

ANIMAL

Comparison between predicted total digestible nutrients and actual total digestible nutrients using nutrient digestibility of rice straw and timothy in ruminants

Chae Hwa Ryu¹, Seul Lee¹, Byeonghyeon Kim¹, Sang Yun Ji¹, Hyunjung Jung¹, Hyun-Jeong Lee², Jae-Yong Song³, Youl Chang Baek^{1*}

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

²Hanwoo Research Institute, National Institute of Animal Science, Rural Development Administration, Pyeongchang 25340, Korea

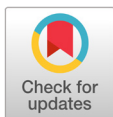
³Researcher, Institute of Livestock, Nonghyup Co., Ltd., Ansong 17558, Korea

*Corresponding author: chang4747@korea.kr

Abstract

This study attempted to compare total digestible nutrients (TDN) calculated as Rohweder, NRC, and Waldo and Peiqiang methods and TDN measured as digestibility of *in vivo* appearance. Rohweder method showed that the TDN of rice straw and timothy were 54.32% and 57.79%, respectively. In NRC method, the digestibility of neutral detergent fiber (NDF) and TDN of rice straw were 50.76% and 53.15%, respectively. When NRC method was applied in Timothy, the digestibility of NDF and TDN were 51.53% and 55.22%, respectively. Waldo and Peiqiang method calculated the results through the rumen *in situ* test. NDF digestibility of rice straw and timothy was 44.61% and 51.82%, which was different from the results of NRC method. In addition, TDN was predicted to be 48.85% for rice straw and 55.41% for timothy. In the *in vivo* apparent digestibility experiment, the digestibility of NDF and TDN in rice straw was 41.10% and 44.79%, respectively. In timothy, the digestibility of NDF and TDN were measured as 51.29% and 58.18%, respectively. As a result of a series of studies, rice straw was found in Rohweder and NRC methods showed higher TDN than other methods. In this study, there was a difference in rice straw by measurement method, but there was no difference in timothy. Therefore, when evaluating the value of feed in order to provide roughage to ruminant, calculation methods must be modified and supplemented. In addition, TDN should be considered to apply several evaluation methods instead of one method.

Key words: digestibility, rice straw, ruminant, timothy, total digestible nutrients



OPEN ACCESS

Citation: 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. <https://doi.org/10.7744/kjoas.20210025>

Received: March 16, 2021

Revised: May 03, 2021

Accepted: May 24, 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.

Introduction

조사료는 반추동물의 소화 생리상 반드시 급여해야 할 사료원이다(Ha et al., 2018). 반추동물에게 조사료는 영양소 공급원일 뿐만 아니라, 가축의 생리적 기능을 촉진시킨다(Cho et al., 2012). 또한, 조사료의 반추를 통해 생성되는 타액이 반추위의 산도를 조절하고 안정화에 영향을 미친다(Erdman et al., 1982; Oh et al., 2008). 따라서 반추동물에게 급여하는 조사료는 적절한 영양소 함량을 유지하고, 가축의 생리적 기능을 유지할 수 있는 사료로 선정하여야 한다. 그러나 여전히 국내 한우 농가에서는 주로 볏짚과 배합사료를 사용하고 있다(Lee et al., 2020).

