

유지에너지 이상의 사료공급이 거세 한우의 영양소 소화율 및 에너지가에 미치는 영향*

류채화*** · 이성대*** · 이슬*** · 백열창**

Effects of Feeding Levels Above Maintenance Energy on Nutrients Digestibility and Energy Value in Hanwoo Steers

Ryu, Chae-Hwa · Lee, Sung-Dae · Lee, Seul · Baek, Youl-Chang

Supplying an appropriate amount of feed is an economical and environmentally friendly by increasing the nutrient digestibility of livestock and reducing nutrients released from overfeeding. Therefore, this study was conducted to determine the nutrient digestibility according to dietary feeding levels of Hanwoo steers. Three treatments in feeding trial were used feeding amount based on the maintenance energy level of the Korean feeding standard for Hanwoo (2022): 100% (control, CON), 140% (treatment 1, TRT1), and 190% (treatment 2, TRT2). The experiment was designed in replicate 3×3 balanced Latin square designs using six Hanwoo steers. In this study, energy value was predicted according to treatment groups. In addition, nutrient digestibility and energy value were measured through a feeding trial to Hanwoo steers. All energy values, including total digestible nutrients and digestible energy, were predicted to decrease linearly with increasing feeding levels. TRT2 showed lower digestibility than CON for dry matter, crude protein, non-fiber carbohydrates, and total digestible nutrients in the feeding trial ($p<0.05$). However, there was no significant difference between CON and TRT1. Total digestible nutrients (TDN) and digestibility of feed are set based on the maintenance energy. However nutrient digestibility and TDN decreased when feeding level increased by more than 190% compared to maintenance energy in this study. Therefore, it is necessary to correct the TDN by considering the feeding level when mixing the feed.

Key words : *energy value, feeding levels, hanwoo steers, maintenance energy, nutrients digestibility*

* 본 논문은 농촌진흥청 연구사업(PJ01691101) 및 2023년도 농촌진흥청 국립축산과학원 전문연구원 지원사업에 의해 이루어진 것임.

** Corresponding author, 국립축산과학원 동물영양생리과 농업연구사(chang4747@korea.kr)

*** 국립축산과학원 동물영양생리과

I. 서 론

가축이 섭취한 영양소는 생산활동과 기본적인 생명유지를 위해 사용한다(Kim et al., 2004). 그중에서 체중의 증감없이 체온조절, 호흡, 혈액순환, 호르몬 분비 및 근육운동 등의 생명 현상만을 유지하기 위해 반드시 필요로 하는 영양소를 유지에너지라 한다(Kim et al., 2004). 영양소가 부족하게 되면 생명유지를 위해 체조직을 분해하여 사용하게 되는데, 조직의 분해가 일어나지 않도록 요구되는 최소 에너지를 유지에너지 요구량이라고 한다(Lee et al., 2003). 하지만 유지에너지요구량은 체유지만을 위한 에너지이므로 체성장 및 생산성 증진에는 더 많은 에너지가 필요하다.

비육기는 유지에너지뿐만 아니라 생산을 위한 에너지가 요구되기 때문에 유지에너지 요구량보다 많은 에너지가 요구된다(Seol et al., 2011). 에너지 공급량을 증가시키기 위해 고 열량의 사료를 급여하면 반추위 산독증과 같은 대사성 질병에 노출되기 쉽고(Cooper et al., 1999), 대사성 질병은 생산성에 부정적 영향을 미칠 수 있다. 대사성 질병을 피하고 에너지 공급을 증가시키는 방법으로 사료 공급량을 조절할 수 있다(Stock et al., 1995). 이 경우는 사료공급 수준에 따라 사료효율이나 영양소 소화율이 저하될 수 있으므로 무분별한 사료 급여량 증가는 영양소 낭비이자 소화되지 않고 배출되는 질소를 늘려 환경오염의 원인이 될 수 있다(Stock et al., 1995; Oh et al., 2007).

