

Research Article

국내 조사료별 반추위 내 발효특성과 온실가스 발생량에 관한 연구

주영호^{1,†}, 김지윤^{2,†}, 서명지², 백창현², 정승민³, 김삼철^{1,2*}

¹경상국립대학교 농업생명과학연구원, ²경상국립대학교 응용생명과학부(BK21Four), ³국립축산과학원 초지사료과

A Study on Rumen Fermentation Characteristics and Greenhouse Gas Emission of Forages in South Korea

Young Ho Joo^{1,†}, Ji Yoon Kim^{2,†}, Myeong Ji Seo², Chang Hyun Baeg²,
Seung Min Jeong³ and Sam Churl Kim^{1,2*}

¹Institute of Agriculture and Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, South Korea

²Division of Applied Life Science (BK21Four), Gyeongsang National University, Jinju 52828, South Korea

³Grassland and Forages Division, National Institute of Animal Science, RDA, Cheonan 31000, South Korea

ABSTRACT

The present study estimated rumen fermentation characteristics and greenhouse gas emissions of different forages. Alfalfa, timothy, tall fescue, Italian ryegrass, and rice straw as the main forage sources for Hanwoo were used in the present study. Crude protein was highest in alfalfa but lowest in rice straw ($p<0.05$). Ether extract was higher in alfalfa and Italian ryegrass than in the other forages ($p<0.05$). Crude ash was highest in rice straw but lowest in tall fescue ($p<0.05$). Neutral detergent fiber was highest in tall fescue but lowest in alfalfa ($p<0.05$). Acid detergent fiber was highest in Italian ryegrass and rice straw but lowest in alfalfa ($p<0.05$). *In vitro* digestibilities of dry matter (DMD) and neutral detergent fiber (NDFD) were highest in timothy but lowest in rice straw ($p<0.05$). Rumen pH was highest ($p<0.05$) in alfalfa, while ammonia-N was higher ($p<0.05$) in alfalfa and Italian ryegrass than in the other forages. Total volatile fatty acid was highest ($p<0.05$) in timothy, while acetate and propionate were highest ($p<0.05$) in alfalfa and rice straw, respectively. Acetate to propionate ratio was higher ($p<0.05$) in alfalfa, timothy, and Italian ryegrass than in rice straw. Rice straw had lowest total gas (mL) ($p<0.05$) but highest its per DMD and NDFD. Rice straw had higher ($p<0.05$) CO₂ (per DMD and NDFD) compared to alfalfa (per DMD and NDFD), timothy (per DMD and NDFD), tall fescue (per NDFD), and Italian ryegrass (per DMD). Again, rice straw had higher ($p<0.05$) CH₄ (per DMD and NDFD) compared to timothy (per DMD and NDFD) and tall fescue (per NDFD). Therefore, this study indicates that timothy has a higher nutrient digestibility and volatile fatty acid in the rumen leading to a reduction of greenhouse gas emission.

(Key words: Forage, Greenhouse gas, *In vitro* digestibility, Rumen fermentation characteristics)

I. 서론

전 세계적으로 온실가스 발생량은 점점 상승하고 있으며, 이는 지구온난화와 기후변화를 일으키고 있다(IPCC, 2013). 축산분야의 온실가스 발생량은 전세계에서 약 5.8%를 차지하며(Ritchie, 2020), 환경부 온실가스종합정보센터(GIR, 2021)에서 발표한 2021 국가 온실가스 인벤토리 보고서에 따르면 2018년 기준 국내 온실가스 발생량은 축산업이 차지하는 비중이 전체에서 1.3%이다. 특히, 산업화시기를 기점으로 전세계 기온이 급격히 높아지

고 있으며, 전세계 온도변화는 1981년부터 1991년까지 약 0.1°C가 상승하였고, 2009년부터 2019년까지 약 0.2°C가 상승하여 증가속도가 약 2배인 것으로 보고되었다(Ritchie, 2020). 또한, 현재 지구 평균 해수면은 계속해서 상승하고 있는데, 1993년부터 2002년까지는 2.1 mm 상승하였고, 2003년부터 2012년까지는 2.9 mm 상승하였으며, 2013년부터 2022년까지는 4.4 mm 상승하였다(Ransom and Ravalitera, 2022). 이는 최근 10년간 해수면의 상승 속도가 점차 가속화되고 있다는 것을 나타낸다. 이러한 지구온난화를 유발하는 온실가스로는 이산화탄소(CO₂), 메탄

[†]These authors contributed equally to this work.

