽소는 수엽류와 아초류에 대한 기호성이 높은 중간채식형이며(Hofman, 1985), 목질계 조사료를 이용하는데 유리한 소화기 구조를 가지고 있어 부존사료자원에 대한 활용성이 높다(Kingbury, 1964). 이러한 이유로 국내에서는 엽소에 대해 영양소 함량과 소화율이 낮은 벧짚의 급여 효과(Kim *et al.*, 2012)나 일부 사일리지(Jung *et al.*, 2009)를 활용한 TMR 급여효과에 대한 연구를 주로 수행하였으나, 양질의 조사료를 이용한 연구는 부족한 실정이다. Giger-Reverdin *et al.* (2020)은 엽소가 다른 가축에 비해 열악한 사육조건에서 잘 적응할 수 있으나, 일반적인 사양조건에서 보다 높은 생산성을 보인다고 보고하였다. 또한, 알팔파와 같은 양질의 조사료 급여는 반추위 내 영양소 이용성을 향상시키고 최종적으로 생산성 향상에 도움을 준다고 보고하였다

(Agnihotri *et al.*, 2006; Goetsch *et al.*, 2011). 따라서 본 연구는 국내에 유통되는 다양한 조사료원을 이용해 제조한 TMR사료가 엽소의 반추위 발효성상에 미치는 영향을 확인하기 위하여 수행되었다.

II. 재료 및 방법

1. 공시재료 및 실험설계

본 연구에서는 흑염소 조사료로 사용되고 있는 벧짚(rice straw, RS), 이탈리아인 라이그라스(Italian ryegrass, IRG), 티모시(timothy, TIM) 및 알팔파(alfalfa, ALF)와 엽소용 시판 농후사료를 5:5로 배합하여 실험용 TMR을 제조하였다. 실험에 사용된 사료의 일반성분 분석은 60℃ 송풍 건조기에서 48시간 건조한 후 건물함량을 측정하였다. 건조된 시료는 분쇄기를 이용하여 1 mm 망에 통과 가능한 크기로 분쇄 후 일반성분 분석에 이용하였다. 실험사료의 조단백질(crude protein, CP), 조지방(ether extract, EE), 및 조회분(Ash) 함량은 AOAC (2005)의 일반성분 분석방법에 따라 분석하였으며, NDF와 산성세제불용섬유(acid detergent fiber, ADF) 함량은 Van Soest (1991)의 방법을 응용하여 분석하였다. 중성세제불용조단백질(neutral detergent insoluble crude protein, NDICP)과 산성세제불용조단백질은 Licitra *et al.* (1996)의 방법으로 측정하였다. 시험에 사용된 조사료와 농후사료의 화학적 성분은 Table 1에 나타내었으며, 실험사료(TMR)의 화학적 조성은 Table 2와 같다.

Table 1. Chemical composition of basal diets

Items	Rice straw	Italian ryegrass	Timothy	Alfalfa	Concentrate
Dry matter (DM), %	95.57	93.95	95.50	94.82	89.17
..... % DM					
Organic matter	87.31	89.34	90.20	87.26	85.28
Crude protein (CP)	3.83	7.72	10.55	14.60	16.28
Ether extract	2.90	2.80	3.02	2.83	3.45
Neural detergent fiber	68.47	67.58	62.44	49.58	26.13
Acid detergent fiber	41.25	40.25	36.04	36.29	12.42
Non-fiber carbohydrate	18.19	19.07	21.83	29.48	49.55
Crude ash	10.30	8.50	7.40	11.40	7.80
Neutral detergent insoluble CP	3.67	5.66	5.24	7.90	3.20
Acid detergent insoluble CP	2.33	2.05	1.51	2.90	1.31

NFC (Non fibrous carbohyderate) = 100 - CP - EE - Ash - (NDF - NDICP).

DM, dry matter; CP, crude protein.

