

ANIMAL

Comparative analysis of the energy values of oat hay, tall fescue, annual ryegrass, and barnyard millet using *in vivo* digestibility results and predicted values

Seul Lee¹, Seoyoung Jeon², Seongwon Seo², Jungeun Kim¹, Pilnam Seong¹, Youl Chang Baek^{1*}

¹Animal Nutrition and Physiology Division, National Institute of Animal Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

²Division of Animal & Dairy Sciences, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

*Corresponding author: chang4747@korea.kr

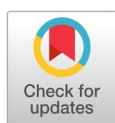
Abstract

Accurate measurements of feed energy values have a positive effect on the control of feed intake for animals, the formation of prices, and on economic profits. However, few studies have attempted to measure the energy values of domestic roughages and to validate an energy value prediction model. The purpose of this study is to build a database through measurements of the nutrient digestibility and digestible energy results of roughages used in Korea and to evaluate the domestic applicability of the National Research Council (NRC) estimation model. Oat hay, annual ryegrass, tall fescue, barnyard millet, and concentrates for beef cattle were used in the test. As a result of an *in vivo* digestibility trial, the total digestible nutrients (TDN) of oat hay, annual ryegrass, tall fescue, and barnyard millet were found to be 68.73, 55.02, 55.71, and 52.89%, respectively. As a result of comparing the estimated values using the NRC equation with the *in vivo* results, there was a difference of 3.55 to 6.84%P in the TDN. Inferred from this result, it is considered that TDN calculations using the NRC equation can be reasonable for the test feeds used in this study. These results can be utilized when revising the Korean Standard Tables of Feed Composition, which provides a comprehensive overview of Korean feed.

Keywords: digestible energy, feed energy value, *in vivo* digestibility, total digestible nutrients

Introduction

사료의 에너지를 평가하는 방법에는 동물을 이용하는 평가법, 실험실에서 반추위액 배양을 통해 평가하는 방법, 그리고 사료의 화학 성분을 이용한 추정 방법이 있으며, 이 중 동물을 이용하는 평가법이 가장 기본적이고 원칙적인 방법이다. 전통적으로 영양학에서는 열역학 제1법칙인 에너지는 변형될 수 있으나 창조, 파괴되지 않는다는 개념에 따라 우선 가소화 에너지(digestible energy, DE) 또는 가소화영양소총량(total digestible nutrients, TDN)을 구하고,



OPEN ACCESS

Citation: Lee S, Jeon S, Seo S, Kim J, Seong P, Baek YC. Comparative analysis of the energy values of oat hay, tall fescue, annual ryegrass, and barnyard millet using *in vivo* digestibility results and predicted values. Korean Journal of Agricultural Science 48:831-842. <https://doi.org/10.7744/kjoas.20210070>

Received: September 28, 2021

Revised: October 20, 2021

Accepted: November 01, 2021

Copyright: © 2021 Korean Journal of Agricultural Science



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

이후에 대사에너지(metabolic energy, ME)를 구한 후 정미에너지(net energy, NE)를 추정하는 방식을 이용한다(Fig. 1). DE를 올바르게 평가하는 것은 사료 에너지가를 정확히 평가하는 첫 단계이며, 이 때 총 에너지에서 분으로 나오는 에너지를 제하여 DE를 구한다. 그러므로 분으로 나오는 소화되지 않은 에너지를 구하는 것은 가장 큰 변이 요인이고, 실제로 분 에너지는 사료 에너지가 손실되는 가장 큰 경로이다(Weiss and Tebbe, 2019). 그러나 동물 실험은 시간, 비용, 인력의 소모가 많아 현실적으로 측정할 수 있는 사료의 양에 한계가 있다. 따라서 사료의 에너지를 추정하기 위하여 사료의 화학 성분 분석치를 이용한 TDN 추정 모델식이 다수 개발된 바 있다(NRC, 2001; Tedeschi et al., 2002).

우리나라에서도 동물 실험 수행의 어려움으로 인해 사료 에너지가 평가 시 국외에서 개발된 실험적인 근거로 만들어진 에너지가 추정 모델을 이용하고 있으며, 주로 소화가 잘 안되는 ADF (acid detergent fiber)와 TDN의 부의 상관관계를 이용한 회귀모델을 활용하고 있다(Choi et al., 2019). 회귀모델을 이용한 TDN 추정법은 예측 오차가 높고(Abrams, 1988), 또한 그 식을 만들 때 사용된 사료가 아닌 새로운 사료를 예측하기 위한 활용에는 한계를 지닌다(Weiss, 1993). 실험적인 근거로 만들어진 TDN 추정식의 한계를 극복하기 위해서 만들어진 것이 NRC (National Research Council) TDN 예측식이다. NRC 공식은 바로 TDN을 예측하는 것이 아니라 이론적인 방법을 활용해서 영양소별 진정소화율을 예측하고 이를 대사분 에너지를 보정해서 외관상 TDN을 예측한다. 따라서 다양한 조사료를 활용하는 우리나라의 여건상 NRC 모델을 적용하는 것이 더 유리할 수 있다.

국내에서 한우 조사료의 *in vivo* 에너지가 측정은 2000년대 이후 거의 이루어진 바 없으며, 특히 최근 이용되는 다양한 종류의 수입산 조사료 및 신규 국내 조사료원에 대한 에너지가 실험 결과가 거의 없는 실정이다. 실제 NRC 추정식과 *in vivo* 소화율의 일치성에 대해서 동물 실험을 통해 국내에서 수행된 연구는 벵짚과 티모시, 버섯배지 등 일부 원료사료에 대해 수행된 바 있으나 데이터의 한계로 일반적인 한우 조사료에 해당 결과를 적용하기에는 어려움이 있다(Back, 2013; Ryu et al., 2021). 따라서 본 연구의 목적은 첫째로 국내에서 이용되는 조사료의 영양소 소화율 및 가소화 에너지 측정을 통해 추후 사료 배합비 작성 시 활용할 수 있는 기초 자료를 확보하는 것, 둘째로 NRC 추정 모델의 국내 적용 가능성을 평가하는 것으로 한다.