*Corresponding author: Sam Churl Kim, Institute of Agriculture and Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, South Korea
Tel: +82-55-772-1947, E-mail: kimsc@gnu.ac.kr

(CH₄), 아산화질소(N₂O), 육불화황(SF₆), 수소분화탄소(HFC_s), 과불화탄소(PFC_s) 등이 있는데, 그 중 이산화탄소와 메탄은 대표적인 장내 온실가스 인 것으로 간주되고 있다.

일반적으로 조사료는 가축의 사료 중 부피에 비하여 가스화영양소 함량이 적고 섬유질이 많은 사료의 총칭으로 구조성 탄수화물 함량이 농후사료에 비해 높으며, 반추위 내에서 천천히 분해되는 특징을 가지고 있다(MAFRA, 2011; NIAS, 2015). 일반적으로 조사료는 건조나 사일리지 등으로 제조하여 이용하며, 이러한 조사료는 반추위 내 발효 시 acetate를 주로 생성하는데, 이 때 수소이온이 유리되어 methanogen에 의해 이산화탄소와 결합 후 메탄으로 합성된다. 반면 농후사료는 반추위 내 미생물 발효 시 propionate를 주로 생성하는데, 이 때 유리된 수소이온을 이용함으로써 반추위 내 수소이온 농도가 낮아져 메탄합성이 감소한다(Meale et al., 2012). 또한 과도한 농후사료 급여 시, 반추위 내 휘발성 지방산(VFA) 생산성이 그 이용율을 초과하여 발생하고 이로 인해 고창증을 유발할 수 있으므로 조사료와 농후사료 비율을 적절하게 조절하여야 한다. 조사료와 농후사료의 공급 비율, 소화율 등은 메탄가스 발생량에 영향을 미치는데(Meale et al., 2012, Olijhoek et al., 2018), 이러한 선행연구 결과들을 고려하였을 때 메탄가스 저감을 위한 조사료 선발, 가공 및 이용기술 개발이 필요할 것이다. 조사료별 온실가스 발생량을 조사한 연구는 국내·외에서 다수 수행되었지만, 국내산 조사료와의 비교 연구가 제한적으로 수행되었다.

따라서 본 연구에서는 국내산 조사료와 한우농가에서 이용되고 있는 주요 조사료 5종의 영양소 함량, 반추위 내 소화율, 발효 특성 및 온실가스 발생량을 평가하고, 향후 국내산 조사료 가공기술 정립을 위한 기초자료로 사용하고자 수행하였다.

II. 재료 및 방법

1. 한우용 조사료

본 연구에서는 한우농가에서 많이 이용하고 있는 국내산 조사료 2종(Italian ryegrass(IRG), *Lolium multiflorum*; Rice straw, *Oryza sativa* L.)과 미국에서 수입된 조사료 3종(Alfalfa, *Medicago sativa*; Timothy, *Phleum pretense* L.; Tall fescue, *Festuca arundinacea*)을 합천축협에서 구입하여 이용하였다. 분석용 시료(1 kg)를 채취하여 영양소 함량, 반추위 내 소화율, 반추위 내 발효특성 및 온실가스 발생량 분석에 이용하였다.

2. 영양소 함량

조사료의 영양소 함량을 분석하기 위해 시료를 55°C 송풍 건조

기에서 48시간 건조시킨 후 cutting mill 분쇄기(Shinmyung Electric Co., Ltd., Gimpo, Korea)를 이용하여 분쇄하고, 1 mm screen을 통과한 시료를 분석에 이용하였다. 건물 함량은 105°C 송풍 건조기(OF-22GW, JEIO TECH, South Korea)에서 24시간 동안 건조 후 무게를 측정하였다. 조단백질과 조지방 함량분석은 AOAC법(1990)에 준하여, 각각 Kjeldahl(B-324, 412, 435 and 719Titrino, BUCHI, Germany)과 Soxhlet법(OB-25E, JeioTech, Korea)을 이용하였다. 조회분 함량분석은 회화로(Muffle furnace, Nabertherm, Liliental, Germany)를 이용하여 550°C에 회화 후 무게를 측정하였다. 중성세제불용성섬유(Neutral detergent fiber, NDF)와 산성세제불용성섬유(Acid detergent fiber, ADF) 함량은 Ankom²⁰⁰ fiber analyzer (Ankom Technology, Macedon, NY, USA)를 이용하여 Van Soest (1991)법에 준하여 분석하였다.