가축에게 공급되는 가소화영양소총량(total digestible nutrient, TDN)을 정확히 계산하기 위해서는 사료섭취량에 대한 보정이 필요하다. 축산선진국인 미국, 프랑스 및 네덜란드에서는 유지에너지 수준 섭취량에서 측정된 소화율을 기반으로 원료사료의 에너지를 설정하여 제시하고 있다(NRC, 2001; Sauvant and Noziere, 2016; NASEM, 2021, Spek and Van Wesemael, 2022). 국외의 경우 각각의 사료가치평가 시스템에서 섭취량에 따른 소화율 감소분에 대한 모델을 달리 설정하고 있으나, 국내에서는 소화율 감소분에 대한 연구가 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 유지에너지 수준 이상의 사료 공급에 따른 한우 거세우의 영양소 소화율과 에너지를 구명하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 공시재료 및 일반 성분 분석

실험에 사용된 공시재료는 2022년 전북에서 생산된 목건초와 국립축산과학원 시험사료 제조동에서 제조된 배합사료를 사용하였다. 목건초는 툴페스큐 45%, 오차드그라스 45% 및

켄터키블루그라스 10%를 혼파한 후 수확하여 사용하였다. 배합사료는 옥수수 후레이크 54%, 단백질 5%, 대두박 9%, 소맥 7%, 소맥피 4%, 팜박 7%, 대두피 7%, 루핀 후레이크 7% 및 석회석, 소금, 중조 등을 포함하여 제조되었다. 시료는 60°C에서 48시간 건조하여 건물 함량을 측정하였다. 건조 후 분쇄기를 이용하여 1 mm 망에 통과 가능한 크기로 분쇄하여 일반 성분 분석에 이용하였다. 시료의 조단백질(crude protein, CP), 조지방(ether extract, EE) 및 조회분(ash)은 Horwitz와 Latimer (2005)의 방법에 따라 분석하였다. 중성세제불용성섬유(neutral detergent fiber, NDF)와 산성세제불용성섬유(acid detergent fiber, ADF)는 ANKOM²⁰⁰⁰ fiber analyzer (ANKOM Technology Corporation, Macedon NY, U.S.A.)를 이용하여 분석하였다(Van Soest et al., 1991). 중성세제불용조단백질(neutral detergent insoluble crude protein, NDICP)과 산성세제불용조단백질(acid detergent insoluble crude protein, ADICP)은 Licitra 등 (1996)의 방법으로 측정하였다. 비섬유성 탄수화물(non-fiber carbohydrates, NFC)은 100-(CP% + EE% - Ash% - NDF% + NDICP%)의 수식으로 산출하였다(NRC, 2001). 모든 일반성분 분석 결과는 건물(%원물)을 제외하고 건물 대비 기준으로 환산하였다. 시료의 일반성분분석은 Table 1과 같다.

Table 1. Chemical composition of experimental diets

Items	Forage	Concentrate	Experimental diet
Dry matter (DM), %	91.67	88.24	88.93
Crude protein, %DM	8.76	16.61	15.04
Ether extract, %DM	1.48	3.29	2.93
Non-fiber carbohydrate, %DM	15.59	52.89	48.24
Neutral detergent fiber, %DM	67.34	18.98	28.65
Acid detergent fiber, %DM	40.27	7.10	13.73
Crude ash, %DM	6.83	8.23	7.95

2. 영양소 소화율 및 에너지가 예측

시료의 영양소 소화율 및 에너지가는 NRC (2001)에서 제시한 수식에 따라 예측하였으며, 그 수식은 다음과 같다. 영양소 소화율 예측은 사료의 영양성분을 고려하지만 공급량은 고려하지 않기 때문에 해당 연구의 기초자료로 사용되었다(Table 2, 식 (1)~(6)).