2. 반추위액 채취 및 *in vitro* 배양실험

실험을 위한 교잡종 흑염소 반추위액은 전남 화순군에 위치한 염소 전용 도축장에서 채취하였다. 채취된 위액은 4겹의 거즈로 여과 후 혐기상태의 보온용기에 담아 실험실로 운반하였다. 실험 배양개시 30분 전 반추위액을 O₂-free CO₂를 이용하여 혐기상태로 유지하면서 pH를 6.5로 보정하고 McDougall's buffer solution (Troelsen and Hanel, 1966)과 반추위액을 4:1로 혼합하여 배양액으로 사용하였다. 조사료의 효과를 검증하기 위하여 측정시간은 24, 48 및 72 시간으로 설정하였고 시간대별 각각 3반복하여 실시하였다(Tilley and Terry, 1963)

3. 분석항목 및 분석방법

pH는 발효가 종료된 배양병을 개봉한 후 pH meter (S20 Seven Easy™, Mettler-Toledo)를 이용하여 반추위액의 pH를 측정하였다. 총 가스 생성량은 실험용 100 mL 주사기를 이용하여 배양병에 있는 총 가스를 측정하였다. 측정이 완료된 가스는 수소 및 메탄발생량 측정을 위해 고무마개가 장착된 알루미늄 용기에 포집하였다. 포집한 가스는 Carboxen™ fused silica capillary column (0.53 mm I.d × 30 m length, SUPELCO, USA)이 장착된 gas chromatography (HP 7890, Agilent, CA., USA)를 이용하여 분석하였다. 분석조건은 oven 100℃, injector 150℃ 및 thermal conductivity detector 150℃로 설정하여 분석하였다.

반추위 암모니아태 질소의 함량은 Chaney and Marbach (1962)의 방법에 따라 진행되었으며, 4,000 rpm으로 15분간 원심 분리하여 사료입자가 제거된 반추위액의 상등액 20 uL에 phenol color reagent

1 mL 및 alkali hypochlorite reagent 1 mL를 완전히 혼합하여 37℃에서 15분간 반응 후 분광광도계(Optizen UV2120, Mecasis, Korea)를 이용하여 630 nm 흡광도에서 측정하였다. 휘발성 지방산은 Erwin *et al.* (1961)의 방법에 따라 실시되었다. 사료입자가 제거된 반추위액의 상등액에 1 mL에 metaphosphoric acid 200 uL를 첨가하여 30분 동안 정치 후, 13,000 rpm에서 원심분리 하는 전처리 과정을 거친 시료를 Nukol™, fused silica capillary column (0.25 mm I.d. × 30 m length, SUPELCO, USA)이 장착된 gas chromatography (HP4890, Agilent, CA. USA)로 분석하였다(oven = 180℃, injector = 220℃ 및 detector = 200℃).

4. 통계처리

반추위 발효성상에 대한 유의성은 SPSS 프로그램(Version 18, IBM, NewYork, USA)을 사용하여 일반선형모형(General Linear Model)의 분산분석(Analysis of variance)을 이용하여 검정하였다. 처리구의 평균값에 대한 다중비교는 Duncan의 다중검정법을 이용하여 95% 신뢰 수준에서 유의성을 검증하였고(p<0.05), 90% 신뢰수준에서 경향성을 확인하였다(0.05<p<0.1).

