

Research Article

Extruded linseed 첨가가 홀스타인 거세우 장내발효 메탄발생량에 미치는 효과

우양원¹, 이창현^{2,3}, Bharanidharan Rajaraman³, 여준모⁴, 이원영⁴, 김도형⁵, 장선식⁶, 김경훈^{1,3*}
¹서울대학교 국제농업기술대학원, ²건국대학교 동물자원과학과, ³서울대학교 그린바이오과학기술연구원,
⁴국립한국농수산대학 대가축학과, ⁵경북도립대학교 축산과, ⁶국립축산과학원 한우연구소

Effects of Extruded Linseed Supplementation on Methane Production in Holstein Steers

Yang Won Woo¹, Chang Hyun Lee^{2,3}, Bharanidharan Rajaraman³, Joon Mo Yeo⁴, Won Young Lee⁴,
Do Hyung Kim⁵ and Kyoung Hoon Kim^{1,3*}

¹Graduate School of International Agricultural Technology, Seoul National University, Pyeongchang 25354, Korea.

²Department of Animal Science and Technology, Konkuk University, Seoul 05029, Republic of Korea.

³Institute of Green Bio Science & Technology, Seoul National University, Pyeongchang 25354, Korea.

⁴Dept. of Beef & Dairy Science, Korea National College of Agriculture & Fisheries. Jeonju 57874, Korea.

⁵Department of Animal Science, Gyeongbuk Provincial College, Yecheon 36830, Korea.

⁶Hanwoo Research institute, National Institute of Animal Science, Pyeongchang 25340, Korea

ABSTRACT

The present experiment was designed to investigate the effects of extruded linseed supplementation on methane production in Holstein steers. Four Holstein steers fitted with permanent cannulas were assigned to two dietary treatments in a duplicated 2 × 2 Latin square design: a control diet consisting of tall fescue straw (65%) and concentrate (35%), and a treatment diet supplemented with 3.8% extruded linseed by replacing a part of ingredients in the concentrate of the control diet. The concentrates of the control and the treatment diet were isoenergetic and isonitrogenous. Extruded linseed supplementation did not affect dry matter intake but significantly ($P<0.05$) increased the intake of lipid. Rumen pH was significantly ($P<0.05$) lower for control than for treatment. Although there was no significant difference between treatments, the concentration of total VFA in control was 21% higher than in treatment. The concentrations of acetic acid, propionic acid and butyric acid were not different between treatments. Extruded linseed supplementation significantly ($P<0.05$) reduced methane output(g/d) and emission factor. Methane conversion rate was lower for treatment than for control but no significant difference was found. The results of the present study showed that extruded linseed supplementation in the diet of Holstein steers could reduce methane output.

(Key words : Extruded linseed, Methane, Holstein steers, Rumen fermentation)

I. 서론

온실 가스의 하나인 메탄(CH₄)은 반추가축의 장내발효 과정에서 생성되며, 트림을 통해 대기로 방출된다. 장내발효에 의해 배출된 메탄양이 온실가스에서 차지하는 비중은 세계적으로 3.3%(Ecofys, 2013)이고, 우리나라의 경우 0.64%(The Republic of Korea, 2011)로 조사되었다. 비록 우리나라의 장내발효에 의한 메탄배출 양은 전 세계의 1/5 수준으로

매우 낮은 편이지만, 반추가축은 1일 섭취한 총 에너지의 2~12%를 메탄으로 손실할 수 있다(Johnson and Johnson, 1995). 따라서 장내발효에서 생성되는 메탄을 감소시키는 것은 환경 보호 측면에서도 중요하지만 사료에너지의 이용 효율을 높이기 위해서도 매우 중요하다.