반추동물에게 급여하는 조사료의 가치는 가소화영양소총량(total digestible nutrients, TDN)을 기반으로 평가하여 활용하고 있다. TDN은 사료의 영양소 중 탄수화물, 지방, 단백질 등의 함량과 그 소화율에 기초하여 사료내 에너지 함량을 계산하는 것을 말한다(Weiss, 1993). TDN을 분석하는 방법은 크게 2가지로 분류할 수 있는데, 가축을 직접 이용하는 *in situ* 및 *in vivo* 방법과 사료의 화학적 성분분석결과를 이용한 방법^c으로 나뉜다(Lundberg et al., 2004). *In vivo* 실험을 이용한 TDN 측정은 실험 동물의 외관상 소화율을 이용하여 해당 시료의 소화 가능한 영양소의 총합을 구하는 방법이다(Weiss, 1993). *In vivo* 실험 방법이 가축을 직접적으로 사용하여 정확하나, 실험에 대한 비용이 높고 측정 시간이 오래 걸린다. 또한, 현실적으로 측정할 수 있는 시료의 양에 한계가 있다는 단점을 가지고 있다. 이를 보완하기 위해 Rohweder et al. (1978)는 영양소 함량을 기반으로 TDN을 예측하는 방법을 제안했다. 사료 영양소 중 산성세제불용성섬유(acid detergent fiber, ADF)를 활용하였으며 조섬유 함량과 이용 가능한 에너지의 부(-)의 상관관계를 이용하여 회귀모델을 개발하였다. 그러나 이 방법은 단일 영양소를 이용하여 산출하기 때문에 오차가 높았으며(Abrams, 1988), 그 식을 만들 때 사용된 사료와 예측하려는 새로운 사료의 종류에 따라 차이를 나타내 이용에 한계가 있었다(Weiss, 1993). 기존에 제안된 TDN 예측 방법의 한계를 극복하기 위해서 NRC (2001)은 영양소 소화율의 이론적인 모델을 적용하여 TDN 예측하였다. 반추동물의 체내 대사를 반영한다는 점에서 좋은 평가를 얻었으나, 반추위 미생물에 대해 밝혀진 바가 적어 반추위 미생물이 분해하는 NDF (neutral detergent fiber) 소화율에서 동물을 직접적으로 이용한 실험과 차이가 있었다. Waldo and Peiqiang (2011)에 연구는 반추위 누관(cannula)이 장착된 반추 동물을 이용해 *in situ*를 진행하여 기존 연구의 소화율을 보완하였고 TDN을 예측하였다.

사료에서 TDN은 가격 형성에도 중요한 요인이며, 농가의 경제적 손익에도 영향을 미친다. 또한 사료 TDN 예측에서 오류가 발생한다면, 가축의 영양소 섭취량의 과부족을 일으킬 수 있어 정확하게 평가되어야 한다. 그러나 국내의 연구결과를 보면 앞서 언급한 *in vivo* 외관상 소화율 및 Rohweder et al. (1978), NRC (2001), Waldo and Peiqiang (2011) 연구에서 제시된 수식에 의해 산출된 TDN이 뚜렷한 기준없이 결과값을 비교하는데 사용되고 있다. 동물 실험을 통해 얻게 된 결과와 수식을 통해 산출한 결과는 차이가 있으나, 각 방법에 따라 어떠한 차이를 나타내는지에 대한 연구 결과는 거의 없는 실정이다. 효율적인 실험 및 결과 비교를 위해 방법 간의 차이를 확인한다면 기존 연구 및 앞으로 다양한 연구의 결과를 효율적으로 비교하고 해석할 수 있을 것으로 생각된다.

따라서 본 연구에서는 반추동물의 외관상 소화율을 통하여 산출된 TDN과 화학적 성분분석을 통해 추정된 TDN에서 어떠한 차이가 있는지 비교분석하고자 하였다.

Materials and Methods

실험 재료 및 화학적 성분분석

실험 재료는 2017년에서 전북지방에서 제조된 볏짚 사일리지(rice straw)와 티모시는 미국산 프리미엄 등급의 티모시 건초(timothy)를 활용하였다. 현재 축산농가에서 사용되는 볏짚과 티모시를 60°C에서 48시간 건조한 후 사용하였으며, 실험 사료의 화학적 성분은 Table 1과 같다. 모든 분석은 동일한 시료를 3반복하여 측정된 결과를 평균값으로 기재하였다.

Table 1. Chemical composition of experimental forage sources.

Items	Rice straw	Timothy
Dry matter (DM, %)	91.32	91.89
Crude protein (CP, %DM)	5.22	8.72
Ether extract (%DM)	1.85	2.07
Neutral detergent fiber (%DM)	69.94	65.49
Acid detergent fiber (%DM)	44.39	39.94
Non-fiber carbohydrate (%DM)	19.33	18.74
Acid detergent lignin (%DM)	6.57	6.18
Crude ash (%DM)	6.88	7.20
Neutral detergent insoluble CP (%DM)	3.22	2.22
Acid detergent insoluble CP (%DM)	1.38	0.90