$$\text{Truly digestible crude protein (tdCP)} = \text{CP} \times \exp[-1.2 \times (\text{ADICP}/\text{CP})] \quad (1)$$

$$\text{Truly digestible ether extract (tdEE)} = \text{EE} - 1 \quad (2)$$

$$\text{Truly digestible neutral detergent fiber (tdNDF)} = 0.75 \times [(\text{NDF} - \text{NDICP}) - \text{ADL}] \times \{1 - [\text{ADL}/(\text{NDF} - \text{NDICP})]^{0.667}\} \quad (3)$$

$$\text{Truly digestible non-fiber carbohydrates (tdNFC)} = 0.98 \times \{100 - [(\text{NDF} - \text{NDICP}) + \text{CP} + \text{EE} + \text{Ash}]\} \times \text{PAF} \quad (4)$$

$$\text{Digestible energy}_{1X} (\text{DE}_{1X}, \text{Mcal/kg}) = (\text{tdNDF}/100) \times 4.2 + (\text{tdNDF}/100) \times 4.2 + (\text{tdCP}/100) \times 5.6 + (\text{tdEE}/100) \times 9.4 \quad (5)$$

$$\text{Total digestible nutrients}_{1X} (\text{TDN}_{1X}, \%) = \text{tdNFC} + \text{tdCP} + (\text{tdEE} \times 2.25) + \text{tdNDF} - 7 \quad (6)$$

$$\text{Discount} = \text{TDN}_{1X} > 60, \text{TDN}_{1X} - (0.18 \times \text{TDN}_{1X} - 10.3) \times \text{Intake}/\text{TDN}_{1X} \quad (7)$$

$$\text{Discount total digestible nutrients (DTDN, \%)} = \text{TDN}_{1X} \times \text{Discount} \quad (8)$$

$$\text{Discount digestible energy (DDE, Mcal/kg)} = \text{DE}_{1X} \times \text{Discount} \quad (9)$$

$$\text{Discount metabolizable energy (DME, Mcal/kg)} = 1.01 \times \text{DDE} - 0.45 \quad (10)$$

$$\text{Discount net energy for maintenance (Mcal/kg)} = 1.37 \times \text{DME} - 0.138 \times \text{DME}^2 + 0.0105 \times \text{DME}^3 - 1.12 \quad (11)$$

진정가소화비섬유소탄수화물(truly digestible nonfiber carbohydrate, tdNFC)을 구하는 가공 보정계수(processing adjustment factor, PAF)는 기본값인 1.00을 적용하였다.

Table 2. Amount of digestible nutrients and estimated true nutrients digestibility and energy value of experimental diets based on NRC (2001) equations

Items	Forage	Concentrate	Experimental diet
Estimated true digestibility of nutrients, %DM			
Crude protein (tdCP)	78.79	98.27	96.00
Ether extract (tdEE)	32.43	69.60	65.85
Neutral detergent fiber (tdNDF)	49.46	64.88	57.64
Non-fiber carbohydrate (tdNFC)	98.00	98.00	98.00
Digestible nutrients, %DM			
Crude protein (tdCP)	6.90	16.32	14.44
Ether extract (tdEE)	0.48	2.29	1.93
Neutral detergent fiber (tdNDF)	33.31	12.32	16.51
Non-fiber carbohydrate (tdNFC)	19.02	54.34	47.28
Energy value			
Digestible energy _{1X} , Mcal/kg	2.33	3.63	3.37
Total digestible nutrients _{1X} , %	53.31	81.13	75.57

3. 공시 동물 사양 관리 및 영양소 소화율 분석

본 연구는 한우 거세우 6두(14개월령, 평균체중 370.42±19.99 kg)를 공시하여 replicate 3×3 balanced Latin square designs으로 실험을 실시하였다. 실험은 National Institute of Animal Science (2022)에서 제시한 유지에너지 요구량을 기반으로 유지에너지 수준 이상의 사료 공급에 따라 100% (대조구, CON), 140% (실험구1, TRT1), 190% (실험구2, TRT2)로 설계하였다. 조사료와 농후사료는 2:8 비율로 하루에 2회(7:00시 및 16:00시) 나누어 제한급여하였고 잔량없이 섭취하였다. 물과 미네랄블록은 자유 섭취하도록 하였다. 분 채취는 10일의 적응 기간 후 4일 동안 랜덤으로 채취하여 분석에 사용하였다. 본 연구는 국립축산과학원 동물 실험윤리위원회의 승인 하에 수행되었다(승인번호 NIAS 2022-0580).