반추위내 메탄은 주로 탄수화물의 소화과정 중에서 발생하는 H₂를 메탄생성균이 이용함으로써 생성된다(Knapp et al., 2014). 따라서 장내발효에서 생성되는 메탄을 감소시키기 위

* Corresponding author : Kyoung Hoon Kim, Graduate School of International Agricultural Technology, Seoul National University, Pyeongchang 25354, Korea Tel: +82-33-339-5726, Fax: +82-33-339-5763, E-mail: khhkim@snu.ac.kr

한 연구는 반추위내 메탄생성균의 활동을 억제하거나, H₂의 이용경로를 변화시키는 것에 집중되어 왔다. 반추미생물의 탄수화물 대사과정에서 생성되는 휘발성 지방산 중 프로피온산은 H₂를 이용하고 초산은 H₂를 생성하기 때문에 급여하는 사료의 종류 및 섭취량 등은 메탄생성에 큰 영향을 미친다. 지방은 원료에 따라 다르지만, 불포화지방산의 경우 섬유소 소화율을 감소시켜 초산의 생성비율을 감소시키는 효과가 있으며, 또한 직접적으로 메탄생성균에 악영향을 미쳐 메탄생성을 감소시킬 수 있다(Knapp et al., 2014). Beauchemin et al.(2008)은 사료의 지방함량 1% 증가당 메탄(g/kg DMI)이 6% ~ 36% 정도 감소한다고 보고하였다. 메탄감소에 대한 지방의 효과로 인하여 캐나다의 경우에는 메탄생성 저감을 위한 한 정책으로서 지방의 사용을 중요시하고 있는 실정이다(Climatic Change Central, 2012). Linolenic acid (18C:3 n-3)를 풍부하게 함유하고 있는 linseed는 사료에너지 함량 증가 뿐 아니라 메탄저감에 대한 효과가 있다는 보고가 있다. 착우유를 이용한 실험에서 extruded linseed를 전체사료의 5% 첨가(Livingstone et al., 2015)한 실험은 메탄저감 효과가 없었지만, 8% 첨가(Martin et al., 2011)한 실험은 무첨가구보다 15~20% 메탄이 감소하였고, 14% 첨가(Chilliard et al., 2008)에서는 38%가 감소하였다.

국가간 온실가스 배출권 거래가 이루어지고 있는 실정임에도 불구하고 메탄저감을 위한 사료적 접근 연구는 우리나라에서 극히 제한적으로 이루어져 왔다(Lee et al., 2016). 장내발효에 의해 발생하는 메탄 배출계수 연구뿐 아니라 다양한 사료 급여환경에서의 메탄 저감 연구도 활발히 추진되어야 한다. 따라서 본 연구는 장내발효에 의한 메탄 발생을 감소시키기 위한 목적으로 지방함량이 높은 extruded linseed의 급여가 홀스타인 거세우의 메탄생산량에 미치는 영향을 조사하기 위해 수행하였다.

II. 재료 및 방법

1. 시험동물, 시험사료, 사양관리 및 시험설계

본 실험은 서울대학교 동물실험윤리위원회가 제시한 가이드라인을 준수하여 수행하였다. 반추위 캐놀라가 장착된 홀스타인 거세우 4두(462±30kg)를 duplicated 2×2 Latin square design에 배치하여 실험을 수행하였다. 각 period는 21일이었으며 시험축은 실험시작 후 14일 동안 개별 우방에서 시험사료에 적응을 시켰고 나머지 7일은 메탄 발생량을 측정하기

위해 개별 호흡챔버에서 사육하였다. 사료섭취량은 매일 측정하였고 메탄 발생량은 48시간(18, 19일) 측정하였다. 대조구는 육우용 시판 배합사료와 tall fescue 건초를 65:35의 비율로 혼합하여 체중의 2.8%(원물기준)에 해당하는 양을 급여하였다. 처리구의 배합사료는 대조구의 배합사료 총 에너지와 CP 수준을 동일하게 유지하되 원료 일부를 extruded linseed 3.8%로 대체하여 급여하였다. 시험사료의 일반 성분은 table 1과 같다.