3. *In vitro* 반추위 내 발효특성

본 실험에 이용된 한우는 경상국립대학교 동물생명윤리 위원회 승인을 받았다(GNU-191011-E0050). 반추위 내 발효실험은 Adesogan et al. (2005)의 법에 준하여 진행하였다. 반추위액은 캐놀라가 설치된 한우암소(18개월령; 480 kg)에게 조사료와 농후사료를 8:2 비율로 급여한 후 오전 사료급여 전(08:00)에 채취하였다. 채취된 위액은 4겹의 cheese cloth로 걸러주고, *Van soest* medium과 1:2 비율로 혼합하여 혐기적인 상태를 유지하였다. 건조 분쇄한 조사료 0.5 g과 혼합위액 40 mL 을 125 mL serum bottle에 주입하여 39°C incubator에서 48시간동안 배양하였다. 배양이 끝나고 나면 Filter paper (No. 2)를 이용하여 상·하층을 분리시킨다. 하층은 55°C 송풍 건조기(OF-22GW, JEIO TECH, Korea)에서 48시간 건조하여 *in vitro* 건물소화율(IVDMD)을 측정하였고, 그 이후 NDF 함량을 분석하여 *in vitro* NDF 소화율(IVNDFD)을 측정하였다. 상층은 pH meter(SevenEasy, Mettler Toledo, Greifensee, Switzerland)를 이용하여 pH를 분석하였다. Volatile fatty acid (VFA) 함량분석은 auto sampler (L-2200, Hitachi, Tokyo, Japan), UV detector (L-2400, Hitachi, Tokyo, Japan) 및 column (MetaCarb 87H, Varian, CA, USA)이 설치된 HPLC를 이용하여 진행하였으며(Adesogan et al., 2004), 암모니아태 질소(ammonia-N) 함량분석은 비색법에 준하여 분석하였다(Chaney and Marbach, 1962).

4. *In vitro* 반추위 내 가스 발생량

총 가스(Total gas)는 Digital manometer (06-664-21 Fisher Scientific Pittsburgh, PA, USA)를 이용하여 측정하였으며, Jin et al. (2021)의 방법에 준하여 psi 단위를 환산하였다. 가스는 진공된 유리병에 포집 하였으며, CO₂와 CH₄ 분석을 위하여 유리병

에 포집된 가스는 gas chromatography(Agilent Technologies HP 5890, Santa Clara, CA, USA), TCD detector를 포함한 column (Supelco, Bellefonte, PA, USA)을 이용하여 분석을 진행하였다 (Patra and Yu, 2014).

5. 통계처리

본 시험에서 얻어진 결과는 SAS program (ver. 9.4 program; SAS, 2013)을 이용하여 통계분석을 실시하였으며, 각 처리구간 유의성 검정은 Tukey's test ($p < 0.05$)로 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 영양소 함량

국내 한우농가에서 이용하고 있는 주요 조사료의 영양소 함량을 분석한 결과는 Table 1과 같았다. 시험에 이용된 조단백질 함량은 4.73~16.8%의 수준을 보였으며, 알팔파(16.8%)가 가장 높았고 벣짚(4.73%)이 가장 낮았다($p < 0.05$). 조회분 함량은

5.72~13.7%의 수준을 보였으며, 벣짚(13.7%)이 가장 높았고 톨페스큐(5.72%)가 가장 낮았다($p < 0.05$). NDF 함량은 52.0~70.6% 수준을 보였으며, 톨페스큐(70.6%)가 가장 높았고 알팔파(52.0%)가 가장 낮았다($p < 0.05$). 알팔파는 목초의 여왕으로 불리며 다른 사료작물에 비해 영양적 가치가 뛰어난 것으로 보고 되었으나, 벣짚은 조사료 중 단백질 함량이 낮고 소화율이 떨어져 저질 조사료로 알려져 있다(Jankson, 1977; Zhang, et al., 2017). 이와 같이 본 시험에 이용된 조사료의 영양소 함량은 다른 선행 연구에서 조사된 결과와 유사하게 나타났다(Lee and Lee, 2000; Lee et al., 2001).