시료는 cyclone mill (CT 193 Cyclotec Sample Mill, FOSS North America, MN, USA)을 이용하여 1 mm screen에 통과하도록 분쇄하여 분석을 실시하였다. 화학적 성분은 AOAC (2019)에 따라서 건물(dry matter, DM; #930.15) 및 회분(ash, #942.05), 리그닌(acid detergent lignin, ADL; #973.19) 분석을 실시하였다. 조지방(ether extract, EE)은 ANKOM XT15 지방 추출기(ANKOM Technology, Macedon, New York, USA)를 이용하여 정량 분석하였다(AOCS, 2009). 중성세제불용성섬유(NDF)와 ADF는 ANKOM²⁰⁰⁰ fiber analyzer (ANKOM Technology Corporation, Macedon, NY, USA)를 이용하여 분석하였고, 중성세제불용조단백질(neutral detergent insoluble crude protein, NDICP)과 산성세제불용조단백질(acid detergent insoluble crude protein, ADICP)은 Licitra et al. (1996)의 방법으로 측정하였다. 연소열가는 bomb calorimeter (Model 6400 calorimeter, Parr instrument, Molinex, IL, USA)로 측정하였으며, 비섬유소탄수화물(nonfiber carbohydrate, NFC)는 $100 - \{CP\% + EE\% - Ash\% - (NDF\% - NDICP\%)\}$ 의 수식으로 산출하였다(NRC, 2001).

반추동물 외관상 소화율을 통한 조사료의 TDN 측정

공시동물 사양관리

실험은 한우 거세우 6두(체중 634 ± 77.4 kg)를 이용하였고, 절식체중은 생체중을 기반으로 BCNRM(beef cattle nutrient requirements model 2016, Version 1.0.37.15., Texas, USA)에 의거하여 산출하였다. 한우사양표준(Korean feeding standard for Hanwoo, 2017) 기준으로 유지에너지 수준에 1일 2회(7:00시 및 16:00시)로 나누어 급여하였고, 물과 미네랄블록은 자유급여하였다.

실험설계

실험은 농촌진흥청 국립축산과학원 가축 대사실에서 진행되었으며, 공시 동물은 127 cm × 250 cm × 200 cm (가로 × 세로 × 높이) 크기의 대사실에서 개별 사육하였다. 실험 설계는 two 3 × 3 balanced latin square design을 사용하였다. 조사료원 2종은 완전혼합사료(total mixed ration, TMR)로 제작하였으며, TMR 제조시 별도의 첨가제는 사용하지 않았다(Table 2). 시험구는 기본 TMR (basic TMR)을 급여한 대조구, 기본 TMR에 볏짚을 혼합한 시험구 및 기본 TMR에 티모시를 혼합한 시험구로 구성하였다. 조사료 혼합 후 각 TMR의 성분은 조단백질 14%이상, NDF가 45%이하가 되도록 설계하였다.

Table 2. Chemical composition of experimental total mixed ration (TMR).

Items	Basic TMR	Rice straw TMR	Timothy TMR
Dry matter (DM, %)	71.25	72.99	74.34
Crude protein (CP, %DM)	17.61	14.56	14.87
Ether extract (%DM)	3.15	2.78	2.60
Neutral detergent fiber (%DM)	42.13	40.58	43.73
Acid detergent fiber (%DM)	21.96	22.08	23.35
Non-fiber carbohydrate (%DM)	33.02	38.16	34.99
Crude ash (%DM)	9.16	8.30	8.26
Neutral detergent insoluble CP (%DM)	5.08	4.38	4.44
Acid detergent insoluble CP (%DM)	1.46	1.56	1.45

공시 동물은 사료 및 대사를 적응기간을 10일 적용한 후 4일 동안 전분을 채취하여 외관상 소화율 분석 및 TDN 예측에 사용하였다(Table 3 and Table 4). 실험 결과는 간접측정방법 중 하나인 by difference 소화율 측정법을 이용하여 산출했으며, 아래 수식을 통해 조사료의 소화율 및 TDN을 측정하였다(Church, 1988).

Table 3. *In vivo* apparent fecal nutrients digestibility and energy value of experimental total mixed ration (TMR).