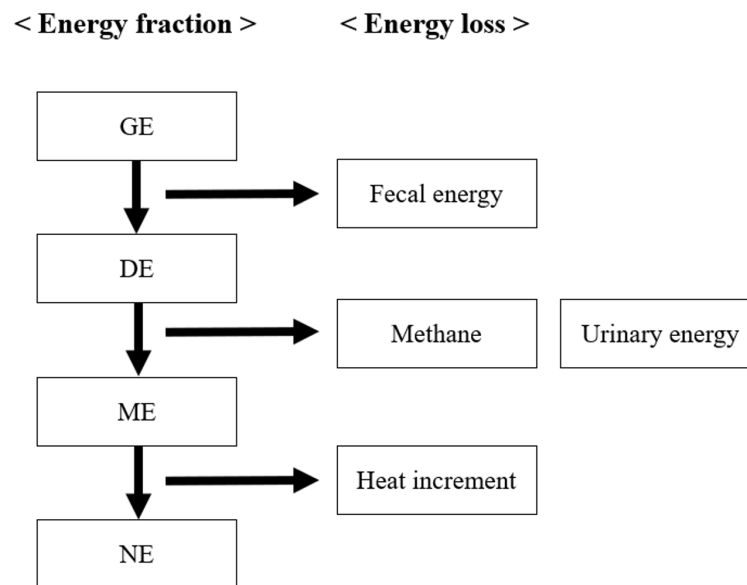


Fig. 1. The classical flow of energy through an animal including the various energy fractions of gross energy, digestible energy, metabolic energy, and net energy.

Materials and Methods

시험 사료 및 이화학 성분 분석

본 연구의 시험 사료는 호주산 수입 연맥 건초, 미국산 수입 톨페스큐 건초, 미국산 수입 애뉴얼라이그라스 건초, 국내산 사료용 피 사일리지와 한우용 배합사료를 이용하였으며, 한우용 배합사료의 배합비는 Table 1에 제시하였다. 시험 사료의 이화학 성분 분석은 미국 Cumberland valley analytical services Inc. (Maugansville, MD, USA)에 의뢰하여 결과를 활용하였다. CP (crude protein; #990.03), ADF (#973.18), 그리고 Ash (#942.05)는 AOAC (2005)에 따라 분석하였고, EE (ether extract; #2003.05)는 AOAC (2006)에 따라 분석하였다. 조사료의 DM (dry matter)은 두 가지 절차로 건조하여 분석하였는데 먼저 Van Soest (1970)에 따라 부분적으로 건조 후, National Forage Testing Association (2002)에 따라 105°C에서 3시간 동안 건조하였다. 배합사료의 DM (#930.15)은 AOAC (2005)에 따라 분석하였다. aNDF (amylase-treated neutral detergent fiber)는 Van Soest 등(1991)에 따라 열 안정성 아밀레이스(heat-stable amylase)를 이용하여 분석하였다. Soluble protein은 Van Soest (1982)에 따라 borate-phosphate 방법을 이용하여 분석하였다. NDICP (neutral detergent insoluble crude protein)와 ADICP (acid detergent insoluble crude protein)는 각각 NDF와 ADF 분석 후 남은 잔여물을 nitrogen combustion analyzer를 이용해 질소를 분석하여 구하였다. Lignin은 Van Soest (1970)에 따라 분석하였다. Ca (#985.01)과 P (#985.01)는 AOAC (2000) 방법에 따라 분석하였다. OM (organic matter)은 100 - Ash로 산출하였다. NFC (nonfiber carbohydrate)는 $100 - \{CP(\%) + EE(\%) + Ash(\%) + (NDF(\%) - NDICP(\%))\}$ 의 수식으로 산출하였다(NRC, 2001).

Table 1. Feed formula of concentrate mix.

Ingredient	% (as fed)
Dried distiller's grain with solubles (com)	15.0
Wheat grain (fine)	14.0
Com gluten feed	14.0
Palm kernel meal	13.0
Soybean hull	11.5
Corn grain (fine)	10.5
Soybean meal	6.7
Molasses	5.0
Alfalfa pellet (ground)	4.0
Limestone	3.0
Rice bran	2.5
Salt	0.4
Others	0.4

실험 동물, 실험 설계 및 *in vivo* 소화율, TDN 측정치 계산

본 연구는 국립축산과학원 동물실험윤리위원회 승인을 받아 수행되었다(승인번호 NIAS 2020-499). 시험축으로 비육 후기 한우 거세우 4두(체중 634 ± 77.4 kg, 38개월령)가 이용되었다. 시험축은 실험 기간 동안 동물의 분, 뇨가 분리되어 수집이 가능한 대사틀(127 cm × 250 cm × 200 cm, 너비 × 길이 × 높이)에서 사육되었고, 매일 아침 사료 잔량은 모두 수거되어 건물 함량을 측정하여 사료 섭취량을 계산하는 데 이용하였다. 사료는 한국가축사양표준 한우(NIAS, 2017a)에 따라 유지에너지 수준(체중의 1%)으로 1일 2회(9:00 및 16:00)로 나눠 급여하였고, 물은 자유롭게 섭취할 수 있도록 하였다. 시험 기간 동안 배출된 분과 뇨는 각각 분리되어 전량 수거되었다. 뇨 시료는 채취 시 4 N

의 황산 300 mL를 매일 아침 뇨 채집용기에 넣어 암모니아태 질소의 휘발을 방지하였으며, 시험축은 시험 기간 동안 뇨 전량 채취를 위하여 진공 펌프를 연결한 뇨 수집 장치를 착용하였다(Busch, RA0063F503, Maulburg, Germany). 외관상 *in vivo* 소화율 계산을 위하여 분과 뇨는 각각 매일 아침 전량 수거하여 무게를 측정하고 균일하게 섞은 뒤, 분 시료 중 원물 기준 300 g을 3반복하여 총 900 g, 뇨 시료 중 50 mL를 3반복하여 총 150 mL를 샘플링하였다. 분 시료는 바로 건조하여 수분을 측정하였으며, 분, 뇨 샘플은 4일치를 모아 분은 건물 기준, 뇨는 원물 무게 비율 기준으로 섞은 후 성분 분석 후 소화율 계산에 이용하였다.