2. *In vitro* 반추위 내 소화율 및 발효특성

국내 한우농가에서 이용하고 있는 주요 조사료의 *in vitro* 반추위 내 소화율과 발효특성을 분석한 결과는 Table 2와 같았다. 건물 소화율과 NDF 소화율은 각각 30.8~64.5%와 37.5~66.7%의 수준을 보였으며, 건물 소화율과 NDF 소화율 모두 티모시(64.5%와 66.8%)가 가장 높았으며 벣짚(30.8%와 37.5%)이 가장 낮았다($p < 0.05$). Yu et al.(2003)에 의하면 알팔파와 티모시는 다

Table 1. Chemical compositions of different forages (% DM)

| Item | Alfalfa | Timothy | Tall fescue | Italian ryegrass | Rice straw | SEM |
|-------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------|
| Dry matter | 91.5 ^a | 91.7 ^a | 91.8 ^a | 56.0 ^c | 60.0 ^b | 0.573 |
| Crude protein | 16.8 ^a | 11.2 ^b | 8.06 ^d | 8.43 ^c | 4.73 ^e | 0.116 |
| Ether extract | 2.06 ^a | 1.37 ^b | 1.23 ^b | 2.18 ^a | 1.19 ^b | 0.174 |
| Crude ash | 9.31 ^b | 7.02 ^c | 5.72 ^d | 7.21 ^c | 13.7 ^a | 0.356 |
| Neutral detergent fiber | 52.0 ^c | 66.8 ^b | 70.6 ^a | 68.9 ^{ab} | 66.8 ^b | 0.866 |
| Acid detergent fiber | 33.5 ^c | 37.2 ^b | 37.6 ^b | 40.1 ^a | 40.4 ^a | 0.478 |

SEM, standard error of mean.

Table 2. *In vitro* nutrient digestibility and rumen fermentation characteristics of different forages incubated with rumen buffer for 48 hours

| Item | Alfalfa | Timothy | Tall fescue | Italian ryegrass | Rice straw | SEM |
|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------|
| IVDMD, % DM | 56.0 ^b | 64.5 ^a | 53.5 ^b | 52.2 ^b | 30.8 ^c | 1.956 |
| IVNDFD, % DM | 54.2 ^b | 66.8 ^a | 56.0 ^b | 53.1 ^b | 37.5 ^c | 1.880 |
| pH | 6.47 ^a | 6.21 ^d | 6.26 ^c | 6.24 ^{cd} | 6.33 ^b | 0.021 |
| Ammonia-N, mg/dL | 22.9 ^a | 20.1 ^{ab} | 18.2 ^b | 22.8 ^a | 19.3 ^b | 1.297 |
| Total VFA, mM/L | 37.3 ^{ab} | 40.2 ^a | 34.2 ^b | 37.3 ^{ab} | 29.1 ^c | 1.241 |
| Acetate, % mol | 65.7 ^a | 64.2 ^{ab} | 63.3 ^b | 63.9 ^b | 61.5 ^c | 0.599 |
| Propionate, % mol | 19.5 ^c | 20.5 ^{bc} | 21.1 ^b | 20.7 ^b | 23.0 ^a | 0.425 |
| Butyrate, % mol | 14.8 | 15.3 | 15.5 | 15.4 | 15.5 | 0.415 |
| A:P ratio | 3.36 ^a | 3.14 ^a | 3.00 ^{ab} | 3.08 ^a | 2.68 ^b | 0.089 |

IVDMD, *in vitro* dry matter digestibility; IVNDFD, *in vitro* neutral detergent fiber digestibility; Total VFA, total volatile fatty acid; A:P ratio: acetate to propionate ratio; SEM, standard error of mean; ^{a-d}Means in the same row with different superscripts differ significantly ($p < 0.05$).