Items	Basic TMR	Rice straw TMR	Timothy TMR
Digestibility of nutrients			
Dry matter (DM, %)	73.55	70.20	69.26
Crude protein (%DM)	74.29	70.79	69.54
Ether extract (%DM)	81.30	78.98	75.08
Neutral detergent fiber (%DM)	47.81	50.31	48.26
Non-fiber carbohydrate (%DM)	96.38	95.40	95.52
Energy value			
Digestible energy (Mcal · kg ⁻¹)	3.22	3.07	3.03
Total digestible nutrients (%)	77.95	74.04	73.08

Table 4. Amount of digestible nutrients of forage source using by difference method.

Items	Rice straw	Timothy
Digestibility of nutrients		
Crude protein (%DM)	43.52	55.11
Ether extract (%DM)	59.36	55.75
Neutral detergent fiber (%DM)	41.10	51.29
Non-fiber carbohydrate (%DM)	86.13	93.09
Energy value		
Digestible energy (Mcal · kg ⁻¹)	1.59	2.45
Total digestible nutrients (%)	44.79	58.18

DM, dry matter.

$$\text{Digestibility of nutrient in test feed stuff (\%)} = \{(A - B) \cdot C\} / D \quad (1)$$

A = Digestibility of nutrient in total diet

B = Digestibility of nutrient in basal feed

C = Proportion of total nutrient in diet supplied by basal feed

D = Proportion of total nutrient in diet supplied by test feed

$$\text{TDN (\%)} = \text{가소화CP (\%)} + (\text{가소화EE (\%)} \times 2.25) + \text{가소화NFC (\%)} + \text{가소화NDF (\%)} \quad (2)$$

영양소 별 소화율은 DM, CP, NFC, NDF 및 EE 소화율을 측정하였으며, 영양소별 소화율을 근거로 공식에 따라 TDN을 산출하였다. 본 연구는 국립축산과학원 동물실험윤리위원회의 승인 하에 수행되었다(승인번호 NIAS 2019-357).

다양한 방법을 이용한 TDN 예측

Rohweder et al. (1978)을 이용한 TDN 예측

Rohweder et al. (1978)의 연구에서는 ADF 함량을 활용한 아래의 수식을 통해 TDN을 예측하였다.

$$\text{TDN (\%)} = 88.9 - 0.779 \times \text{ADF} \quad (3)$$

NRC (2001)을 이용한 TDN 예측

NRC (2001)의 공식에 따라 영양소 소화율 및 TDN을 산출하였으며, 그 공식은 다음과 같다. 아래의 식에서 각 성분 함량은 건물을 기준으로 한다. 진정 가소화 비섬유성 탄수화물(truly digestible nonfiber carbohydrate, tdNFC)을 구하는 가공 보정 계수(processing adjustment factor)는 기본값인 1.00을 적용하였다.

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

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

$$\text{Truly digestible FA (tdFA, \%DM)} = \text{EE} - 1$$

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

$$\text{TDN}_{1x} (\%) = \text{tdNFC} + \text{tdCP} + (\text{tdFA} \times 2.25) + \text{tdNDF} - 7 \quad (4)$$

Waldo and Peiqiang (2011)을 이용한 TDN 예측

Waldo and Peiqiang (2011)의 산출방법에서는 반추위 누관이 장착된 한우 거세우 2두(체중 330 ± 21.0 kg)를 이용하여 반추위 *in situ* 실험을 진행하였다(Ørskov and McDonald, 1979). 실험은 2 mm 이하 입자의 사료를 dacron cloth nylon bag (pore size 50 μm , 가로 10 cm \times 세로 20 cm)을 5 g씩 넣은 후 반추위에서 48시간동안 배양하였다. 배양 후 bag을 꺼내어 흐르는 물에 30분간 세척한 후 60°C에서 48시간이상 건조하여 NDF를 분석하고 소화율을 산출하였다. 산출된 NDF 소화율을 NRC (2001) 공식에 적용하여 TDN을 산출하였다(Waldo and Peiqiang, 2011).

$$\text{In situ tdNDF (\%DM)} = \text{NDFn} \times \text{ISNDFnD (in situ coefficient of digestibility of NDF)} \quad (5)$$

통계분석

연구의 통계 분석은 SPSS 프로그램(Version 26, IBM, NewYork, USA)을 이용하여 분산분석을 실시하였고, 5%의 유의수준에서 유의성을 검정하였다. 각 평균간 유의성 검정은 Duncan의 다중검정법(multiple range test)을 이용하여 분석하였다.