2. 메탄 발생량 측정

메탄의 측정은 4개의 호흡챔버에서 처리구별로 동시에 측정하였으며 호흡챔버로부터 발생하는 오차를 줄이기 위해 시험축들은 두 period 동안 같은 호흡챔버에 배치하였다. 호흡챔버는 강철 프레임(가로 137cm x 세로 256cm x 높이 200cm) 위에 폴리카보네이트 커버가 둘러싼 형태로, 급이기, 급수기, 에어컨디셔너(Busung Co. Ltd., India, model ALFFIZ-WBCAI-015H), 그리고 제습기(Dryer Korea, model DK-C-150E)가 장착되었다. 가스 샘플링 기간 동안 온도와 습도는 각각 18℃와 50%로 유지하였으며, 플로우 미터(Teledyne Technologies Inc., USA, model LS-3D)가 챔버로부터 일정한 양(700L/min)의 가스를 분석기로 전달하였다. 가스 분석시스템은 샘플링 펌프(B.S technolab INC., Korea), tunable diode LASER CH₄ gas analyzer(KINSCOTechnology.Co.Ltd.,Korea,modelAirwell+7) 그리고 데이터를 처리하기 위한 컴퓨터로 구성되었다. 실험 시작 전에 메탄이 혼합된 표준 가스(Air Korea, 25% mol/mol)를 이용하여 호흡챔버의 메탄 회수율을 측정하였으며, 실험 종료 후에도 실험기간 동안 발생 가능한 기기상의 문제를 확인하기 위하여 동일한 방법으로 회수율을 조사하였다. 호흡챔버 안과 밖의 메탄 농도는 14분마다 측정되었으며, 조사된 회수율을 적용하여 24시간 동안의 배출량으로 환산하였다.

3. 반추위 발효 특성

반추위 발효 특성을 조사하기 위해 각 period의 21일째에 반추위액을 채취하였다. 반추위액은 각 시험축마다 아침 사료 급여 전(08:30) 1회, 사료 급여 후(10:00, 12:00, 15:00) 3회 채취하였다. 채취된 반추위액은 4겹의 치즈거즈로 여과한 후 pH를 측정하였고(model AG 8603; Seven Easy pH, Mettler-Toledo, Schwerzenbach, Switzerland), 이후 VFA와 NH₃-N의 분석을 위해 -20℃에 저장하였다. VFA는 Erwin et al.(1961)의 방법에 따라 전처리 후 불꽃이온화검출기가 장착된 가스 크

로마토그래피와 FFAP CB 컬럼(25 m × 0.32mm, 0.3 μm, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA)을 이용하여 분석하였으며, NH₃-N의 측정을 위해서는 Chaney and Marbach (1962)의 변형된 비색법을 사용하였다.

4. 통계처리

메탄 배출량은 SAS PROC MIXED(version 9.4)를 사용하여 통계 처리되었다. pH, NH₃-N, 그리고 VFA는 AR(1) covariance structure가 적용된 repeated measures (Littell et al., 1998)를 사용하여 분석하였다. 실험 사료는 fixed effect로 처리되었고, replication, animals nested within replication, 그리고 period nested within replication은 random effect로 고려하여 0.05 수준에서 유의성을 검정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 사료섭취량 및 영양소섭취량