른 사료작물에 비하여 영양소 함량이 우수하고 소화율이 높다고 보고하였으며, Deinumet et al. (1981) 또한 티모시는 냉해에 강하며 소화율이 뛰어나다고 보고하였다. 반면에, 벚짳은 lignin과 탄수화물이 매우 단단한 형태로 결합하고 있을 뿐만 아니라 cellulose가 결정화되어 있어서 소화율이 떨어진다고 보고되었는데(Jankson, 1977), 본 실험과 유사한 결과를 나타냈다. 반추위 내 pH는 6.21~6.47의 수준으로 조사되었으며, 암모니아태 질소는 18.2~22.9 mg/dL의 수준을 보였으며, 알팔파(22.9 mg/dL)와 이탈리아라이그라스(22.8 mg/dL)가 툼페스큐(18.2 mg/dL)와 벚짳(19.32 mg/dL)보다 낮았다($p<0.05$). 반추위 내의 암모니아태 질소는 반추위 내의 미생물체단백질 합성을 위한 주요 질소원으로, 이는 일반적인 사료 단백질 보다 더 효과적으로 아미노산을 이용한다(Hristov and Broderick, 1994; Hristov and Ropp, 2003). 사료 내 단백질 함량이 높으면 암모니아태 질소 생성량이 높아지는데, 본 연구 결과는 알팔파의 높은 단백질 함량으로 인하여 암모니아태 질소 함량 또한 높게 나타난 것으로 사료된다. 반추위 내 총 VFA 함량은 29.1~40.2 mM/L의 수준을 보였으며, 티모시(40.2 mM/L)가 가장 높았고 벚짳(29.1 mM/L)이 가장 낮았다($p<0.05$). Acetate 함량은 61.5~65.7% mol의 수준을 보였으며, 알팔파(65.7% mol)가 가장 높았고 벚짳(61.5% mol)이 가장 낮았다($p<0.05$). Propionate 함량은 19.5~23.0% mol의 수준을 보였으며, 벚짳(23.0% mol)에서 가장 높았고, 알팔파(19.5% mol)에서 가장 낮았다($p<0.05$). 일반적으로 조사료 중 구조성 탄수화물 함량이 낮으면 가용성 탄수화물(전분, 당 등) 함량이 높아져 소화율이 증가하며 이로 인해 반추위 내 총 VFA 함량이 증가하는데(Hobson and Stewart, 1997), 이는 본 연구 결과에서도 총 VFA 함량이 높은 조사료에서 건물과 NDF 소화율(IVDMD와

IVNDFD)이 증진하였다. 또한 비구조성 탄수화물 함량이 낮으면 반추위 내 미생물에게 더 많은 에너지를 제공하여 더 많은 유기산(acetate, propionate 등)을 생성한다(McDonald et al., 1991). 한편 벚짳에서 acetate 함량이 낮은 반면 propionate 함량이 높은 결과를 보였는데, 이는 벚짳 중 구조성 탄수화물들이 결정화된 구조로 존재함으로 인해 이들의 소화율이 낮았기 때문인 것으로 사료되며(McDonald et al., 1991), 또한 이로 인해 A:P 비율이 감소한 것으로 보인다.

3. *In vitro* 반추위 내 가스 발생량

국내 한우농가에서 이용하고 있는 주요 조사료의 *in vitro* 반추위 내 가스 발생량을 분석한 결과는 Table 3과 같았다. 반추위 내 총 가스(Total gas) 발생량은 127~139 mL 수준을 보였으며, 다른 조사료에 비하여 벚짳(127 mL)이 가장 낮았다($p<0.05$). 반면에 건물 소화율당 총 가스 발생량과 NDF 소화율당 총 가스 발생량은 각각 753~1,102 mL/g DMD와 881~1,119 mL/g NDFD 수준을 보였으며, 벚짳(1,102 mL/g DMD와 1,119 mL/g NDFD)이 가장 높았다($p<0.05$). 반추위 내 가스 발생량이 증가하는 것은 사료의 소화율이 증가하는 것과 정비례한다고 보고하였는데(Beuvinck et al., 1992), 본 연구에서도 소화율이 높은 티모시에서 총 가스 발생량이 가장 높은 반면, 소화율이 가장 낮은 벚짳에서 총 가스 발생량이 낮았다. 한편, 반추위 내 CO₂와 CH₄ 발생량은 시험구간 유의적인 차이가 없었다. 하지만, 건물 소화율당 CO₂ 발생량과 NDF 소화율당 CO₂ 발생량은 각각 78.5~116 mL/g DMD와 85.4~117 mL/g NDFD의 수준을 보였으며, 벚짳(116 mL/g DMD와 117 mL/g NDFD)이 가장 높았고 알팔파(78.5 mL/g DMD와 85.4 mL/g NDFD)가 가장 낮았다($p<0.05$). 건물