4. 통계 분석

한우 거세우 영양소 소화율에 대한 효과 가설 검정은 일원분산분석으로 수행하였고, 유의성 신뢰수준은 95%으로 설정하였다. 분석은 SPSS 프로그램(Version 26, IBM, NewYork, USA)을 사용하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

본 연구에서는 사료 공급량을 고려하여 실험구별 에너지가를 예측하였다(Table 3, 식 (7)~(11)). 사료 공급 수준이 증가함에 따라 TDN 및 가소화에너지가 유의적으로 감소하는 것을 알 수 있었다($p<0.05$). 이는 사료 공급 수준이 증가하면 영양소 소화율이 감소하여 부(-)의 영향을 미친다는 선행연구와 유사한 결과로 보인다(Conrad et al., 1964). 대사에너지 및 정미에너지 또한 사료 공급 수준이 증가함에 따라 유의적으로 감소하는 결과를 보였다($p<0.05$).

Table 3. Predicted energy value of dietary feeding levels in Hanwoo steers

Items	CON	TRT1	TRT2	SEM	p-value
Discount	1.00 ^a	0.98 ^b	0.96 ^c	0.003	<0.05
Discount total digestible nutrients, %	74.84 ^a	73.26 ^b	71.67 ^c	0.281	<0.05
Discount digestible energy, Mcal/kg	3.35 ^a	3.28 ^b	3.20 ^c	0.012	<0.05
Discount metabolizable energy, Mcal/kg	2.93 ^a	2.86 ^b	2.79 ^c	0.012	<0.05
Discount net energy for maintenance, Mcal/kg	1.97 ^a	1.91 ^b	1.85 ^c	0.010	<0.05

Note: CON, 100%; TRT1, 140%; TRT2, 190%; SEM, standard error of mean.

실험설계에 따라 비육기 거세한우의 사료 공급 수준에 따른 영양소 소화율도 확인하였다(Table 4). 건물 및 조단백질 소화율은 CON와 TRT1에서 유의적 차이가 없었으나, CON에서 TRT2보다 유의적으로 높은 결과를 보였다($p<0.05$). Shi 등(2020)에서도 건물섭취량이 낮은 경우 건물 및 조단백질 소화율이 증가할 것이라고 보고한 바 있어, 본 연구도 선행 연구들과 유사한 결과를 보였다고 생각된다(Puchala et al., 2011; Alborno et al., 2013; Shi et al., 2020). NFC 소화율에서는 CON가 가장 높은 소화율을 보였고, 사료 공급 수준이 높아질수록 소화율이 낮아지는 것을 확인하였다($p<0.05$). TDN 소화율은 CON와 TRT1은 유의적 차이가 없었으나, TRT2에서 다른 실험구보다 유의적으로 낮은 소화율을 보였다($p<0.05$).

일련의 연구결과 사료 공급 수준 증가에 따라 영양소 소화율 및 에너지가가 연속 감소할 것으로 예측되었다. 하지만, 비육기 거세우 급여실험에서 사료 공급 수준을 140%까지 증량하여도 대조구에 비해 영양소 소화율에 대한 차이가 없었다. 대조구 대비 사료 공급수준을 190% 증량한 실험구에서 유의적으로 소화율이 감소하는 것을 확인하였다($p<0.05$). 모든 실험구에서 TDN 소화율 예측치가 실제 소화율보다 낮게 나타났음을 알 수 있었다.