홀스타인 거세우의 사료내 extruded linseed 첨가는 건물섭취량에 영향을 미치지 않았지만 지방섭취량은 대조구에 비해

여 유의성 있게($P<0.05$) 증가되었다(Table 2). 본 실험에서는 배합사료의 총 에너지와 CP 수준을 두 처리구간에 비슷하게 유지하였으나, extruded linseed의 첨가로 인하여 처리구의 지방함량이 대조구보다 1% 높게 나타났다(Table 1). 따라서 건물섭취량이 두 처리구간에 차이가 없었기 때문에 지방섭취량은 처리구가 대조구보다 높게 나타났다. 지방은 사료의 에너지 함량을 효율적으로 높일 수 있는 성분이지만 Palmquist and Jenkins(1980)은 권장수준(6~8%, 건물기준) 이상을 착유우에게 급여할 경우 섬유소의 소화율을 감소시켜 사료섭취량과 생산성을 감소시킬 수 있다고 보고하였다. 그러나 Martin et al.(2008)의 연구에서는 extruded linseed를 15% 첨가하여 지방함량이 7%인 사료를 착유우에게 급여하였을 때 건물섭취량과 유생산량이 감소되었다고 보고하였다. 총 지방함량이 권장수준임에도 불구하고 사료섭취량이 감소한 것은 대조구의 지방함량이 2.6%로 상대적으로 매우 낮았고 불포화지방산이 높은 식물성기름 원료를 높은 수준으로 급여했기 때문인 것으로 사료된다. Livingstone et al.(2015)은 extruded linseed를 5% 첨가한 사료를 착유우에게 급여하였지만 사료섭취량에 영향을 미치지 않았다고 보고하였다. 본 실험에서 extruded linseed가 전체사료에서 차지하는 비율은 2.5% 수준으로서 상대적으로 낮은 수준이었으며 총 사료 중 지방함량도 6.4%로서 권장수준 범위에 속하여 건물섭취량에 영향을

Table 1. Ingredients and chemical composition of the experimental diets

	Concentrates		Tall fescue hay
	Control	Treatment	
Dry matter(%)	87.7	88.9	86.7
Organic matter(% DM)	93.2	92.2	93.2
Crude protein(% DM)	23.7	23.5	4.9
Ether extract(% DM)	7.0	8.0	2.7
Neutral detergent fiber(% DM)	24.1	26.5	72.8
Acid detergent fiber(%)	10.1	10.5	43.6
Gross energy(cal/kg DM)	4,725	4,717	4,388

Table 2. Effects of extruded linseed supplementation on DM and nutrients intake(kg/d) of Holstein steers

	Control	Treatment	SEM	P-value
Dry matter	10.3	10.6	0.306	0.383
Organic matter	9.59	9.78	0.286	0.525
Neutral detergent fiber	3.94	4.28	0.221	0.172
Acid detergent fiber	2.05	2.17	0.133	0.397
Crude protein	1.87	1.89	0.015	0.269
Ether extract	0.59	0.68	0.007	0.001

미치는 수준은 아니었다. 또한 대조구와 처리구의 총 사료 중 지방함량(5.7% vs 6.4%)도 큰 차이가 없었기 때문에 건물섭취량 차이가 나타나지 않은 것으로 사료된다.

NDF 및 ADF섭취량은 처리구가 대조구보다 높았지만 통계적 유의성은 없었다. 대조구와 extruded linseed 첨가구의 총 에너지 함량을 비슷하게 유지하기 위해서는 처리구의 배합사료에 상대적으로 에너지 농도가 낮은 원료의 사용비율을 높여야만 했고 이로 인해 처리구의 NDF 및 ADF함량이 대조구에 비하여 약간 높아졌으나 유의적인 섭취량 차이로 이어지지는 않았다.

2. 반추위 발효 특성 및 메탄발생량

처리구간 반추위 pH는 비교적 적은 차이였지만 대조구가 extruded linseed 첨가구에 비하여 유의적으로($P<0.05$) 낮았다 (Table 3). 총 VFA의 농도는 대조구가 extruded linseed 첨가구에 비하여 21%정도 높았지만 통계적 유의성은 없었다. 초산, 프로피온산 및 낙산의 농도도 처리구간 유의적인 차이가 없었다. 두 처리구간의 배합사료 총 에너지 함량을 비슷하게 유지하기 위하여 대조구의 전분질 원료 사용비율이 extruded

linseed 첨가구보다 7% 정도 높았다. 이로 인하여 non-fiber carbohydrate(NFC)의 함량은 대조구(38.4%)가 extruded linseed 첨가구(34.2%)에 비하여 4.2% 정도 높게 나타났다. 두 처리구간에 건물섭취량의 차이가 없는 점을 고려하면(Table 2), 상대적으로 대조구의 높은 NFC함량이 반추위 pH에 영향을 미친것으로 사료된다. 그러나 두 처리구의 NFC 함량 차이가 총 VFA 및 초산과 프로피온산의 농도 변화에 영향을 미칠 정도로 높은 수준은 아니었다.