Table 3. Total gas, CO₂ and CH₄ emissions of different forages incubated with rumen buffer for 48 hours

| | Alfalfa | Timothy | Tall fescue | Italian ryegrass | Rice straw | SEM |
|-----------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|
| Total gas | | | | | | |
| mL | 138 ^a | 144 ^a | 143 ^a | 138 ^a | 127 ^b | 4.764 |
| mL/g DMD | 756 ^c | 753 ^c | 924 ^b | 920 ^b | 1,102 ^a | 45.98 |
| mL/g NDFD | 908 ^{bc} | 811 ^c | 911 ^{bc} | 999 ^{ab} | 1,119 ^a | 50.81 |
| CO ₂ | | | | | | |
| mL | 14.0 | 15.4 | 13.7 | 13.3 | 14.0 | 1.434 |
| mL/g DMD | 78.5 ^b | 87.2 ^b | 91.3 ^{ab} | 86.3 ^b | 116 ^a | 8.088 |
| mL/g NDFD | 85.4 ^b | 88.1 ^b | 85.8 ^b | 104 ^{ab} | 117 ^a | 5.584 |
| CH ₄ | | | | | | |
| mL | 7.38 | 6.57 | 6.32 | 6.22 | 6.89 | 0.812 |
| mL/g DMD | 41.3 ^{ab} | 35.5 ^b | 41.5 ^{ab} | 44.3 ^{ab} | 56.4 ^a | 6.262 |
| mL/g NDFD | 49.2 ^{ab} | 38.5 ^b | 40.2 ^b | 45.1 ^{ab} | 56.6 ^a | 5.449 |

SEM, standard error of mean; ^{a-c}Means in the same row with different superscripts differ significantly ($p<0.05$).

소화물당 CH₄ 발생량과 NDF 소화물당 CH₄ 발생량은 각각 35.5~56.4 mL/g DMD와 38.5~56.6 mL/g NDFD의 수준을 보였으며, 벚짚(56.4 mL/g DMD와 56.6 mL/g NDFD)이 가장 높았고 티모시(35.5 mL/g DMD와 38.5 mL/g NDFD)가 가장 낮았다 ($p<0.05$). 반추위 내 가스 발생량은 소화율이 증가함에 따라 증가하는데, 사료 분해율과 영양소 함량이 높으면 상대적으로 CO₂와 CH₄ 발생량이 증가한다(Chaudhry and Khan, 2012). Johnson and Johnson (1995)는 사료 급여량은 동일하나 소화율이 증가할 경우, CH₄ 발생량이 감소한다고 보고하였으며, Ha et al. (2018)은 단백질과 TDN 함량이 높은 조사료가 CH₄ 발생량이 적었다고 보고하였다. 또한 반추위 내 발효 시 acetate 함량이 증가하면 methanogen에 의한 CH₄ 합성량이 증가하는 반면, propionate 함량이 증가하면 반추위 내 유리된 수소이온을 이용하게 됨으로 인해 CH₄ 합성량이 감소한다(Meale et al., 2012). 하지만, 본 연구에서 벚짚의 경우 A:P 비율이 낮음에도 건물과 NDF 소화물 당 CH₄ 발생량이 높은 것은 이들의 소화율이 낮았기 때문인 것으로 사료된다. 한편, 두과 사료작물은 구조성 탄수화물 함량이 적고, 항산화 효과를 가지는 탄닌을 많이 함유하고 있어서, CH₄ 발생량이 감소한다고 보고하였다(Waghorn and Clark, 2004). 본 연구에서 두과 사료작물인 알팔파의 CH₄ 발생량은 다른 조사료와 유의적인 차이는 없었으나, 티모시의 CH₄와 CO₂ 발생량이 낮은 것은 건물과 NDF 소화율이 가장 우수하였기 때문인 것으로 사료된다.