본 연구에서 시험 조사료의 TDN 산출은 두 단계의 실험으로 이루어졌다. 연맥 건초를 표준 조사료로 선정하고, 실험 1에서는 연맥 건초와 이후 실험에 이용될 배합사료의 영양소 소화율 및 TDN 함량을 측정하였다. 그리고 실험 2에서는 시험 조사료의 영양소 소화율 및 TDN을 연맥과 함께 측정하여 시험 조사료 간의 상대적 비교 및 표준을 이용한 수치 보정을 실시하였다. 이때 일반적인 한우 사양 조건을 고려하여 조사료의 급여 비율을 건물 기준으로 전체 사료의 15 - 30% 범위로 제한하여, 조사료와 농후사료의 비율이 조정됨에 따라 달라지는 반추위 발효 성상에 의한 소화율의 영향을 최소화하였다. 실험 1에서는 배합사료와 대표 조사료(연맥)의 급여 비율을 각각 70 : 30 (Concentrate 70% : Oat hay 30%, C70 : O30), 85 : 15 (Concentrate 85% : Oat hay 15%, C85 : O15)로 하여, 총 2개의 처리구를 2 × 2 라틴 방각법으로 설계하였다. 시험축 1두는 급격한 체중의 증가 및 감소가 나타나 데이터에서 제외하였다. 실험 2는 배합사료와 시험 조사료(연맥, 툴페스큐, 애뉴얼라이그라스, 사료용 피)의 급여 비율은 농후사료 80% 조사료 20%로 하였고, 총 4개의 처리구를 4 × 4 라틴 방각법으로 설계하였다. 구 배치와 배열은 Seo 등 (2018)에 따라 처리구의 잔여 효과를 최소화하여 실시하였다. 한 period는 14일로 구성되었으며, 시험축은 시험사료와 대사를 적응을 10일간 거친 후 4일간 분뇨 샘플링을 실시하였다. 실험 사료의 영양소 소화율과 TDN은 아래와 같은 방법으로 계산하였다(Church, 1988).

$$\text{Apparent nutrient digestibility (\%)} = (\text{Nutrient intake} - \text{Nutrient excreted}) \times 100 / \text{Nutrient intake} \quad (1)$$

$$\text{TDN (\%)} = \text{digestible CP (\%)} + (\text{digestible EE (\%)} \times 2.25) + \text{digestible NFC (\%)} + \text{digestible NDF (\%)} \quad (2)$$

실험 1에서 측정된 소화율을 기반으로 배합사료의 영양소 소화율, TDN를 산출하였다. 이를 활용해서 실험 2에서의 배합사료의 영양소소화율과 TDN에 적용하여 조사료의 영양소소화율과 TDN을 아래와 같은 방법으로 산출하였다.

$$D_T = D_C \times R_C + D_F \times R_F \quad (3)$$

$$D_F = (D_T - D_C \times R_C) / R_F \quad (4)$$

D_T = 시험 2의 총 사료의 영양소 소화율(%)과 TDN (%); D_C = 시험 1에서 측정된 배합사료 영양소 소화율(%)과 TDN (%); R_C = 총 사료에서 농후사료가 차지하는 비율(%); D_F = 시험 2의 조사료의 영양소 소화율(%)과 TDN (%); R_F = 총 사료에서 조사료가 차지하는 비율(%)

영양소 분석치를 이용한 사료 소화율, TDN 예측치 계산

시험 사료의 진정소화율과 TDN을 예측하는 모델은 아래와 같이 미국의 NRC 공식을 이용하였다(NRC, 2001). 아래의 공식에서 영양 성분 함량은 건물을 기준으로 한다. tdNFC (truly digestible nonfiber carbohydrate) 계산을 위한 가공 보정 계수(processing adjustment factor, PAF)는 기본값이 되는 1.00을 이용하였다.

$$\text{Truly digestible NFC (tdNFC)} = 0.98 \times \{100 - [(NDF - NDICP) + CP + EE + Ash]\} \times \text{PAF} \quad (5)$$

$$\text{Truly digestible CP for forages (tdCPf)} = CP \times \exp[-1.2 \times (ADICP / CP)] \quad (6)$$

$$\text{Truly digestible CP for concentrates (tdCPc)} = CP \times [1 - (0.4 \times ADICP / CP)] \quad (7)$$

$$\text{Truly digestible Fatty acid (tdFA)} = \text{EE} - 1 \quad (8)$$

$$\text{Truly digestible NDF (tdNDF)} = 0.75 \times [(\text{NDF} - \text{NDICP}) - \text{ADL}] \times \{1 - [\text{ADL} / (\text{NDF} - \text{NDICP})]^{0.667}\} \quad (9)$$

$$\text{TDN}_{ix}(\%) = \text{tdNFC} + \text{tdCP} + (\text{tdFA} \times 2.25) + \text{tdNDF} - 7 \quad (10)$$

NRC에서는 tdCP (truly digestible crude protein)을 구하는 공식을 조사료와 농후사료에 따라 구분하여 제시하므로, 본 실험에서는 이에 맞게 시험사료에 따라 분류하여 식을 이용하였다. 위와 같이 제시된 NRC 예측식에 따라 본 연구에 활용된 시험 사료 종류별 진정소화율과 TDN 예측치를 계산하였다.

통계 분석

실험 1의 연맥 및 배합사료의 영양소 소화율 및 에너지가는 SAS의 PROC MIXED (SAS Institute, 2014)를 이용하여 동물을 랜덤효과로 하는 단순회귀 분석을 실시하였다.

$$y_i = \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 \quad (11)$$

y_i 는 실제 측정된 영양소 소화율(DM, OM, CP, EE, CF, Ash, NFC, NFE, NDF, ADF) 혹은 TDN이고, X_1 은 사료 중 배합사료의 비율, X_2 는 사료 중 연맥의 비율이다.

실험 2의 각 평균간 유의성 검정은 SAS 프로그램의 general linear model (GLM) procedure를 이용하여 분산분석을 실시하였다. 처리에 의한 평균간 비교는 Tukey's range test를 이용해 분석하였다. 유의성은 $p < 0.05$ 수준으로 판단하였다.