III. 결 과

본 연구에서는 흑염소 반추위액을 이용해 다양한 조사료를 이용해 제조된 TMR에 대한 *in vitro* 발효실험을 수행하였고, 발효성상을 확인하였다. 시험용 TMR의 조단백질과 NFC 함량은 RS,

Table 2. Chemical composition of experimental feed

Items	RS TMR	IRG TMR	TIM TMR	ALF TMR
Dry matter, %	92.40	91.60	92.35	92.00
..... % DM				
Organic matter	86.30	87.30	87.75	86.30
Crude protein	10.05	12.00	13.45	15.45
Ether extract	3.15	3.10	3.20	3.10
Neutral detergent fiber	47.30	46.85	44.25	37.85
Acid detergent fiber	26.85	26.35	24.20	24.35
Non-fiber carbohydrate	33.90	34.30	35.70	39.55
Crude ash	9.05	8.15	7.60	9.60
Neutral detergent insoluble CP	3.45	4.40	4.20	5.55
Acid detergent insoluble CP	1.80	1.70	1.40	2.10

RS, rice straw; IRG, italian ryegrass; TIM, timothy; ALF, alfalfa; TMR, total mixed ration.

NFC (Non fibrous carbohydrate) = 100 - CP - EE - Ash - (NDF - NDICP).

DM, dry matter; CP, crude protein.

IRG, TIM 그리고 ALF 순으로 높았으며, NDF는 RS, IRG, TIM 그리고 ALF 순으로 낮게 나타났다(Table 2).

24시간 반추위 발효성상은 Table 2에서 보는 것과 같다. 시험구별 유의적인 발효성상 차이는 valerate와 암모니아태 질소 생성량에서 관찰되었다($p < 0.05$). ALF 시험구에서 가장 높은 valerate 생성량이 관찰되었고 RS 시험구에서 유의적으로 낮은 생성량이 나타났다. 암모니아태 질소 생성량은 ALF 시험구에서 가장 높았으며, 다음으로는 TIM 시험구에서 높게 관찰되었다. RS와 IRG 시험구간의 유의적인 차이는 관찰되지 않았다. 48시간 반추위 발효성상은 Table 3에서 보는 것과 같다. 시험구별 발효성상에 대한 유의적인 처리 효과는 총 가스 및 수소 생성량에서 관찰되었다($p < 0.05$). 총 가스 생성량은 RS 시험구에서 가장 높았고, ALF 시험구에서 가장 낮았다. 수소 가스 생성량은 IRG 시험구에서 가장 높았고, ALF 시험구에서 가장 낮았다. 72시간 반추위 발효성상은 Table 4에서 보는 것과 같다. 시험구별 발효성상에 대한 유의적인 처리 효과는 총 가스 생성량, 총 휘발성지방산, butyrate, valerate 그리고 암모니아태 질소 생성량에서 관

찰되었다($p < 0.05$). RS 시험구에서 가장 낮은 가스 생성량이 관찰되었고, 나머지 시험구들간의 유의적 차이는 관찰되지 않았다. 총 휘발성 지방산 생성량, butyrate 및 valerate 생성량은 ALF 시험구에서 가장 높았고, 나머지 시험구들간의 유의적인 차이는 관찰되지 않았다. 암모니아태 질소 생성량은 RS 시험구에서 가장 낮게 나타났다.

IV. 고찰

반추위 발효에 대한 적정 pH 범위는 5.8-7.2로 알려져 있다 (Hiltner and Dehority, 1983). 본 연구 결과에서는 반추위 pH에 대한 유의적인 처리효과는 관찰되지 않았고($p > 0.05$), 모든 발효 시간대의 pH가 적정 범위에 포함되었다.

가스발생량과 반추위 발효 및 영양소 소화율은 서로 비례하는 것으로 알려져 있다(Getachew *et al.*, 1998; Ha *et al.*, 2018). 본 연구에서는 발효 48시간에 가스발생량에 대한 유의적인 차이가

Table 3. Effect of forage sources in TMR on *in vitro* rumen fermentation parameters of Korean black goats