Extruded linseed를 첨가한 처리구의 1일 메탄 발생량과 메탄 배출계수(emission factor)는 대조구에 비하여 15%정도 유의성 있게($P<0.05$) 감소하였다(Table 4). 건물, 유기물 및 NDF의 섭취 1kg당 메탄발생량도 extruded linseed 첨가구가 대조구에 비하여 낮은 수준이었지만, 통계적 유의성은 나타나지 않았다. Grainger와 Beauchemin(2011)은 소의 경우(젖소와 육우) 사료 내 지방 함량이 10g/kg 증가시 메탄은 1g/kg DMI 감소하고, 양의 경우 2.6g/kg DMI 감소한다고 제시하였다. 본 실험에서는 전체 사료의 섭취량 기준으로 extruded linseed 첨가구가 대조구보다 지방 함량이 7g/kg 높았고 메탄 생성량은 3.1g/kg DMI 감소하여 Grainger와 Beauchemin (2011)이 제시한 값보다 지방의 첨가효과가 더 높게 나타났다

Table 3. Effects of extruded linseed supplementation on ruminal fermentation characteristics of Holstein steers

	Control	Treatment	SEM	P-value
pH	6.63	6.81	0.057	0.005
Total VFA(mM)	78.6	64.8	8.48	0.120
Acetate(%)	53.6	53.3	0.966	0.771
Propionate(%)	24.9	25.4	0.382	0.211
Butyrate(%)	16.9	16.3	0.485	0.300
iso-Butyrate(%)	1.18	1.66	0.218	0.037
Valerate(%)	1.57	1.59	0.107	0.862
iso-Valerate(%)	1.95	2.02	0.124	0.565
NH ₃ -N(mg/L)	13.43	15.39	2.45	0.431

Table 4. Effects of extruded linseed supplementation on methane production in Holstein steers

	Control	Treatment	SEM	P-value
CH ₄ (g/d)	173 ^a	147 ^b	7.73	0.044
CH ₄ /DMI(g/kg DM)	16.4	13.3	1.68	0.241
CH ₄ /OMI(g/kg DM)	17.6	14.4	1.80	0.250
CH ₄ /NDF(g/kg DM)	44.7	33.0	7.25	0.262
MCR ¹ (%)	4.30	3.55	0.468	0.276
Emission Factor (kgCH ₄ /head/year)	63.2 ^a	53.8 ^b	2.83	0.045

¹Methane Conversion Rate = methane energy/GE intake

다. 우리나라에서 장내발효에 의한 메탄 생성에 관한 연구는 매우 제한적일 뿐만 아니라 메탄 생성을 저감시키기 위한 목적으로도 이루어지지 않았다(Seol et al., 2012; Oh et al., 2014; Lee et al., 2016). 메탄 저감을 목적으로 한 연구결과와 고찰이 충분히 이루어지기 위해서는 앞으로 이에 대한 연구가 지속되어야 될 필요가 있을 것으로 사료된다.