Results and Discussions

반추동물 외관상 소화율을 통한 조사료의 TDN 측정

볏짚과 티모시의 성분 분석은 Table 1에서 보는 것과 같으며, 실험에 사용된 TMR 성분은 Table 2에 나타내었다. TMR은 조단백질 함량이 14.56 - 17.61%로 다소 차이를 보였으나 이는 조사료 함량에 따라 차이가 나타난 것으로 보인다. 조지방 함량에서도 2.60 - 3.15% 범위 내에 속하였으며, NDF는 전 시험구에서 45%이하로 나타나 농가에서 사용하고 있는 반추동물의 사료와 유사한 조건을 형성하였다.

TMR의 가축의 영양소 소화율을 측정하고 TDN을 산출하였다(Table 3). 조단백질 및 조지방은 69.54 - 74.29%, 75.08 - 81.30%로 높은 소화율을 나타낸 반면, NDF에서는 48.26 - 50.31%로 소화율이 낮게 나타났다. 또한 TDN은 73.08 - 77.95%로 나타났는데 TMR은 농후사료의 사료가치를 포함하여 평가되었다.

본 연구에서는 by difference 방법을 이용하여 실험 조사료의 영양소별 외관상 소화율을 산출하였다(Table 4). 볏짚과 티모시의 외관상 조단백질 소화율은 각각 43.52, 55.11%로 측정되었다. 외관상 조지방의 소화율은 볏짚에서 59.36%, 티모시에서 55.75%로 조지방 함량이 높았던 볏짚에서 소화율 또한 높게 측정되었다. 외관상 NDF의 소화율은 각각 41.10, 51.29%로 측정되었으며, 리그닌 함량이 높았던 볏짚에서 낮은 소화율을 보였다. 외관상 NFC의 소화율은 볏짚과 티모시에서 각각 86.13, 93.09%로 측정되었다. 이는 Goering and Van Soest (1970)가 제시한 98%보다는 낮은 수치이나, 수식을 통해 산출한 결과와 실제 소화율은 다소 차이가 있을 수 있다. *In vivo* 실험 결과, 외관상 영양소 소화율을 통해서 측정된 TDN은 볏짚에서 44.79%, 티모시에서 58.18%로 나타났다.

다양한 방법을 이용한 TDN 예측

TDN 예측은 Rohweder et al. (1978), NRC (2001) 및 Waldo and Peiqiang (2011)의 수식을 각각 적용하여 계산하였다(Table 5).

Rohweder et al. (1978)의 TDN 산출 수식은 ADF를 활용하였으며, 볏짚과 티모시의 TDN은 각각 54.32, 57.79%로 나타나 티모시가 볏짚보다 가소화영양소가 많을 것으로 생각되었다. Hayashi et al. (2007) 및 Promma et al. (1994)의 연구에 의하면 볏짚의 TDN을 44.0 - 49.5%이라고 알려져 있어 본 연구의 결과가 기존의 연구보다 높은 수치를 보였다. 또한, 티모시의 TDN은 52.5 - 63.3%로 나타나 본 연구의 결과는 선행연구와 유사한 수준을 보였다(Huffman et al., 1952; Vega et al., 2004; Takahashi et al., 2008). Rohweder et al. (1978)의 방법을 활용한 TDN은 사료가치 평가 시 널리 사용되고 있는 방법이나 조사료에 주로 적용한다는 특이점이 있다(Lee et al., 2005). 또한, 조단백질 및 조지방 등이 가축의 성장에 직접적 영향을 미치고 사료가격을 결정하는 요소들은 고려되지 않아 실제 가축이 소화 및 이용하는 영양소를 산출하고 사료제조용 배합비를 설계하는 등의 분야에는 어려움이 있다.

Table 5. Amount of digestible nutrients of experimental forage sources using different methods.