Results and Discussion

시험사료 일반성분 분석 결과

배합사료의 배합비율은 Table 1에 제시하였다. 시험사료에 대한 일반성분분석 결과는 Table 2에 명시하였다. 건물 기준 조사료의 NDF 함량은 톨페스큐, 애뉴얼라이그라스, 사료용 피, 연맥순으로 측정되었고, 톨페스큐가 74.00%로 가장 높았으며, 연맥에서 55.10%로 가장 낮았다. NDF는 cellulose, hemicellulose, lignin 함량의 합으로 조사료의 섬유질 함량을 대표하는 수치이다. NDF는 반추동물에서 physical effective fiber를 제공하여 반추 자극, 반추 위 활동, 타액 분비의 역할을 수행하여 반추위의 정상적인 기능을 돕는다(Zebeli et al., 2012).

Lignin 함량은 애뉴얼라이그라스가 7.66%로 가장 높았으며, 톨페스큐가 7.16%, 사료용 피가 6.10%, 연맥이 3.68%로 분석되었다. Lignin은 불소화물질이면서 다른 섬유소의 소화를 방해하는 것으로 알려져 있다(Besle et al., 1994; Van Soest, 1994). 이를 이용한 NDF 소화율을 예측하는 식이 개발되었다(Mertens, 1973; Chandler, 1980; Conrad et al., 1984; Weiss et al., 1992).

NFC 함량은 연맥이 29.30%로 가장 높았으며, 다음으로 애뉴얼라이그라스, 톨페스큐, 사료용 피 순으로 각각 18.60, 16.10, 12.10%로 분석되었다. 사료 내 NFC는 전분, 당, 펙틴과 같이 발효가 비교적 잘 되는 탄수화물이며, NFC의 함량은 사료의 에너지 함량, 반추위에서 미생물체 단백질의 합성량, 총 휘발성지방산(total volatile fatty acid, total VFA)과 양의 상관관계를 가지는 것으로 알려져 있다(NRC, 2001; Seo et al., 2009). 따라서 일반성분 수치 분석 결과, 비교적 NFC 함량이 높은 연맥이 사료 에너지 함량과 반추위 소화율이 높을 것으로 예측될 수 있다. 탄수화물 fraction 별 분석 결과, 연맥은 소화가 어려운 C fraction의 비율이 10.61%로 상대적으로 가장 적었으며, 애뉴얼라이그라스와 톨페스큐, 사료용 피는 각각 20.66, 19.33, 18.86%를 나타냈다.

Table 2. Chemical composition of experimental forages and concentrate mix.

Item	Oat hay	Annual ryegrass	Tall fescue	Barnyard millet	Concentrate mix
DM (% AF)	84.20	85.60	86.00	91.00	87.50
OM (% DM)	92.99	94.68	95.56	87.89	90.58
CP (% DM)	8.10	4.40	5.70	8.60	21.10
SOLP (% DM)	3.10	1.00	2.00	4.10	8.30
NDICP (% DM)	1.12	1.27	1.18	1.92	2.95
ADICP (% DM)	0.64	1.15	1.16	1.24	1.12
aNDF (% DM)	55.10	71.60	74.00	67.50	37.10
ADF (% DM)	32.80	48.40	46.60	47.10	18.20
Lignin (% DM)	3.68	7.66	7.16	6.10	3.79
EE (% DM)	1.61	1.31	0.94	1.65	5.38
Ash (% DM)	7.01	5.32	4.44	12.11	9.42
Ca (% DM)	0.25	0.46	0.34	0.37	1.49
P (% DM)	0.13	0.14	0.11	0.33	0.84
NFC (% DM)	29.30	18.60	16.10	12.10	29.90
Carbohydrate fraction ^y (% CHO)					
CA	15.61	5.28	3.60	1.03	4.37
CB1	0.72	0.22	0.56	0.52	23.56
CB2	18.85	15.40	13.95	14.04	18.72
CB3	54.21	58.39	62.57	65.61	39.09
CC	10.61	20.66	19.33	18.86	14.19
Protein fraction ^z (% protein)					
PA + PB1	38.27	22.73	35.09	47.67	39.34
PB2	47.90	48.41	44.21	30.00	46.68
PB3	5.93	2.73	0.35	7.91	8.67
PC	7.90	26.14	20.35	14.42	5.31

DM, dry matter; AF, as fed; OM, organic matter; CP, crude protein; SOLP, soluble CP; NDICP, neutral detergent insoluble CP; ADICP, acid detergent insoluble CP; aNDF, neutral detergent fiber analyzed using a heat-stable amylase and expressed inclusive of residual ash; ADF, acid detergent fiber; EE, ether extract; NFC, non-fiber carbohydrates.

^y CA: Carbohydrate A fraction, CA (%CHO) = ESC (%CHO), CB1: Carbohydrate B1 fraction, CB1 (%CHO) = starch (%CHO), CB2: Carbohydrate B2 fraction, CB2 (%CHO) = NFC (%CHO) – starch (%CHO) – ESC (%CHO), CB3: Carbohydrate B3 fraction, CB3 (%CHO) = aNDF (%CHO) – NDICP (%CHO) – 2.4 × lignin (%CHO), CC: Carbohydrate C fraction, CC (%CHO) = lignin (%CHO) × 2.4, CHO (%DM) = 100 – CP (%DM) – EE (%DM) – Ash (%DM).

^z PA: Protein A fraction, PA (%CP) = non-protein nitrogen (NPN) (%SOLP) × 0.01 × SOLP (%CP), PB1: Protein B1 fraction, PB1 (%CP) = SOLP (%CP) – A (%CP), PB2: Protein B2 fraction, PB2 (%CP) = 100 – A (%CP) – B1 (%CP) – B3 (%CP) – C (%CP), PB3: Protein B3 fraction, PB3 (%CP) = NDICP (%CP) – ADICP (%CP), PC: Protein C fraction, PC (%CP) = ADICP (%CP).