Parameter/ Incubation time (h)	RS TMR	IRG TMR	TIM TMR	ALF TMR	SEM	p-value
pH						
24	6.46	6.49	6.50	6.54	0.012	0.123
48	6.39	6.40	6.44	6.46	0.013	0.242
72	6.39	6.34	6.34	6.41	0.013	0.087
Total gas, mL						
24	103.00	103.50	103.50	102.00	0.567	0.847
48	152.50 ^b	149.00 ^{ab}	149.00 ^{ab}	144.00 ^a	1.238	<0.05
72	153.00 ^a	162.00 ^b	163.50 ^b	161.50 ^b	1.701	<0.05
Hydrogen, mL						
24	0.004	0.002	0.003	0.005	0.001	0.479
48	0.002 ^b	0.004 ^c	0.003 ^b	0.001 ^a	0.001	<0.05
72	0.011 ^a	0.017 ^b	0.012 ^a	0.013 ^{ab}	0.001	0.069
Methane, mL						
24	12.05	12.77	11.11	12.38	0.319	0.341
48	13.59	14.00	13.80	13.60	0.237	0.952
72	14.31	14.19	13.94	13.75	0.396	0.978
NH ₃ -N, mg/dL						
24	40.18 ^a	44.77 ^a	53.63 ^b	62.38 ^c	3.266	<0.05
48	62.59 ^a	64.42 ^{ab}	67.55 ^b	68.54 ^b	1.007	0.070
72	63.66 ^a	66.84 ^{ab}	71.88 ^b	71.67 ^b	1.405	<0.05

RS, rice straw; IRG, italian ryegrass; TIM, timothy; ALF, alfalfa; SEM, standard error of mean; NH₃-N, ammonia nitrogen.

Table 4. Effect of forage sources in TMR on *in vitro* ruminal volatile fatty acid concentration (mM) of Korean black goats

Parameter/ Incubation time (h)	RS TMR	IRG TMR	TIM TMR	ALF TMR	SEM	p-value
Total VFA, mM						
24	88.40 ^a	88.73 ^a	94.91 ^{ab}	96.65 ^b	1.560	0.078
48	112.42	111.24	109.39	106.10	1.384	0.485
72	123.03 ^a	120.51 ^a	121.79 ^a	143.70 ^b	3.915	<0.05
Acetate, mM						
24	51.59	51.14	54.33	54.93	0.784	0.214
48	65.75	64.83	62.96	61.70	0.928	0.502
72	68.47	66.25	66.44	75.29	1.605	0.109
Propionate, mM						
24	20.26	20.55	21.03	21.62	0.255	0.282
48	25.00	24.93	23.98	23.12	0.375	0.257
72	27.08 ^a	27.19 ^a	26.66 ^a	31.02 ^b	0.738	0.059
Butyrate, mM						
24	12.35	12.38	14.03	14.21	0.376	0.085
48	15.67	15.38	15.97	14.91	0.186	0.215
72	18.33 ^a	17.81 ^a	18.85 ^a	23.13 ^b	0.844	<0.05
Valerate, mM						
24	4.19 ^a	4.65 ^{ab}	5.52 ^{bc}	5.89 ^c	0.273	<0.05
48	6.00	6.10	6.47	6.37	0.096	0.282
72	9.16 ^a	9.25 ^a	9.84 ^a	14.26 ^b	0.813	<0.05
AP ratio						
24	2.55	2.49	2.58	2.54	0.016	0.285
48	2.63 ^{ab}	2.60 ^a	2.63 ^{ab}	2.67 ^b	0.010	0.052
72	2.53 ^b	2.44 ^a	2.49 ^{ab}	2.43 ^a	0.017	0.083

RS, rice straw; IRG, italian ryegrass; TIM, timothy; ALF, alfalfa; SEM, standard error of mean; Total VFA, total volatile fatty acid; AP ratio, acetate to propionate ratio.