Items	Rice straw	Timothy
Rohweder et al. (1978)		
Total digestible nutrients (%)	54.32	57.79
NRC (2001)		
Estimated true digestibility of nutrients (%DM)		
Crude protein (tdCP)	72.80	88.25
Fatty acid (tdFA)	41.25	50.57
Neutral detergent fiber (tdNDF)	50.76	51.53
Non-fiber carbohydrate (tdNFC)	98.00	98.00
Energy value		
Digestible energy (Mcal · kg ⁻¹)	2.28	2.42
Total digestible nutrients (%)	53.15	55.22
Waldo and Peiqiang (2011)		
<i>In situ</i> DM digestibility (%)	49.82	60.79
<i>In situ</i> neutral detergent fiber (tdNDF, %DM)	44.61	51.82
Digestible energy (Mcal · kg ⁻¹)	2.31	2.40
Total digestible nutrients (%)	48.85	55.41

DM, dry matter.

NRC (2001)을 적용하여 가축의 영양소 소화율, 소화에너지 및 TDN을 산출하였다. NRC (2001)을 이용한 TDN 산출은 조단백질, 조지방, NDF 및 NFC 등 여러 가지 영양소의 가축 체내 소화 및 흡수를 고려하였다는 점에서 Rohweder et al. (1978)의 방법과 차이를 보인다. NRC (2001)을 이용한 TDN에서는 볏짚과 티모시 각각 53.15, 55.22%로 나타났다. NRC (2001)의 NDF 소화율 모델은 리그닌을 포함하여 계산하지만 리그닌 함량이 소화율에 영향을 미치지 않는다는 연구결과가 있었다(Raffrenato et al., 2017). 또한, Robinson et al. (2004)는 *in vitro* 및 *in situ* NDF 소화율 측정방법이 모델을 통해 예측하는 것보다 실제 소화율과 유사할 것이라고 언급한 바 있다. NDF 소화율은 대부분 반추위에서 미생물에 의해 분해가 되기 때문에 NRC (2001)에서도 NRC 소화율 모델과 *in vitro* 및 *in situ* NDF 소화율 모델을 같이 사용할 수 있도록 제시하였다.

본 연구에서도 Waldo and Peiqiang (2011)의 방법에서 NDF 소화율을 차용해 NRC (2001) 모델에 대입하여 새로운 TDN을 산출하였다. 반추위 *in situ* 실험을 통해 48시간 동안 반추위 발효를 진행한 결과, 볏짚과 티모시의 건물 소화율은 각각 49.82, 60.79%로 나타났고 NDF 소화율은 44.61, 51.82%로 나타났다. NRC (2001)의 방법에서는 볏짚과 티모시의 NDF 소화율이 50.76, 51.53%로 나타나 산출 수식과 반추위 *in situ* 실험과 차이를 보였다. Waldo and Peiqiang (2011)의 방법을 적용한 TDN은 볏짚에서 48.85%, 티모시에서 55.41%로 나타나 이전 방법의 결과와는 차이가 있었다. 반추위에서 섬유소 소화는 반추위 미생물에 의해 많은 영향을 받는데 비해(Kim and Lee, 2003), 대부분 혐기 미생물로 이루어져 있어 반추위 미생물에 대한 정보가 부족하다. 현재까지 대부분의 모델은 알려진 수준의 반추위 미생물과 표면적으로 보여지는 반추위 영양소 소화를 기반으로 소화율을 예측하여, 동물을 이용한 *in situ* 실험을 혼합 적용한 결과와 차이가 있는 것으로 생각된다.

다양한 방법을 이용해 조사료의 TDN을 산출한 일련의 연구결과를 Table 6에서 비교하였다. 볏짚은 *in vivo* 외관상 소화율에서 측정된 TDN이 유의적으로 가장 낮은 결과를 보였고, Rohweder et al. (1978)과 NRC (2001)에서 높은 TDN을 나타냈다. Waldo and Peiqiang (2011)의 방법은 *in vivo* 외관상 소화율 결과와 가장 유사한 값을 나타냈으나, 유의적 차이가 있었다. 이는 조단백질 소화율이 차이에서 기인된 것으로 생각되며, 사료내 단백질의 소화는 반추위 미생물과 연관이 있어 추가적인 연구 및 보완이 필요할 것으로 생각된다. 티모시는 *in vivo* 외관상 소화율 및 Rohweder et al. (1978), NRC (2001), Waldo and Peiqiang (2011)의 모든 방법에서 유의적 차이가 없었다. 결과적으로 볏짚은 연구방법에 따른 차이가 나타나나, 티모시에서는 차이가 없었다.

