

Research Article

옥수수 가공방법 및 두께가 *in situ* 건물 분해율과 *in vitro* 메탄 발생에 미치는 영향

김도형¹, 이창현^{2,3}, 우양원⁴, Bharanidharan Rajaraman³, 김종남⁵, 조광현⁵, 장선식⁶, 김경훈^{4,3*}

¹경북도립대학교 축산과, ²건국대학교 동물자원학과, ³서울대학교 그린바이오과학기술연구원,

⁴서울대학교 국제농업기술대학원, ⁵국립한국농수산대학 대기축학과, ⁶국립축산과학원 한우연구소

Effects of processing methods of corn and their thickness on *in situ* dry matter degradability and *in vitro* methane production

Do Hyung Kim¹, Chang Hyun Lee^{2,3}, Yang Won Woo⁴, Bharanidharan Rajaraman³,

Jong Nam Kim⁵, Kwang Hyeon Cho⁵, Sun Sik Jang⁶ and Kyoung Hoon Kim^{4,3*}

¹Department of Animal Science, Gyeongbuk Provincial College, Yecheon 36830, 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.

⁴Graduate School of International Agricultural Technology, Seoul National University, Pyeongchang 25354, Korea.

⁵Dept. of Beef & Dairy Science, Korea National College of Agriculture & Fisheries, Jeonju 57874, Korea.

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

ABSTRACT

This study was conducted with two ruminally cannulated Holstein steers to examine the effect of micronized and steam flaked corn on ruminal fermentation characteristics. The *in situ* dry matter degradability after 48 h incubation was the highest ($P<0.05$) at micronized corn (2.5 mm thickness) compared with steam flaked corn treatments. The steam flaked corn (3.3 mm thickness) was degraded lower ($P<0.05$) than the 2.9 and 3.1 mm thickness of steam flaked corn. Effective dry matter degradability and the rate of constant were the highest ($P<0.05$) at micronized corn (2.5 mm thickness) compared with steam flaked corns as well. The *in vitro* dry matter degradability after 48 h incubation was tended to higher ($P=0.088$) at micronized corn (2.5 mm thickness) than steam flaked corns, whereas there is no significantly difference between steam flaked corn treatments. Total volatile fatty acid concentration was higher at steam flaked corn (2.9 mm thickness) than micronized corn (2.5 mm thickness) and steam flaked corn (3.1 and 3.3 mm thickness). The acetate : propionate ratio was the highest ($P=0.008$) at steam flaked corn (2.9 mm thickness) and the lowest ($P=0.008$) at micronized corn (2.5 mm thickness). Total gas and methane production after 48h ruminal incubation was the highest ($P=0.001$) at micronized corn (2.5 mm thickness) compared with steam flaked corns. According to these results, the thickness of steam flaked corn as resulted corn processing is believed to do not affect methane production. However, further study is needed to better understand the present results to verify the correlation between corn processing method and their thickness on methane production using the same thickness corns by difference processing methods.

(Key words : Corn processing, In situ, In vitro, Methane production)

I. 서론

옥수수는 벼, 밀과 더불어 세계 3대 식량작물 중 하나이며, 재배된 역사는 500여년 정도로 짧지만 다양한 쓰임새로 인하여 세계 경제에 대한 파급력이 매우 큰 작물이다. 고 에너지,

고 수확성 등의 많은 장점을 지닌 옥수수는 가축의 주 에너지 공급원으로써 가장 대표적인 원료이며, 배합사료의 50~70% 정도를 차지한다. 특히 비육우의 비육말기에 주 에너지 공급원으로 옥수수내 전분이 에너지 공급의 주요한 역할을 담당한다(Lee et al., 2006).