처음 관찰되었다. NFC와 CP가 가장 낮고 NDF가 가장 높은 RS 시험구에서 가장 높은 가스발생량이 관찰되었다. 그러나 발효 72 시간에서는 RS 시험구의 가스 발생량이 다른 시험구들에 비해 유의적으로 낮게 관찰되었다. 발효 48시간과 72시간의 가스발생량을 비교하면 RS 시험구는 152.50 mL (48시간)과 153.0 mL (72시간)으로 큰 차이가 없다. 하지만 다른 시험구들은 발효 48시간에 비해 발효 72시간의 가스발생량이 약 10 mL 정도 증가하였다. 즉 RS 시험구의 발효 지속 시간이 다른 시험구들에 비해 짧은 것을 알 수 있었다. 본 연구는 서로 다른 조사료를 사용하여 TMR을 제작하였고, 그 결과 TMR의 CP 및 NFC 수준이 시험구 별로 다르게 나타났다. 반추위 발효 가스 생성량도 시험구에 따라 다르게 나타났다. 하지만 모든 발효 시간에서 메탄가스 발생량에 대한 유의적인 차이는 관찰되지 않았다($p>0.05$).

총 휘발성지방산은 암모니아태 질소와 유사하게 모든 시간대에서 RS에서 가장 낮고 ALF에서 유의적으로 높은 생성량을 나타냈다. Lee *et al.* (1999)은 사료 내 분해성 탄수화물이 높을수록 총 휘발성지방산 생성량이 높게 나타난다고 보고한 바 있으며, 본 연구에서도 NFC가 높은 ALF에서 가장 높은 결과를 나타냈다. 그러나, NFC가 가장 낮았던 또한 Eom *et al.* (2018)의 연구에 따르면 butyrate 및 valerate가 반추위내 섬유소 분해 미생물과 연관이 있다고 하였으며, 본 연구에서도 암모니아태 질소 생성량이 높았던 ALF에서 다른 시험구보다 유의적으로 높은 valerate를 보였다($p<0.05$).

반추위액의 암모니아태 질소 농도는 반추위 내 단백질 이용성을 나타낸다고 할 수 있다(Choi *et al.*, 2002). 반추위내 단백질 합성을 위해서 암모니아태 질소가 8 mg/dL 정도 생성되어야 한다

고 하였으며(Hoover, 1986), 암모니아태 질소 생성량이 140 mg/dL 이상으로 과다해질 경우 오히려 미생물의 성장을 억제할 수 있어 주의해야 한다고 하였다(McAllan *et al.*, 1987). 본 연구에서는 모든 시간대 시험구에서 40.18-71.88 mg/dL로 나타나 반추위내 단백질 합성 및 이용에 부(-)의 영향을 없었을 것으로 생각된다. 암모니아태 질소 생성량은 모든 시간대에서 ALF가 높았고 RS에서 유의적으로 낮은 결과를 보였다($p < 0.05$). Na *et al.* (2021)의 연구에 의하면 암모니아태 질소 농도의 차이는 각 사료에 대한 반추위 우회율과 미생물 단백질 합성량의 차이에서 기인된다고 하였으며(Mehrez *et al.*, 1977), 초중에 따라 미생물의 차이가 있다고 얘기하였다. 또한 실험사료의 단백질 함량이 높거나 반추위 내 단백질 분해 정도가 증가하는 경우 암모니아태 질소가 증가한다고 할 수 있다. 본 연구에서도 시험구별 다른 초종으로 TMR을 제조하여 사료 내 단백질 함량에서 차이가 있었고, 연구결과에서도 단백질함량이 높은 시험구에서 암모니아태 질소 생성량이 높게 나타나 TMR에 포함된 조사료 및 사료 내 단백질 함량에 영향을 받았을 것으로 생각된다. 본 연구 결과는 염소에서 사료 내 조사료의 변화가 발효성상 증진에 도움을 줄 수 있는 것으로 나타났으며, 이는 염소에서 양질조사료 활용을 위한 기초자료로 이용할 수 있을 것으로 사료된다. 그러나 *in vitro* 실험의 한계로 인해 실제 가축에서 급여효과를 확인하기 위한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