CP 함량은 사료용 피와 연맥에서 각각 8.60, 8.10%로 상대적으로 높게 측정되었다. 반면에 톨페스큐와 애뉴얼라이그라스는 각각 5.70, 4.40%로 비교적 낮은 수치를 나타냈다. Lee와 Lee (2000)의 연구에 따르면, 연맥의 CP함량은 7.93%, 톨페스큐 짚의 CP함량은 4.45%로 분석되어 본 실험과 비슷한 CP함량을 가지는 것으로 나타났다. Ki 등 (2017)은 북미에서 수입한 톨페스큐 짚의 영양성분 수치를 분석하였는데 CP 6.4%, EE 1.0%, aNDF 74.3%의 결과를 보여 본 실험에 사용된 톨페스큐 짚과 각각 비슷한 수치를 나타냈다. 반면 한국가축사양표준 사료성분표(NIAS, 2017b)에서는 각 시험 조사료의 CP 함량을 연맥 5.44%, 애뉴얼라이그라스 4.65%로 제시하였으며 사료용 피와 톨페스큐 짚은 기존 분석 결과가 부재하였다. 연맥의 경우 한국가축사양표준 사료성분표(NIAS, 2012)의 청예연맥 호숙기 결과와 유사하였다. 국내에 유통되는 수입 조사료 133점의 성분을 검토한 결과, 화분과 목초의 CP함량은 5.8 - 8.8%사이였다(Lee et al., 2020). 본 연구의 시험사료 중 연맥과 사료용 피는 이와 유사한 수치를 나타냈으나, 애뉴얼라이그라스는 비교적 낮은 CP 함량을 가진 것으로 분석된다. 단백질 fraction 별 분석 결과, 연맥은 소화가 어려운 C fraction의 비율이 7.90%로 가장 낮았으며, 애뉴얼라이그라스에서 26.14%로 가장 높았다.

연구마다 조사료의 영양소 함량에 차이를 보이는 이유는 조사료는 수확횟수 및 수확시기 등에 따라 단백질 및 섬유소 함량 차이가 발생할 수 있는데(Lee et al., 2020), 현지 생산조건에 따라 매년 조사료의 품질 기준이 달라지기 때문이다. 미국 사료성분표에서의 연맥 건초의 건물 기준 단백질 함량은 8.7%로 본 시험의 분석결과와 큰 차이가 나타나지 않았다(NASEM, 2016).

외관상 *in vivo* 영양소 소화율 측정 결과

실험1의 연맥 및 농후사료의 비율을 조절한 한우 외관상 *in vivo* 영양소 소화율은 Table 3에 표기하였다. TDN에 영향을 주는 단백질 외관상소화율은 71.35 - 72.85%, EE의 외관상 소화율은 90.33 - 91.22%. NDF 외관상소화율은 62.24 - 62.67%, NFC 소화율은 91.94 - 93.12%로 측정되었다. NFC 외관상소화율을 제외하고 연맥 15% 급여구에서 소화율이 높았다. TDN은 72.89 - 74.03%로 측정되었다. 연맥의 비율이 증가함에 따라서 단백질의 소화율에 악영향을 미치는 ADICP의 함량이 높아지고, 지방함량이 낮아짐에 따라서 조지방의 소화율이 낮게 측정된 것으로 볼 수 있다(Weiss et al., 1992). NFC는 전분, 수용성 섬유소, 설탕, 유기산, 잘 알려지지 않는 NDF 시약에 녹는 물질로 구성되어 있다. NRC (2001)에서의 NFC의 진정소화율은 98%로 산출할 정도로 소화가 잘 되는 물질로 알려져 있다. 하지만 NFC에서 많은 부분을 차지하는 전분의 소화율은 85 - 90%로 일정하지 않았다(Ferretto et al., 2013). 이러한 이유로 NFC 소화율만 연맥 비율이 증가함에 따라서 떨어지지 않는 것으로 볼 수 있다.

Table 3. Apparent nutrients digestibility and energy value of in the experimental 1 diet.

Item	C85 : O15	C70 : O30
Dry matter (DM)	72.96 ± 1.24	72.3 ± 0.83
Organic matter (OM)	75.08 ± 1.25	74.37 ± 0.81
Crude protein (CP)	72.85 ± 1.35	71.35 ± 1.10
Ether extract (EE)	91.22 ± 0.55	90.33 ± 0.58
Non-fiber carbohydrate (NFC)	91.94 ± 2.99	93.12 ± 1.07
Neutral detergent fiber (NDF)	62.67 ± 3.36	62.24 ± 2.23
Gross Energy (GE)	76.29 ± 1.25	75.53 ± 0.67
Total digestible nutrients (TDN)	74.03 ± 1.17	72.89 ± 0.77

C85 : O15 = concentrate (85%) with oat hay (15%), C70 : O30 = concentrate (70%) with oat hay (30%).

시험1을 통해서 배합사료의 평균 외관상 CP, EE, NFC, NDF 소화율은 74.36, 92.11, 90.76, 63.11% 이었으며, TDN은 75.11%로 산출되었다. 배합사료 80%에 각각 연맥, 톨페스큐, 애뉴얼라이그라스, 사료용 피 20%를 급여하여 외관상 영양소 소화율, TDN을 산출한 결과를 Table 4에 제시하였다.

TDN에 영향을 미치는 CP, EE, NFC, NDF의 외관상소화율은 각각 72.75 - 75.12, 89.10 - 89.99, 90.55 - 91.25, 60.09 - 63.01%로 측정되었으며, TDN은 70.92 - 73.82%로 측정되었다. 조사료의 차이에 따른 외관상영양소 소화율 및 TDN은 유의적으로 차이가 나타나지 않았다($p > 0.05$).

시험1에서 측정된 배합사료의 외관상 영양소 소화율과 TDN을 시험2에 적용하여 시험 조사료 고유의 외관상 영양소소화율과 TDN을 산출하였다. 그 결과는 Table 5에 제시하였다. 외관상 DM 소화율은 각각 연맥 67.39%, 애뉴얼라이그라스가 54.84%, 톨페스큐가 56.08%, 사료용 피가 56.53%로 시험 조사료 중 연맥이 가장 높은 것으로 측정되었으며, OM 소화율도 마찬가지로 연맥에서 72.41%로 가장 높았고, 사료용 피가 두번째로 높은 62.50%, 애뉴얼라이그라스와 톨페스큐가 60.68, 60.55%로 측정되었다.