Table 4. Effect of dietary feeding levels on apparent total tract digestibility of nutrients in Hanwoo steers

Items	CON	TRT1	TRT2	SEM	p-value
Dry matter (DM), %	82.30 ^a	82.68 ^a	79.27 ^b	0.658	<0.05
Crude protein, %DM	78.05 ^a	77.99 ^a	74.07 ^b	0.818	<0.05
Ether extract, %DM	80.99	76.67	78.30	1.040	0.184
Non-fiber carbohydrate, %DM	96.71 ^a	95.53 ^b	94.51 ^c	0.211	<0.05
Neutral detergent fiber, %DM	65.06 ^{ab}	66.61 ^a	59.97 ^b	1.312	0.065
Acid detergent fiber, %DM	55.54	56.46	51.05	1.600	0.286
Crude ash, %DM	70.71	72.82	71.92	1.108	0.706
Total digestible nutrients, %	79.65 ^a	79.27 ^a	76.45 ^b	0.592	<0.05

Note: CON, 100%; TRT1, 140%; TRT2, 190%; SEM, standard error of mean.

따라서, 섭취하는 가소화영양소 총량을 정확히 측정하기 위해서 사료 공급 시 소화율을 고려해야 한다. 사료 공급량에 따라 반추위의 통과속도가 증가하고, 최종적으로 반추위에서 소화되는 시간이 줄어들기 때문에 영양소의 소화율이 감소하게 된다(Doreau et al., 2003). 이러한 이유로 국외의 경우 원료사료의 에너지가, 배합비율 및 사료공급량에 따른 에너지가 감소분을 고려하여 공급한 에너지를 계산한다(NRC, 2001; Sauvant and Noziere, 2016; NASEM, 2021, Spek and Van Wesemael, 2022). 따라서 국내에서도 가축의 영양소 요구량 대비 공급량을 맞추기 위해 소화율까지 고려하여 영양소 설계해야 한다.

IV. 적 요

적정한 양의 사료공급은 가축의 영양소 소화율을 높일 뿐만 아니라, 과잉공급되어 배출되는 영양소를 감소시켜 경제적이고 환경친화적인 방법이다. 따라서, 본 연구에서는 사료 공급수준에 따른 한우거세우의 영양소 소화율을 확인하고자 수행되었다. 실험구는 National Institute of Animal Science의 유지에너지 수준에 근거한 급여량을 기준으로 대조구(100%), 실험구1 (140%) 및 실험구2 (190%)로 설정하였다. 본 연구에서는 실험사료의 소화율 및 실험구에 따른 에너지를 예측하였다. 그리고 한우 거세우에 급여하였을 때 영양소 소화율 및 에너지를 측정하였다. 총가소화영양소 및 가소화에너지를 포함한 모든 에너지가는 사료 공급 수준 증가에 따라 낮아질 것으로 예측되었다. 한우 거세우 급여 실험에서는 건물, 조단백질, NFC 및 총가소화영양소에서 TRT2가 CON보다 낮은 소화율을 보였다. 하지만, TRT1에서는 CON과 차이가 없었다. 사료의 총가소화영양소 및 소화율은 유지에너지를 기반으로 설정되었지만, 본 연구에서는 사료 공급 수준이 유지에너지의 190% 이상일 때 영양소 소화율 및 총가소화영양소는 감소하였다. 따라서 사료 혼합시 사료 공급량을 고려하여 총가소화영양소를 정확히 설정해야 할 필요가 있다.