V. 요약

본 연구는 TMR에 사용된 조사료원의 종류가 염소 반추위 발효 특성에 미치는 영향을 조사하였다. 시험에 사용된 조사료원은 벳짚(RS), 이탈리아인 라이그라스(IRG), 티모시(TIM) 및 알팔파(ALF)를 이용하여 시험용 TMR을 제조하였다. *In vitro* 반추위 발효 실험은 24, 48 및 72시간 동안 진행하였고, 각 시간별 발효성상(발효가스, 휘발성지방산, 암모니아태 질소)을 조사하였다. 시험사료의 조단백질 및 비섬유성 탄수화물 함량은 RS, IRG, TIM 그리고 ALF 순으로 높았다. 발효 24시간에서는 valerate와 암모니아태 질소에서 유의적인 차이가 관찰되었고, ALF 시험구가 가장 높았고, RS가 가장 낮았다. 발효 48시간에서는 총 가스 발생량에서 유의적 차이가 관찰되었고($p < 0.05$), RS 시험구에서 가장 높은 가스발생량이 관찰되었다. 그러나 발효 72시간대에서는 RS 시험구에서 유의적으로 가장 낮은 가스발생량이 관찰되었다. 휘발성 지방산의 유의적인 차이는 발효 72시간에 관찰되었다. ALF 시험구에서 유의적으로 높은 총 휘발성지방산, butyrate 및 valerate 생성량이 관찰되었다($p < 0.05$). 메탄가스 발생량은 모든 발효시간동안 처리구간 유의적 차이가 관찰되지 않았다($p > 0.05$). 본 연구결과 염소에서 사료 내 조사료의 종류가

발효성상 변화에 영향을 줄 수 있는 것으로 나타났으며, 이는 염소에서 양질조사료의 활용성을 향상시키기 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 그러나 실제 가축에서의 생산성 변화 등의 효과를 확인하기 위하여 *in vivo* 상에서 추가적인 연구가 필요하다고 생각된다.

VI. 사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(과제명 : 염소 장내발효 메탄 배출량에 영향을 미치는 메탄생성균 다양성 조사. 과제번호 : PJ013607)의 지원에 의해 이루어진 것임. 본 연구는 2021년도 농촌진흥청 국립축산과학원 전문연구원 과정 지원 사업 및 2021년도 농촌진흥청 국립축산과학원 학-연협동연구 석-박사학위과정 운영사업에 의해 이루어진 것임

VII. REFERENCES

- Agnihotri, M.K., Rajkumar, V. and Dutta, T.K. 2006. Effect of feeding complete rations with variable protein and energy levels prepared using by-products of pulses and oilseeds on carcass characteristics, meat and meat ball quality of goats. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 19:1437-1449.
- AOAC. 2005. Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemist, Gaithersburg, MD.
- Benchaar, C., Pomar, C. and Chiquette, J. 2001. Evaluation of dietary strategies to reduce methane production in ruminants: A modelling approach. *Canadian Journal of Animal Science*. 81:563-574.
- Cantalapiedra-Hijar, G., Yáñez-Ruiz, D.R., Marín-García, A.I. and Molina-Alcaide, E. 2009. Effects of forage: Concentrate ratio and forage type on apparent digestibility, ruminal fermentation, and microbial growth in goats. *Journal of Animal Science*. 87:622-631.
- Chaney, A.L. and Marbach, E.P. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clinical Chemistry*. 8:130-132.
- Choi, Y.J., Choi, N.J., Park, S.H., Song, J.Y., Um, J.S., Ko, J.Y. and Ha, J.K. 2002. Effects of Passtein® Supplements on protein degradability, ruminal fermentation and nutrient digestibility. *Journal of Animal Science and Technology*. 44(5):549-560.
- Durmic, Z., Ramirez-Restrepo, C.A., Gardiner, C., O'Neill, C.J., Hussein, E. and Vercoe, P.E. 2017. Differences in the nutrient concentrations, *in vitro* methanogenic potential and other