반추위내 메탄은 주로 탄수화물의 소화과정 중에서 발생하는 H₂를 메탄생성균이 이용함으로써 생성된다(Knapp et al., 2014). 반추미생물의 탄수화물 대사과정에서 발생한 휘발성 지방산 중 프로피온산은 H₂를 이용하고 초산은 H₂를 생성하기 때문에 탄수화물 중 NFC 비율의 증가는 메탄생성을 감소시킬 수 있다(Aguerre et al., 2011). Moe and Tyrrell(1979)은 hemicellulose와 cellulose의 발효는 NFC의 발효보다 2~5배 정도 메탄생성을 더 발생시키고, 또한 cellulose가 hemicellulose보다 63% 정도 메탄을 더 생성하는 것으로 보고하였다. 본 실험에서는 extruded linseed 첨가구의 배합사료 NFC 함량이 대조구에 비하여 4.2% 낮았고, NDF 함량은 2.1% 높았음에도 불구하고 extruded linseed 첨가구의 메탄발생량은 오히려 감소되었다. 그러나 두 처리구간의 NDF 함량차이는 cellulose보다 메탄생성 비율이 크게 낮은 hemicellulose의 증가(Moe and Tyrrell, 1979)에 의한 것으로 계산되었으며(대조구 14%, extruded linseed 첨가구 16%), 또한 NFC 함량차이는 초산과 프로피온산의 농도를 변화시킬 만큼 크지 않았던 것으로 사료된다(Table 3). 따라서 본 실험에서는 탄수화물 종류의 차이가 메탄생성에 미치는 영향은 크지 않았던 것으로 사료된다.

지방이 반추가축의 메탄생성량에 미치는 원인은 다양하지만 주로 반추위에서 발효되지 않는 에너지원의 공급에 의해 효과가 있는 것으로 알려져 있다(Grainger and Beauchemin, 2011). 즉, 지방은 탄수화물을 대체하는 효과가 있으며 또한 섬유소의 소화율을 감소시켜 메탄생성을 감소시킬 수 있다. 본 실험에서는 반추위내 섬유소 소화율을 측정하지 않았지만 섬유소의 소화율에 차이가 있더라도 건물섭취량에 영향을 미칠 만큼 큰 차이는 아니었으며, 또한 지방 1% 증가당 메탄 감소량(g/kg DMI)도 기존에 제시된 값보다 높았기 때문에 섬유소의 소화율 차이에 의한 메탄감소 효과로 보기는 어렵다. 또한 extruded linseed의 첨가로 탄수화물의 총 함량이 대조구에 비해 낮아지긴 했으나 그 차이가 1.2%로 매우 적었다. 따라서 본 실험에서는 섬유소 소화율 및 탄수화물 섭취량의 차이가 메탄 감소에 미치는 영향은 크지 않았던 것으로 사료된다.

반면, 식물성 기름에 함유된 다가불포화지방산(PUFA)은 프로토히아아의 수소생산을 감소시켜 간접적으로 메탄생성을 감소시키거나(Doreau and Ferlay, 1995) 직접적으로 메탄생성

균에 부정적인 영향을 미쳐 메탄생성을 감소시킬 수 있다(Prins et al., 1972). Martin et al.(2008; 2011)은 착유우에게 extruded linseed의 첨가가 사료섭취량 및 메탄 생성을 감소시켰으나 그 효과가 사료섭취량 이외에도 다가불포화지방산이 프로토히아아에 영향을 미쳐 수소의 생산을 감소시키거나, 또는 메탄생성균에 미치는 부정적인 영향때문인 것으로 보고하였다. 본 실험에서는 메탄생성과 연관된 반추위 미생물에 대한 조사가 이루어지진 않았으나, 탄수화물의 종류, 섭취량 및 섬유소 소화율 등이 메탄생성에 미친 영향이 크지 않았던 점을 고려하면 extruded linseed의 PUFA가 메탄생성과 연관된 반추위 미생물에 미치는 효과를 통해 이루어 졌을 가능성이 높다고 사료된다.