Table 6. Comparison of total digestible nutrients according to different methods.

Items	Total digestible nutrients (%)				SEM	p-value
	<i>In vivo</i>	Rohweder et al (1978).	NRC (2001)	Waldo and Peiqiang (2011)		
Rice straw	44.79a	54.32c	53.15c	48.85b	1.24	<0.05
Timothy	58.18	57.79	55.22	55.41	1.18	0.771

SEM, standard error of mean.

a - c: Different superscripts in same row means significantly different ($p < 0.05$).

Conclusion

정밀 사양이 중요하게 얘기되는 최근 연구에서 사료의 가치를 평가하고 이를 필요한 수준으로 배합하여 사료를 제조하는 것은 매우 중요하다. 본 연구에서는 사료 가치를 평가하는 방법에 따라 어느 정도 차이가 나타나는지 확인하고 이를 고려하여 가축사료 배합에 사용할 수 있도록 하기 위하여, 연구 방법에 따른 차이를 확인하는데 목적을 두었다. 연구 방법에 따른 TDN 측정 및 예측값을 비교한 결과, 볏짚은 유의적 차이가 있었으나 티모시에서는 유의적 차이가 없는 결과가 나타났다. 반추동물은 반추위 내 미생물이 사료 영양소의 일부를 소화흡수 하나, 이를 고려하는 정도에 따라 NDF 소화율이 다르게 나타나고 TDN 예측에도 영향을 미쳤다. 따라서, 조사료를 가축에게 급여하기 위해서 사료의 TDN을 평가하고자 할 때는, 하나의 연구 방법만을 적용하지 않고 여러 가지로 평가하여 적용하는 방법을 고려해야 한다. 본 연구에서는 TDN 예측 방법에 따른 차이가 있음을 확인하여 사료가치평가 방법에 대한 기초자료로서 의미가 있다고 판단되나, 다양한 초종을 이용한 추후 연구가 필요할 것으로 생각된다.

Conflict of Interests

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

Acknowledgements

본 성과물은(논문) 농촌진흥청 연구사업(세부과제명: 국내산 동계 조사료의 *in vivo* 소화율 측정 및 추정 모델 검증, 세부과제번호: PJ013107012018)의 지원 및 2021년도 농촌진흥청 국립축산과학원 전문연구원 과정 지원사업에 의해 이루어진 것입니다.

Authors Information

Chae Hwa Ryu, <https://orcid.org/0000-0002-7753-0929>
Seul Lee, <https://orcid.org/0000-0001-9667-8155>
Byeonghyeon Kim, <https://orcid.org/0000-0003-4651-6857>
Sang Yun Ji, <https://orcid.org/0000-0001-7235-3655>
Hyunjung Jung, <https://orcid.org/0000-0002-7004-2017>
Hyun-Jeong Lee, <https://orcid.org/0000-0002-2312-9048>
Jae-Yong Song, <https://orcid.org/0000-0002-8613-5605>
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 Agriculture Chemists). 2019. Official methods of analysis. 21st ed. AOAC International, Maryland, USA.
- AOCS (American Oil Chemists' Society). 2009. Official methods and recommended practices of the American oil chemists' society, 6th edition. AOCS, Champaign, Illinois, USA.
- Cho SB, Lee SM, Kim EJ. 2012. Effect of different forages on growth performance, meat production and meat quality of Hanwoo steers: Meta-analysis. *Journal of The Korean Society of Grassland and Forage Science* 32:175-184. [in Korean]
- Church DC. 1988. The ruminant animal: Digestive physiology and nutrition. pp. 202-448. Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Erdman R, Hemken R, Bull L. 1982. Dietary sodium bicarbonate and magnesium oxide for early postpartum lactating dairy cows: Effects of production, acid-based metabolism, and digestion. *Journal of Dairy Science* 65:712-731.
- Goering HK, Van Soest PJ. 1970. Forage fiber analyses: Apparatus, reagents, procedures, and some applications. Agricultural Research Service, US Department of Agriculture, Washington, D.C., USA.
- Ha JJ, Kim BK, Jung DJ, Yi JK, Kim DH, Lee JY, Oh DY. 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* 29:621-632. [in Korean]
- Hayashi Y, Devkota NR, Kumagai H. 2007. Effects of field pea (*Pisum sativum* L.) hay feeding on dry matter intake and milk production of Murrah buffaloes (*Bubalus bubalis*) fed rice straw ad libitum. *Animal Science Journal* 78:151-158.
- Huffman C, Dexter S, Duncan C. 1952. Unidentified dietary factors in dairy cattle nutrition. III. The nutritive value of immature alfalfa and timothy hays for milk production. *Journal of Dairy Science* 35:1001-1009.
- Kim C, Lee S. 2003. Isolation and characterization of cellulolytic anaerobic fungi from the guts of the Hanwoo cattle and the Korean native goat. *Journal of Animal Science and Technology* 45:1019-1030. [in Korean]
- Korean feeding standard for Hanwoo. 2017. Nutrient requirement of Hanwoo. National Institute of Animal Science, RDA, Jeonju, Korea. [in Korean]
- Lee HS, Lee SD, Lee S, Sun S, Kim M, Choi H, Lee Y, Baek YC. 2020. Comparative evaluation of nutritional values in different forage sources using *in vitro* and *in vivo* rumen fermentation in Hanwoo cattle. *Korean Journal of Agricultural Science* 47:941-949.
- Lee JH, Jeong O, Paek J, Hong H, Yang S, Lee Y, Kim J, Sung K, Kim B. 2005. Analysis of dry matter yield and feed value for selecting of whole crop rice. *Journal of Animal Science and Technology* 47:355-362. [in Korean]