[Submitted, October, 25, 2023; Revised, November, 13, 2023; Accepted, November, 15, 2023]

References

1. Alborno, R. I., J. R. Aschenbach, D. R. Barreda, and G. B. Penner. 2013. Feed Restriction Reduces Short-Chain Fatty Acid Absorption Across the Reticulorumen of Beef Cattle Independent of Diet. *J. Anim. Sci.* 91: 4730-4738.
2. Cooper, R., T. J. Klopfenstein, R. Stock, C. Milton, D. Herold, and J. Parrott. 1999. Effects of Imposed Feed Intake Variation on Acidosis and Performance of Finishing Steers. *J. Anim. Sci.* 77: 1093-1099.
3. Doreau, M., B. Michalet-Doreau, P. Grimaud, N. Atti, P. Noziere. 2003. Consequences of Underfeeding on Digestion and Absorption in Sheep. *Small Rumin. Res.* 49: 289-301.
4. Horwitz, W. and G. Latimer. 2005. Official Methods of Analysis of AOAC International. 18th ed Gaithersburg, MD, USA: AOAC International.
5. Kim, K., Y. Oh, W. Kim, S. Lee, K. Shin, and B. Jeon. 2004. Determination of Energy Requirements for Maintenance in Hanwoo Steers. *J. Anim. Sci. Technol.* 46: 193-200.

6. Lee, S., T. Thak, K. Kim, and S. Yoon. 2003. Energy Requirements of Growing Hanwoo Bulls for Maintenance by Fasting Metabolism. *J. Anim. Sci. Technol.* 45: 113-122.
7. Licitra, G., T. Hernandez, and P. Van Soest. 1996. Standardization of Procedures for Nitrogen Fractionation of Ruminant Feeds. *Anim. feed Sci. Technol.* 57: 347-358.
8. National Institute of Animal Science. 2022. Maintenance energy level of the Korean feeding standard for Hanwoo. Wanju, Korea.
9. NRC (National Research Council). 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. National Academies Press.
10. NASEM (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine). 2021. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 8th rev. ed. National Academies Press, Washington, D.C.
11. Oh, Y., I. Nam, C. Choi, K. Baek, J. Kim, D. Kim, Y. Seol, and K. Kim. 2007. Effects of Different Levels of CP Intake on Protein Utilization and N Excretion in Varying Growth Stages of Hanwoo Steers. *J. Anim. Sci. Technol.* 49: 369-378.
12. Puchala, R., A. K. Patra, G. Animut, T. Sahlu, and A. L. Goetsch. 2011. Effects of Feed Restriction and Realimentation on Mohair Fiber Growth and Tissue Gain by Growing Angora Goats. *Livest. Sci.* 138: 180-186.
13. Sauvant, D. and P. Noziere. 2016. Quantification of the main digestive processes in ruminants: the equations involved in the renewed energy and protein feed evaluation systems. *Animal*, 10(5): 755-770.
14. Seol, Y. J., K. H. Kim, Y. C. Baek, S. C. Lee, J. U. Ok, K. Y. Lee, S. K. Hong, S. S. Jang, C. W. Choi, and M. K. Song. 2011. Determination of Maintenance Energy Requirements for Growing Hanwoo Steers. *J. Anim. Sci. Technol.* 53: 155-160.
15. Shi, F. Y., N. Guo, A. A. Degen, J. H. Niu, H. Y. Wei, X. P. Jing, L. M. Ding, Z. H. Shang, and R. J. Long. 2020. Effects of Level of Feed Intake and Season on Digestibility of Dietary Components, Efficiency of Microbial Protein Synthesis, Rumen Fermentation and Ruminal Microbiota in Yaks. *Anim. Feed Sci. Technol.* 259: 114359.
16. Spek, J. W. and D. Van Wesemael. 2022. CVB Feed Table 2022. Chemical composition and nutritional value of feedstuffs. Stichting CVB 2022. Netherlands. pp. 1-625.
17. Stock, R., T. Klopfenstein, and D. Shain. 1995. Feed Intake Variation. In: Symposium: Intake by Feedlot Cattle. Okla. Agric. Exp. Stn. p. 942.
18. Van Soest, P., J. Robertson, and B. Lewis. 1991. Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. *J. Dairy Sci.* 74: 3583-3597.