메탄전변율(MCR)은 extruded linseed의 첨가구가 대조구보다 낮았지만 통계적 유의성은 없었다. 본 실험에서 조사된 메탄전변율의 범위는 우리나라에서 조사된 홀스타인 거세 육성우의 4.6~5.3%(Lee et al., 2016)와 한우 암소의 5.5~5.8%(Oh et al., 2014)보다 낮은 수준이었다. 하루 생산되는 메탄량은 사료섭취량이 증가할수록 높아지지만, 메탄전변율은 일반적으로 감소된다(Moe and Tyrrell, 1979). 그 이유는 유지요구량 이상으로 사료섭취량이 증가하면 소화율이 감소하고 반추위 통과속도가 빨라지기 때문이다. 본 실험의 체중 대비 사료섭취량은 2.3%로서 Lee 등(2016)과 Oh 등(2014)의 연구에서 측정된 2.0%와 1.5%보다 높았기 때문에 메탄전변율에 차이가 발생한 것으로 사료된다.

국내에서는 시판용 착유우 사료에 에너지 강화 목적으로 extruded linseed를 3~6%첨가하기도 한다. 그러나 국내 시판 사료에 대한 착유우의 메탄저감 효과에 대한 실험은 수행된 바 없고, 육우를 이용한 본 실험이 extruded linseed의 메탄저감 효과를 보여주는 처음 보고가 될 것이다.

IV. 요약

본 연구는 지방함량이 높은 원료인 extruded linseed가 홀스타인 거세우의 메탄배출량에 미치는 영향을 조사하기 위해 수행하였다. 반추위 케놀라가 장착된 홀스타인 거세우 4두(462±30kg)를 duplicated 2×2 Latin square design에 배치하여 실험을 수행하였다. 대조구는 육우용 시판 배합사료와 tall fescue 짚을 65:35의 비율로 혼합하여 체중의 2.8%(원물기준)에 해당하는 양을 급여하였다. 처리구는 대조구의 배합사료 총 에너지와 CP 수준을 동일하게 유지하되 원료 일부를 extruded linseed 3.8%로 대체하여 급여하였다. Extruded

linseed 첨가는 건물섭취량에 영향을 미치지 않았지만 지방섭취량은 대조구에 비하여 유의성 있게 증가시켰다($P<0.05$). 처리구간 반추위 pH는 비교적 적은 차이였지만 대조구가 extruded linseed 첨가구에 비하여 유의적으로 낮았다($P<0.05$). 총 VFA의 농도는 대조구가 extruded linseed 첨가구에 비하여 21%정도 높았지만 통계적 유의성은 없었다. 초산, 프로피온산 및 낙산의 농도도 처리구간 유의적인 차이가 없었다. Extruded linseed의 첨가는 1일 메탄 발생량과 메탄 배출계수 (emission factor)를 15%정도 유의성 있게 감소시켰다 ($P<0.05$). 건물, 유기물, NDF의 섭취 1kg당 메탄발생량 및 메탄전변율에서는 extruded linseed 첨가구가 대조구에 비하여 낮은 수준이었지만, 통계적 유의성은 나타나지 않았다. 본 실험은 우리나라의 사료급여환경에서 홀스테인 거세우에게 extruded linseed 급여한 첫 실험으로서 메탄생성량을 감소시킬 수 있다는 가능성을 보여주고 있다.

V. 사사

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품기술기획평가원의 농생명산업 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(과제번호, 314081-2).