IV. 요약

본 연구에서는 국내 한우농가에서 주로 이용하고 있는 국내산 조사료 2종과 수입산 조사료 3종의 영양소 함량, 반추위 내 소화율, 발효특성 및 온실가스 발생량을 평가하기 위해 수행되었다. 알팔파는 조단백질 함량이 가장 높은 반면, NDF와 ADF 함량은 가장 낮았으며, 온실가스 측면에서 건물과 NDF 소화물 당 CO₂ 발생량이 낮았다. 한편 티모시는 건물과 NDF 소화율, 반추위 내 총 VFA 함량이 가장 높았으며, 온실가스 측면에서 건물과 NDF 소화물 당 CH₄ 발생량이 가장 낮았다. 이상의 연구결과에서, 국내 한우농가에서 주로 이용하고 있는 조사료 중 사료가치(영양소 함량, 반추위 내 발효특성 및 간접 소화율)와 온실가스 저감 측면에서 티모시가 가장 우수한 것으로 사료된다. 따라서 국내에서 가장 많이 생산되고 있는 조사료인 이탈리아안라이그라스와 벚짚의 사료가치 증진과 온실가스 저감을 위한 조사료 가공기술 개발이 필요할 것으로 사료된다.

V. 사사

본 연구는 농림식품축산기술기획평가원의 연구사업(과제번호: 321083-05-3-HD020)의 지원에 의해 이루어졌습니다.

VI. REFERENCES

- Adesogan, A.T., Krueger, N.K. and Kim, S.C. 2005. A novel, wireless, automated system for measuring fermentation gas production kinetics of feeds and its application to feed characterization. *Animal Feed Science and Technology*. 123(1):211-223. doi:10.1016/j.anifeeds.2005.04.058
- AOAC. 2005. Official method of analysis (18th ed.). Association of Official Analytical Chemists. Washington DC. USA.
- Beuving, J.M.W., Spoelstra, S.F. and Hogendorp, R.J. 1992. An automated method for measuring time-course of gas production of feedstuffs incubated with buffered rumen fluid. *Netherlands Journal of Agricultural Science*. 40(4):401-407. doi:10.18174/njas.v40i4.16501
- Caraviello, D.Z., Weigel, K.A., Fricke, P.M., Wiltbank, M.C, Florent, M.J, Cook, N.B., Nordlund, K.V., Zwald, N.R. and Rawson, C.L. 2006. Survey of management practices on reproductive performance of dairy cattle on large US commercial farms. *Journal of Dairy Science*. 89(12):4723-4735. doi:10.3168/jds.S0022-0302(06)72522-X
- Chaudhry, A.S. and Khan, M.M.H. 2012. Impacts of different spices on *in vitro* rumen dry matter disappearance, fermentation and methane of wheat or ryegrass hay based substrates. *Livestock Science*. 146(1):84-90. doi:10.1016/j.livsci.2012.01.007
- Deinum, B., Beyer, J.D., Nordfeldt, P.H., Kornher, A., Østgaard, O. and Bogaert, G.V. 1981. Quality of herbage at different latitudes. *Netherlands Journal of Agricultural Science*. 29(2):141-150. doi:10.18174/njas.v29i2.17014
- Greenhouse Gas Inventory and Research Center (GIR). 2021. National greenhouse gas inventory report of Korea. Ministry of Environment. Korea. pp. 5-10.
- 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. *Information Science Society*. 29(3):621-632. doi:10.7465/jkdi.2018.29.3.621
- Hobson, P.N. and Stewart, C.S. 1997. The rumen microbial ecosystem (2nd ed.). London, UK: Blackie Academic and Professional. doi.org/10.1007/978-94-009-1453-7
- Hristov, A. and broderick, G. 1994. Ruminant microbial protein synthesis in cows fed alfalfa silage, alfalfa hay or corn silage and fitted with