Table 4. Apparent nutrients digestibility and energy value of in the experimental 2 diets.

Item	C80 : O20	C80 : R20	C80 : T20	C80 : B20	SEM	p-value
Dry matter (DM)	72.37	69.86	70.11	70.20	0.458	0.18
Organic matter (OM)	75.12	72.77	72.75	73.14	0.475	0.24
Crude protein (CP)	74.65	74.14	74.66	73.93	0.469	0.94
Ether extract (EE)	89.60	89.99	89.10	89.37	0.416	0.91
Non-fiber carbohydrate (NFC)	91.25	90.59	90.55	91.00	0.501	0.96
Neutral detergent fiber (NDF)	63.01	60.09	60.85	61.74	0.828	0.68
Gross energy (GE)	74.66	72.64	72.55	72.27	0.464	0.25
Total digestible nutrients (TDN)	73.82	71.81	71.84	70.92	0.455	0.13

SEM, standard error of mean (n = 4).

C80 : O20 = concentrate (80%) with oat hay (20%), C80 : R20 = concentrate (80%) with annual ryegrass (20%), C80 : T20 = concentrate (80%) with tall fescue (20%), C80 : B20 = concentrate (80%) with barnyard millet (20%).

Table 5. Apparent nutrients digestibility and energy value of forage sources based on *in vivo* trials.

Item	Oat hay	Annual ryegrass	Tall fescue	Barnyard millet	SEM	p-value
Apparent digestibility of nutrient (% of dry matter)						
Dry matter (DM)	67.39	54.84	56.08	56.53	2.288	0.18
Organic matter (OM)	72.41	60.68	60.55	62.50	2.373	0.24
Crude protein (CP)	75.83	73.28	75.89	72.21	2.344	0.91
Ether extract (EE)	79.57	81.50	77.04	78.39	2.080	0.68
Non-fiber carbohydrate (NFC)	93.23	89.88	89.69	91.94	2.505	0.96
Neutral detergent fiber (NDF)	62.60	47.99	51.82	56.26	4.138	0.68
Gross energy (GE)	65.02	54.96	54.47	53.09	2.320	0.25
Total digestible nutrients (TDN)	68.73	55.02	55.71	52.89	2.925	0.21

SEM, standard error of mean.

CP 소화율은 톨페스큐가 75.89%로 가장 높았고, 연맥 75.83%, 애뉴얼라이그라스 73.28%, 사료용 피 72.21%로 각각 측정되었다. EE 소화율은 애뉴얼라이그라스가 81.50%로 가장 높았고 연맥, 사료용 피, 톨페스큐 순으로 각각 79.57, 78.39, 77.04%로 측정되었다. NDF 소화율은 연맥에서 62.60%로 가장 높았고, 사료용 피 56.26%, 톨페스큐 51.82%, 애뉴얼라이그라스 47.99%로 측정되었다. Table 2의 carbohydrate fraction 분석치 다른 성분과 비해서 소화되지 않는 C fraction의 비율은 연맥에서 10.61%, 사료용 피에서 18.86%, 톨페스큐에서 19.33%, 애뉴얼라이그라스에서 20.66%로 나타났고, 실제 외관상 *in vivo* 소화율 측정치와 유사한 경향이 나타났다. 비섬유성 탄수화물로 반추위 이용성이 높은 NFC의 소화율은 모든 시험사료원에서 다른 영양소보다 높은 수치를 나타냈다.

INRA (National Institute for Agricultural Research)의 feedipedia에서 연맥의 OM 소화율은 60.1%, 에너지 소화율은 56.7%로 측정되었으며, 애뉴얼라이그라스의 OM 소화율은 48.2%, 에너지 소화율은 44.8%로 비교적 낮게 측정되었는데(Heuzé et al., 2015; 2016), 본 연구에서도 연맥보다 애뉴얼라이그라스의 영양소 소화율이 낮게 측정되었다.

In vivo 실험 결과 TDN 수치는 시험조사료 중 연맥에서 68.73%로 가장 높고, 애뉴얼라이그라스 55.02%, 톨페스큐 55.71%, 사료용 피 52.89% 순으로 측정되었다.

OM 소화율이 애뉴얼라이그라스 및 톨페스큐에 비해서 높았던 사료용 피가 TDN은 낮게 측정되었다. 사료용 피에 에너지로 활용될 수 없는 조회분 함량 12.11%로 상대적으로 높았기 때문으로 볼 수 있다.

NRC 예측식을 이용한 시험사료 진정 영양소 함량 및 TDN 산출

Table 1에 제시된 시험사료별 영양소 분석 결과를 활용하여 NRC의 가소화 영양소 함량 및 소화율 예측식에 따라 조사료의 영양소별 진정소화율 및 TDN을 계산하고, 그 결과를 Table 6에 제시하였다.

시험사료의 가소화 영양소 함량 중 tdNFC 함량은 연맥에서 28.71%로 높게 측정되었으며, 애뉴얼라이그라스는 18.27%, 톨페스큐는 15.78%로 측정되었고, 사료용 피에서 11.82%로 가장 낮은 수치를 보였다. 이러한 결과는 NRC 예측식에서 NFC소화율을 98%로 두고 계산되기 때문에 화학 성분 분석치에 비례하는 양상을 보였다.

Table 6. Amount of digestible nutrients and estimated true nutrients digestibility and energy value of forage sources and concentrate mix based on National Research Council (NRC) equations.