- Licitra G, Hernandez TM, Van Soest PJ. 1996. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology* 57:347-358.
- Lundberg K, Hoffman P, Bauman L, Berzaghi P. 2004. Prediction of forage energy content by near infrared reflectance spectroscopy and summative equations. *The Professional Animal Scientist* 20:262-269.
- NRC (National Research Council). 2001. Nutrient requirement of dairy cattle. 7th revised edition. National Academy Press, Washington, D.C., USA.
- Oh YK, Joeng CS, Kim DH, Seol YJ, Lee SC, Lee HJ, Lee SS, Kim KH. 2008. Effects of sodium bicarbonate and vitamin supplementation on milk production and composition in lactating Holstein cows under heat stress condition. *Journal of Animal Science and Technology* 50:705-712. [in Korean]
- Ørskov ER, McDonald I. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *The Journal of Agricultural Science* 92:499-503.
- Promma S, Tasaki I, Cheva-Isarakul B, Indratula T. 1994. Effect of feeding neutralized urea-treated rice straw on milk production of crossbred Holstein cows. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 7:493-498.
- Raffrenato E, Fievisohn R, Cotanch KW, Grant RJ, Chase LE, Van Amburgh ME. 2017. Effect of lignin linkages with other plant cell wall components on *in vitro* and *in vivo* neutral detergent fiber digestibility and rate of digestion of grass forages. *Journal of Dairy Science* 100:8119-8131.
- Robinson PH, Givens DI, Getachew G. 2004. Evaluation of NRC, UC Davis and ADAS approaches to estimate the metabolizable energy values of feeds at maintenance energy intake from equations utilizing chemical assays and *in vitro* determinations. *Animal Feed Science and Technology* 114:75-90.
- Rohweder D, Barnes R, Jorgensen N. 1978. Proposed hay grading standards based on laboratory analyses for evaluating quality. *Journal of Animal Science* 47:747-759.
- Takahashi T, Kobayashi Y, Hasegawa S, Touno E, Otani Y, Haga S, Itoh F, Katoh K, Obara Y. 2008. Different responses in postprandial plasma ghrelin and GH levels induced by concentrate or timothy hay feeding in weathers. *Domestic Animal Endocrinology* 34:432-439.
- Vega R, Hidari H, Kuwayama H, Suzuki M, Manalo D. 2004. The relationships of plasma leptin, backfat thickness and TDN intake across finishing stage of Holstein steers. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 17:330-336.
- Waldo GN, Peiqiang Y. 2011. Using the NRC chemical summary and biological approaches to predict energy values of new co-product from bio-ethanol production for dairy cows. *Animal Feed Science and Technology* 170:165-170.
- Weiss W. 1993. Predicting energy values of feeds. *Journal of Dairy Science* 76:1802-1811.