- only ruminal cannula. In Proceedings of the Society of Nutrition Physiology: Abstracts of Communications, VIII International Symposium on Ruminant Physiology. Hessen. Germany.
- Hristov, A.N. and Ropp, J.K. 2003. Effect of dietary carbohydrate composition and availability on utilization of ruminal ammonia nitrogen for milk protein synthesis in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 86(7):2416-2427. doi:10.3168/jds.S0022-0302(03)73836-3
- IPCC. 2013. Climate change 2013: The physical science basis. In: Stocker. et al. (Eds.), Working Group I contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press. Cambridge. UK.
- Jankson, M.G. 1977. Review article: The alkali treatment of straws. *Animal Feed Science and Technology*. 2(2):105-130. doi:10.1016/0377-8401(77)90013-X
- Jin, Q., You, W., Tan, X., Liu, G., Zhang, X., Liu, X., Wan F. and Wei, C. 2021. Caffeic acid modulates methane production and rumen fermentation in an opposite way high-forage or high-concentrate substrate *in vitro*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 101(7):3013-3020. doi:10.1002/jsfa.10935
- Johnson, K.A. and Johnson, D.E. 1995. Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science*. 73(8):2483-2492. doi:10.2527/1995.7382483x
- Lee, H.S. and Lee, I.D. 2000. A comparative study of nutritive value of imported roughages. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 20(4):303-308.
- Lee, H.S., Lee, I.D., Park, D.S., Park, Y.J., Kim, S.K. and Keum, J.S. 2001. A study on the nutritive value of distributed roughage in domestic market. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 21(3):109-114.
- MAFRA (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs). 2013. Livestock glossary. Korean Society of Animal Science and Technology. pp. 204.
- McDonald, P., Henderson, A.R. and Heron, S.J.E. 1991. The biochemistry of silage, 2nd ed. Bucks, UK: Chalcombe Publ.
- Meale, S.J., Chaves, A.V., Baah, J. and McAllister, T. A. 2012. Methane production of different forages in *in vitro* ruminal fermentation. *Asian-Australasian Journal of animal sciences*. 25(1):86. doi:10.5713/ajas.2011.11249.
- NIAS (National Institute of Animal Science). 2015. Livestock yearbook, 3rd place 'Forage'. pp. 1-27.
- Olijhoek, D.W., Løvendahl, P., Lassen, J., Hellwing, A.L.F., Höglund, J.K., Weisbjerg, M.R., Noel, S.J., McLean, F., Højberg, O. and Lund, P. 2018. Methane production, rumen fermentation, and diet digestibility of Holstein and Jersey dairy cows being divergent in residual feed intake and fed at 2 forage-to-concentrate ratios. *Journal of Dairy Science*. 101(11):9926-9940. doi:10.3168/jds.2017-14278
- Patra, A.K. and Yu, Z. 2014. Combinations of nitrate, saponin, and sulfate additively reduce methane production by rumen cultures *in vitro* while not adversely affecting feed digestion, fermentation or microbial communities. *Bioresource Technology*. 155:129-135. doi:10.1016/j.biortech.2013.12.099
- Ransom, C. and Ravalitera, N. 2022. World meteorological organization. Provisional state of the global climate 2022. Published online at World Meteorological Organization.org. <https://storymaps.arcgis.com/stories/5417cd9148c248c0985a5b6d028b0277>
- Ritchie, H. and Roser, M. 2020. CO₂ and greenhouse gas emissions. Published online at OurWorldInData.org. Retrieved from <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions> [Online Resource]
- 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(10):3583-3597. doi:10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2
- Waghorn, G.C. and Clark, D.A. 2004. Feeding value of pastures for ruminants. *New Zealand Veterinary Journal*. 52(6):320-331. doi:10.1080/00480169.2004.36448
- Yu, P., Christensen, D.A., McKinnon, J.J. and Markert, J.D. 2003. Effect of variety and maturity stage on chemical composition, carbohydrate and protein subfractions, *in vitro* rumen degradability and energy values of timothy and alfalfa. *Canadian Journal of Animal Science*. 83(2):279-290. doi:10.4141/A02-053
- Zhang, Q., Yu, Z., Wang, X.G. and Na, R.S. 2017. Effects of chlorpyrifos and chlorantraniliprole on fermentation quality of alfalfa (*Medicago sativa* L.) silage inoculated with or without *Lactobacillus plantarum* LP. *Animal Science Journal*. 88(3):456-462. doi:10.1111/asj.12637

(Received : December 12, 2023 | Revised : December 26, 2023 | Accepted : December 26, 2023)