VI. REFERENCES

- Aguerre, M. J., Wattiaux, M. A., Powell, J. M., Broderick, G. A. and Arndt, C. 2011. Effect of forage-to-concentrate ratio in dairy cow diets on emission of methane, carbon dioxide, and ammonia, lactation performance, and manure excretion. *Journal of Dairy Science*. 94:3081-3093.
- Beauchemin, K. A., Kreuzer, M., O'Mara F. and McAllister, T. A. 2008. Nutritional management for enteric methane abatement: A review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 48:21-27.
- Chaney, A. L. and Marbach, E. P. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clinical Chemistry*. 8:130-132.
- Climate Change Central. 2012. Climate Change Central, Alberta, Canada. Accessed Apr. 1, 2014. <http://environment.gov.ab.ca/info/library/8255.pdf>.
- Doreau, M. and Ferlay, A. 1995. Effect of dietary lipids on nitrogen metabolism in the rumen: A review. *Livestock Production Science*. 43:97-110.
- Ecofys. 2013. World GHG emissions flow chart 2010. Accessed Oct. 31, 2013. <http://www.ecofys.com/files/files/asn-ecofys-2013-world-ghg-emissions-flow-chart-2010.pdf>.
- Erwin, E. S., Marco, G. J. and Emery, E. M. 1961. Volatile fatty acid analysis of blood and rumen fluid by gas chromatography. *Journal of Dairy Science*. 44:1768-1771.
- Grainger, C. and Beauchemin, K. A. 2011. Can enteric methane emissions from ruminants be lowered without lowering their production? *Animal Feed Science Technology*. 166 - 167:308-320.
- Johnson, K. A. and Johnson, D. E. 1995. Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science*. 73:2483-2492.
- Knapp, J. R., Laur, G. L., Vadas, P. A., Weiss, W. P. and Tricarico, J. M. 2014. Invited review: Enteric methane in dairy cattle production: Quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. *Journal of Dairy Science*. 97:3231-3261.
- Lee, Y. S., Bharanidharana, R., Park, J. H., Jang, S. S., Yeo, J. M., Kim, W. Y. and Kim, K. H. 2016. Comparison of methane production of Holstein steers fed forage and concentrate separately or as a TMR. *Journal of Korean Society of Grassland and Forage Science*. 36:104-108.
- Littell, R. C., Henry, P. R. and Ammerman, C. B. 1998. Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. *Journal of Animal Science*. 76:1216-1231.
- Livingstone, K. M., Humphries, D. J., Kirton, P., Kliem, K. E., Givens, D. I. and Reynolds, C. K. 2015. Effects of forage type and extruded linseed supplementation on methane production and milk fatty acid composition of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 98:4000-4011.
- Martin, C., Rouel, J., Jouany, J. P., Doreau, M. and Chilliard, Y. 2008. Methane output and diet digestibility in response to feeding dairy cows crude linseed, extruded linseed, or linseed oil. *Journal of Animal Science*. 86:2642-2650.
- Martin, C., Pomies, D., Ferlay, A., Rochette, Y., Martin, B., Chilliard, Y., Morgavi, D. P. and Doreau, M. 2011. Methane output and rumen microbiota in dairy cows in response to long-term supplementation with linseed or rapeseed of grass silage- or pasture based diets. *Proceedings of New Zealand Society of Animal Production*. 71:243-247.
- Moe, P. W. and Tyrrell, H. F. 1979. Methane production in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 62:1583-1586.
- Oh, Y. K., Kim, D. H., Moon, S. H., Park, J. H., Nam, I. S., Arokiyaraj, S. and Kim, K. H. 2014. Energy balance and methane production of Hanwoo cows fed various kind of roughage. *Journal of Korean Society of Grassland and Forage Science*. 34:283-287.
- Palmquist, D. L. and Jenkins, T. C. 1980. Fat in lactation rations: review. *Journal of Dairy Science*. 63: 1-14.
- Prins, R. A., Van Nevel, C. J. and Demeyer, D. I. 1972. Pure culture studies of inhibitors for methanogenic bacteria. *Antonie VanLeeuwenhoek* 38:281-287.

- Seol, Y. J., Kim, K. H., Baek, Y. C., Lee, S. C., Ok, J. W., Lee, K. Y., Hong, S. K., Park, K. H., Choi, C. W., Lee, S. S. and Oh, Y. K. 2011. Comparison of methane production in Korean native cattle(Hanwoo) fed different grain sources. *Journal of Animal Science and Technology (Korea)*. 53:161-169.
- The Republic of Korea. 2011. Korea's Third National Communication under the United Nations Framework Convnetion on Climate Change. pp. 34-35.
- (Received : September 25, 2017 | Revised : November 12, 2017 | Accepted: November 12, 2017)