Item	Oat hay	Annual ryegrass	Tall fescue	Barnyard millet	Concentrate mix
Digestible nutrients (% of dry matter)					
Non-fiber carbohydrate (tdNFC)	28.71	18.27	15.78	11.82	29.35
Crude protein (tdCP)	7.37	3.94	5.24	8.10	20.65
Fatty acid (tdFA)	0.61	0.31	0.00	0.65	4.38
Neutral detergent fiber (tdNDF)	31.44	36.29	38.76	35.46	17.52
Estimated true digestibility of nutrients (%of dry matter)					
Non-fiber carbohydrate (NFC)	98.00	98.00	98.00	98.00	98.00
Crude protein (CP)	90.95	89.55	91.86	94.23	97.88
Fatty acid (FA)	37.89	23.66	0.00	39.39	81.41
Neutral detergent fiber (NDF)	57.05	50.69	52.38	52.53	47.21
Energy value					
Total digestible nutrients (TDN)	61.89	51.47	52.01	48.97	70.37

tdCP 함량은 사료용 피에서 8.10%로 가장 높고, 연맥 7.37%, 톨페스큐 5.24%, 애뉴얼라이그라스 3.94%로 계산되었다. tdCP는 NRC 계산식 상 조사료와 배합사료 모두에서 조단백 함량과 비례하고, 조단백 중 ADICP의 비중이 높을수록 수치가 작아지는데 이는 ADICP가 단백질 소화에 부정적인 영향을 미침을 의미한다(Weiss, 1993). CP 소화율 추정치는 사료용 피가 94.23%, 톨페스큐가 91.86%, 연맥이 90.45%, 애뉴얼라이그라스가 89.55%이며 이는 시험조사료 CP fractions 분석치 중 반추위 이용성이 낮은 PC fraction이 애뉴얼라이그라스에서 가장 높은 것을 반영한다.

tdFA수치는 사료용 피와 연맥이 각각 0.65%와 0.61%, 애뉴얼라이그라스가 0.31%, 톨페스큐에서 0.00%로 계산되었다. 이는 조사료 특성 상 지방 함량이 적기 때문이며, 특히 톨페스큐의 EE함량이 0.94%로 NRC 계산식 상으로는 EE - 1이 tdFA로 계산되어 0%의 소화 가능한 FA수치로 처리되었다. 배합사료의 tdFA는 4.38%, FA 소화율은 81.41%로 추정되었다.

사료 내 tdNDF는 톨페스큐에서 38.76%로 가장 높게 측정되었으며, 연맥에서 31.44%로 가장 낮게 측정되었다. NDF 소화율은 연맥이 57.05%로 가장 높았으며, 톨페스큐와 사료용 피에서 각각 52.38%와 52.53%, 애뉴얼라이그라스에서 50.69%로 측정되었다.

In vivo 실험 결과와 NRC 예측치의 TDN 비교

In vivo 실험결과와 NRC 예측치의 TDN은 Fig. 2에 제시하였다. 사료용 피를 제외하고 연맥, 애뉴얼라이그라스, 톨페스큐에서 *In vivo* TDN 측정결과보다 NRC 예측치가 높게 측정되었다. 연맥에서 6.84%p로 가장 큰 차이가 나타났으며, 사료용 피 3.91%p, 톨페스큐 3.70%p, 애뉴얼라이그라스 3.55%p순으로 차이를 나타냈다. 전체 조사료 평균 4.5%p차이가 나타났다.

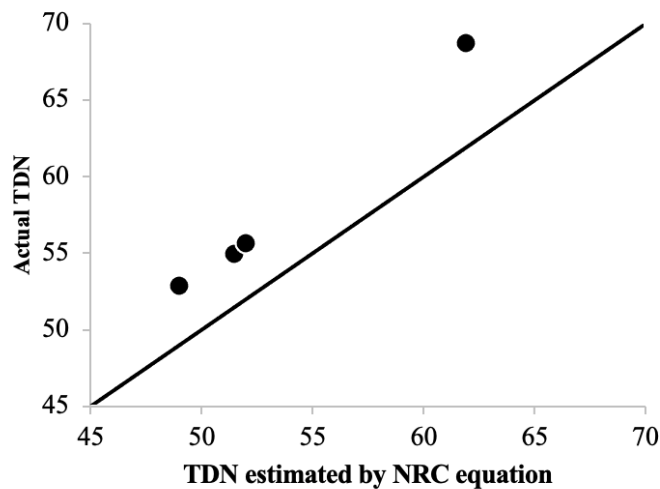


Fig. 2. Comparison of *in vivo* total digestible nutrients (TDN) results with estimated TDN by National Research Council (NRC) equation.

NRC를 이용한 TDN 예측 결과는 *in vivo*로 측정된 동물 간 변이를 포함하는 범위 내에 포함되는 결과를 나타냈다. 이 결과로 유추해 볼 때, 연맥, 애뉴얼라이그라스, 톨페스큐, 사료용 피의 경우에는 NRC 예측식을 통한 TDN 산출이 가능할 것으로 사료된다.

Conclusion

사료 에너지가의 정확한 측정은 동물의 에너지 섭취량 조절과 사료 가격 형성, 경제적인 농가 운영에 긍정적인 영향을 준다. 본 연구에서는 국내 연구 결과가 없는 연맥, 애뉴얼라이그라스, 톨페스큐, 사료용 피에 대한 에너지가를 *in vivo* 소화율 실험을 통해 측정하였다. 또한 사료 에너지가 예측을 위해 이용되는 대표적인 모델식인 미국 NRC의 에너지가 예측 식을 국내에 적용하는 것에 대한 적합성을 검증하기 위하여 *in vivo* 소화율 실험을 통한 실제 에너지가와 NRC 예측모델을 이용한 에너지가 예측치를 비교 분석하였다. 본 실험결과를 바탕으로, 연맥, 애뉴얼라이그라스, 톨페스큐, 사료용 피의 경우에는 NRC 예측식을 통한 TDN 산출이 가능할 것으로 사료된다. 본 연구 결과는 향후 국내 사료 영양 성분을 종합하여 제공하는 한국표준사료성분표의 개정 시 활용될 예정이다.

Conflict of Interests

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Acknowledgements

본 성과물은(논문) 농촌진흥청 연구사업(PJ014220012021)의 지원에 의해 수행되었습니다.