Forage Sources on *in vitro* Fermentation

- fermentative traits of tropical grasses and legumes for beef production systems in northern Australia. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 97:4075-4086.
- Eom, J.S., Lee, S.J., Lee, Y.K. and Lee, S.S. 2018. Comparison of volatile fatty acids, monosaccharide analysis and metabolic profiling in rumen fluid according to feeding methods. *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*. 19:814-824.
- Erwin, E.S., Marco, G.J. and Emery, E.M. 1961. Volatile fatty acid analyses of blood and rumen fluid by gas chromatography. *Journal of Dairy Science*. 44:1768-1771.
- Getachew, G., Blümmel, M., Makkar, H.P.S. and Becker, K. 1998. *In vitro* gas measuring techniques for assessment of nutritional quality of feeds: A review. *Animal Feed Science and Technology*. 72(3):261-281.
- Getachew, G., Robinson, P.H., DePeters, E.J. and Taylor, S.J. 2004. Relationships between chemical composition, dry matter degradation and *in vitro* gas production of several ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology*. 111:57-71.
- Giger-Reverdin, S., Domange, C., Broudiscou, L.P., Sauvant, D. and Berthelot, V. 2020. Rumen function in goats, an example of adaptive capacity. *Journal of Dairy Research*. 87:45-51.
- Goetsch, A.L., Merkel, R.C. and Gipson, T.A. 2011. Factors affecting goat meat production and quality. *Small Ruminant Research*. 101:173-181.
- Ha, J.J., Kim, B.K., Jung, D.J., Yi, J.K., Kim, D.H., Lee, J.Y. and Oh, D.Y. 2018. Effects of different roughage type on disappearance rates of nutrients in the Rumen and CH₄ emission in Hanwoo cows. *The Korean Data and Information Science Society*. 29(3):621-632.
- Hiltner, P. and Dehority, B.A. 1983. Effect of soluble carbohydrates on digestion of cellulose by pure cultures of rumen bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*. 46:642-648.
- Hofmann, R.R. 1985. Digestive physiology of the deer-their morphophysiological specialisation and adaptation. *Biology of deer production. Proceedings of an International Conference Held at Dunedin, New Zealand*. pp. 393-407.
- Hoover, W. 1986. Chemical factors involved in ruminal fiber digestion. *Journal of Dairy Science*. 69(10):2755-2766.
- Hwangbo, S., Jo, I.H., Song, K.J. and Lee, S.H. 2007. Effects of dietary probiotics on feed intakes, nutrient digestibility and nitrogen retention in Korean black goats fed two diets differing in forage to concentrate ratios. *Korean Journal of Organic Agriculture*. 15:195-205.
- Jung, G.W., Jo, I.H., Hwangbo, S. and Lee, S.H. 2009. Effects of feeding total mixed rations containing different winter forage crop silages on feed intake, nutrient digestibility and blood characteristics in Korean black goats. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 29(4):389-398.
- Jung, G.W., Jo, I.H., Hwangbo, S., Lee, S.H. and Song, H.B. 2008. Effects of different feeding systems on nutrient availability, nitrogen retention and blood characteristics in native or crossbred Korean black goats. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 28:341-350.
- Ki, K.S., Park, S.B., Lim, D.H. and Seo, S.W. 2017. Evaluation of the nutritional value of locally produced forage in Korea using chemical analysis and *in vitro* ruminal fermentation. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 30:355-362.
- Kim, K.K., Hwangbo, S. and Jo, I.H. 2007. Effects of organic TMR with whole barley silage on feed intake, nutrient digestibility and blood characteristics in Korean black goats. *Korean Journal of Organic Agriculture*. 15:413-424.
- Kim, S.W., Yoon, S.H., Kim, J.H., Ko, Y.G., Kim, D.H., Kang, G.H., Kim, Y.S., Lee, S.M. and Suh, S.W. 2012. Effects of feeding levels of concentrate on the growth, carcass characteristics and economic evaluation in feeds based on rice-straw of Korean black goats. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 32(4):429-436.
- Kingbury, J.M. 1964. Poisonous plants of the United States and Canada. *Soil Science*. 98:349.
- Larbi, A., Smith, J.W., Kurdi, I.O., Adekunle, I.O., Raji, A.M. and Ladipo, D.O. 1998. Chemical composition, rumen degradation, and gas production characteristics of some multipurpose fodder trees and shrubs during wet and dry seasons in the humid tropics. *Animal Feed Science Technology*. 72:81-96.
- Lee, B.D., Lee, S.K. and Lee, K.D. 1999. Effects of activated charcoal on *in vitro* ruminal fermentation characteristics and nutrient disappearances. *Korean Journal of Agricultural Science*. 26(2):25-32.
- Lee, W.S., Lee, B.S., Oh, Y.K., Kim, K.H., Kang, S.W., Lee, S.S. and Ha, J.K. 2004. Effects of concentrate to roughage ratios on duration and frequencies of rumination and chewing in Hanwoo Steers. *Journal of Animal Science and Technology*. 46:55-60.
- Li, M., Penner, G.B., Hernandez-Sanabria, E., Oba, M. and Guan, L.L. 2009. Effects of sampling location and time, and host animal on assessment of bacterial diversity and fermentation parameters in the bovine rumen. *Journal of Applied Microbiology*. 107:1924-1934.
- Loor, J.J., Elolimy, A.A. and McCann, J.C. 2016. Dietary impacts on rumen microbiota in beef and dairy production. *Animal Frontiers*. 6:22-29.

Forage Sources on *in vitro* Fermentation

- McAllan, A.B., Lewis, P.E. and Griffith, E.S. 1987. The effects of frequency of feeding on some quantitative aspects of digestion in the rumens of growing steers. *Archives of Animal Nutrition*. 37(9):791-803.
- Mehrez, A.Z., Ørskov, E.R. and McDonald, I. 1977. Rates of rumen fermentation in relation to ammonia concentration. *British Journal of Nutrition*. 38(3):437-443.
- Moore, J. 1970. Procedures for the two-stage *in vitro* digestion of forages. *Nutrition Research Techniques for Domestic and Wild Animals*. 1:5001-5003.
- Moraïs, S. and Mizrahi, I. 2019. The road not taken: The rumen microbiome, functional groups, and community states. *Trends in Microbiology*. 27:538-549.
- Na, H.R., Bae, G.S., Kim, C.H., Kim, E.J. and Chang, M.B. 2021. Evaluation of typical protein sources for Hanwoo cattle on rumen bypass protein and their effects on the composition of rumen microbial amino acids. *Journal of Agriculture and Life Science*. 55(1):91-99.
- Na, Y., Hwang, S., Choi, Y., Park, G. and Lee, S. 2018. Nutrient digestibility and greenhouse gas emission in castrated goats (*capra hircus*) fed various roughage sources. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 38(1):39-43.
- 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. *Journal of Dairy Science*. 68:133-139.
- Pearson, R.A., Archibald, R.F. and Muirhead, R.H. 2007. A comparison of the effect of forage type and level of feeding on the digestibility and gastrointestinal mean retention time of dry forages given to cattle, sheep, ponies and donkeys. *British Journal of Nutrition*. 95:88-98.
- Tilley, J.M.A. and Terry, R.A. 1963. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *Grass and Forage Science*. 18:104-111.
- Troelsen, J.E. and Hanel, D.J. 1966. Ruminant digestion *in vitro* as affected by inoculum donor, collection day, and fermentation time. *Canadian Journal of Animal Science*. 46:149-156.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B. and Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*. 74:3583-3597.

(Received : March 30, 2021 | Revised : April 28, 2021 | Accepted : June 16, 2021)