Authors Information

Seul Lee, <https://orcid.org/0000-0001-9667-8155>
Seoyoung Jeon, <https://orcid.org/0000-0002-8276-317X>
Seongwon Seo, <https://orcid.org/0000-0002-4131-0545>
Jungeun Kim, <https://orcid.org/0000-0002-7080-902X>
Pilnam Seong, <https://orcid.org/0000-0003-2915-1059>
Youl-Chang Baek, <https://orcid.org/0000-0003-4454-5339>

References

- Abrams S. 1988. Sources of error in predicting digestible dry matter from the acid-detergent fiber content of forages. *Animal Feed Science and Technology* 21:205-208.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2000. Official methods of analysis. AOAC, Gaithersburg, MD, USA.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2005. Official methods of analysis. AOAC, Gaithersburg, MD, USA.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2006. Official methods of analysis. AOAC, Gaithersburg, MD, USA.
- Baek YC. 2013. Estimation of the total digestible nutrients of spent mushroom substrate in Hanwoo feed. M.S. dissertation, Chungnam Univ., Daejeon, Korea. [in Korean]
- Besle JM, Cornu A, Jouany JP. 1994. Roles of structural phenylpropanoids in forage cell wall digestion. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 64:171-190.
- Chandler JA. 1980. Predicting methane fermentation biodegradability. M.S. dissertation, Cornell Univ., Ithaca, NY, USA.
- Choi B, Jang Y, Lee SH, Chung NJ, Cho JW. 2019. Comparison of forage yield and growth characteristic of two forage rice cultivars (cv. Mogyang and cv. Mogwoo) in a reclaimed rice field. *Korean Journal of Agricultural Science* 46:791-798. [in Korean]
- Church DC. 1988. The ruminant animal: Digestive physiology and nutrition. pp. 202-448. Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Conrad HR, Weiss WP, Odwongo WO, Shockey WL. 1984. Estimating net energy lactation from components of cell solubles and cell walls. *Journal of Dairy Science* 67:427-436.
- Ferraretto LF, Crump PM, Shaver RD. 2013. Effect of cereal grain type and corn grain harvesting and processing methods on intake, digestion, and milk production by dairy cows through a meta-analysis. *Journal of Dairy Science* 96:533-550.
- Heuzé V, Tran G, Boudon A, Lebas F. 2016. Oat forage. Feedipedia, a programme by INRAE, CIRAD, AFZ and FAO. Accessed in <https://www.feedipedia.org/node/500> Last updated on 13 April 2016.
- Heuzé V, Tran G, Nozière P. 2015. Rye forage. Feedipedia, a programme by INRAE, CIRAD, AFZ and FAO. Accessed in <https://www.feedipedia.org/node/385> Last updated on 5 October 2015.
- Ki KS, Park SB, Lim DH, Seo S. 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.
- Lee BH, Kim JH, Oh M, Lee KW, Choi KC, Cheon DW, Park HS. 2020. A study on the distribution of feed value and quality grade of imported hay. *Journal of the Korean Society of Grassland Science* 40:1-6. [in Korean]
- Lee HS, Lee ID. 2000. A comparative study in nutritive value of imported roughages. *Journal of the Korean Society of Grassland Science* 20:303-308. [in Korean]
- Mertens DR. 1973. Application of theoretical mathematical models to cell wall digestion and forage intake in ruminants. Ph.D. dissertation, Cornell Univ., Ithaca, NY, USA.
- NASEM (National Academies of Science, Engineering, and Medicine). 2016. Nutrient requirements of beef cattle, 8th Rev. ed. The National Academies, Washington, D.C., USA.

- National Forage Testing Association. 2002. Forage analysis test procedures. Accessed in http://www.foragetesting.org/lab_procedures/sectionB/2.2/part2.2.2.5.htm on 10 September 2021.
- NIAS (National Institute of Animal Science), RDA. 2012. Standard tables of feed composition in Korea. NIAS, Wanju, Korea. [in Korean]
- NIAS (National Institute of Animal Science), RDA. 2017a. Korean feeding standard for Hanwoo. NIAS, Wanju, Korea. [in Korean]
- NIAS (National Institute of Animal Science), RDA. 2017b. Standard tables of feed composition in Korea. NIAS, Wanju, Korea. [in Korean]
- NRC (National Research Council). 2001. Nutrient requirements of dairy cattle, 7th Rev. ed. The National Academies, Washington, D.C., USA.
- Ryu CH, Lee S, Kim B, Ji SY, Jung H, Lee HJ, Song JY, Baek YC. 2021. Comparison between predicted total digestible nutrients and actual total digestible nutrients using nutrient digestibility of rice straw and timothy in ruminants. *Korean Journal of Agricultural Science* 48:333-342. [in Korean]
- SAS Institute. 2014. SAS user`s guide: Statistics. SAS Institute, Cary, NC, USA.
- Seo S, Jeon SY, Ha JK. 2018. Guidelines for experimental design and statistical analyses in animal studies submitted for publication in the Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 31:1381-1386.
- Seo S, Lee SC, Lee S, Seo J, Ha JK. 2009. Degradation kinetics of carbohydrate fractions of ruminant feeds using automated gas production technique. *Asian-Australasian Journal of Animal Science* 22:356-364.
- Tedeschi LO, Fox DG, Pell AN, Lanna DPD, Bojn C. 2002. Development and evaluation of a tropical feed library for the Cornell Net Carbohydrate and Protein System Model. *Scientia Agricola* 59:1-18.
- Van Soest PJ. 1970. The chemical basis for the nutritive evaluation of forages. The National Conference on Forage Quality Evaluation, and Utilization, University of Nebraska, Lincoln, USA.
- Van Soest PJ. 1982. Nutritional ecology of the ruminant. p. 374. O & B Books, Inc., Corvallis, Oregon, USA.
- Van Soest PJ. 1994. Nutritional ecology of the ruminant (2nd Ed.). Cornell Univ. Press, Ithaca, NY, USA.
- Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74:3583-3597.
- Weiss WP. 1993. Predicting energy values of feeds. *Journal of Dairy Science* 76:1802-1811.
- Weiss WP, Conrad HR, St. Pierre NR. 1992. A theoretically-based model for predicting total digestible nutrient values of forages and concentrates. *Animal Feed Science and Technology* 39:95-110.
- Weiss WP, Tebbe AW. 2019. Estimating digestible energy values of feeds and diets and integrating those values into net energy systems. *Translational Animal Science* 3:953-961.
- Zebeli Q, Aschenbach JR, Tafaj M, Boguhn J, Ametaj BN, Drochner W. 2012. Invited review: Role of physically effective fiber and estimation of dietary fiber adequacy in high-producing dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 95:1041-1056.