* 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: khkim@snu.ac.kr

반추동물에서 가장 보편적인 에너지 자원인 곡류를 열처리 할 경우, 에너지의 체내 이용을 뿐만 아니라 기호성까지 개선시킬 수 있다. 또한, 다양한 옥수수 가공방법이 전분의 반추위 및 전장 소화율을 증진시켜 옥수수의 에너지 이용성을 향상시킨다는 연구결과가 보고되어있다(Kim et al., 1996; Owens, 2005; Owens et al., 1997). 곡류중의 전분은 단백질에 둘러싸여 있거나 결합되어 있어 소화효소의 침투가 어려울 수가 있는데 열처리 등 물리적 변형을 시켜줌으로써 이러한 결합을 파괴하여 소화를 용이하게 한다(Kim, 1991). 옥수수의 물리적 변형은 입자도의 감소로 인한 반추위 미생물이 공격할 수 있는 표면적을 증가시키며, 전분의 반추위 소화율을 향상시킨다(Bowman and Firkins, 1993; Kim et al., 1996). Owens et al.(1997)은 옥수수의 가공방법에 따라 소화율이 88~98%로 차이가 나타나며, Zinn et al.(1995)은 반추위내 전분소화율이 71~89%로 차이가 나타난다고 보고하였다. 이는 옥수수의 가공방법에 따라 소화율에 큰 차이가 발생함으로써 에너지 이용효율에도 큰 영향을 미친다는 것을 의미하며, 또한 반추위 메탄 발생량에도 큰 영향을 미칠 것으로 사료된다. 그러나 지금까지 옥수수의 가공방법이 전분의 소화율이나 이용성에 미치는 영향에 관한 여러 연구결과에도 불구하고, 반추동물에 있어서 옥수수의 가공방법에 따른 메탄 발생에 미치는 영향에 관한 연구 결과는 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 옥수수의 가공방법 및 가공 두께의 차이가 반추위 *in situ* 소화율 및 *in vitro* 반추위 발효와 메탄 발생에 미치는 영향에 대하여 알아보려고 실시하였다.

II. 재료 및 방법

1. *In situ* 건물 분해율

본 실험은 micronized corn 1종(2.5 mm thickness)과 두께가 다른 steam flaked corn 3종(2.9, 3.2 그리고 3.3 mm thickness)을 공시하여 수행하였다. Micronization은 502~526°C의 할로젠 램프에 100~110초 동안 노출시키는 방식으로 이루어졌으며, Steam flaking에서는 117~118°C의 스팀에 900~1200초 동안 처리하였다. 옥수수 가공 두께는 무작위로 30개의 시료를 선정하여 vernier calipers로 측정하였다.

캐놀라가 장착된 홀스타인 거세우(평균 657 kg)는 배합사료 9kg, 톨페스큐 3kg를 1일 2회(오전 9시와 오후 6시) 균등 섭취하였으며 실험기간 동안 물과 미네랄 블록을 자유롭게 섭취하였다. 가공처리된 시료 약 5g을 분쇄하지 않은 원형 상

대로 10x20cm 나일론 백(1186T38, Thomas scientific, USA)에 넣어 두당 2반복(총 4반복)으로 아침 사료 급여 전에 반추위 반추위 ventral sac 쪽에 넣고, 0, 3, 6, 9, 12, 24, 48 시간에 해당 샘플을 수거하였다.

수거된 샘플은 깨끗한 물이 나올때까지 약 5분간 씻어냈으며, 0시간의 샘플도 동일한 방법으로 처리한 후, 60°C에서 48시간 건조(model VS -1202D9, Vision Scientific Co., Ltd., Korea)하였고, 반추위 DM 분해율 및 건물 분해상수는 Marquardt(1963)법을 응용한 SAS(1988)의 비선형회귀(NLIN) program에 의해 Ørskov and McDonald(1979)의 분해도 공식을 이용하여 a, b, c값을 구하였다.

2. *In vitro* 반추위 발효 특성 및 메탄발생량

In situ 실험에 사용된 동일 옥수수를 1mm 체(Thomas Scientific Model 4, New Jersey, USA)를 전부 통과하도록 분쇄하였다. 분쇄 시료 약 200mg을 각각 3개의 60ml serum bottle에 넣고 *in situ* 실험에서 사용된 2두의 공시축으로부터 오전 사료 급여 30분 전에 반추위액을 채취하여 McDougall buffer와 1:2(v/v) 비율로 혼합한 뒤 준비된 serum bottle에 30ml씩 분주하였다. 발효는 39°C의 shaking incubator(150rpm)에서 진행하였으며, 발효 12시간과 48시간 후의 pH, VFA, NH₃-N, 그리고 CH₄의 특성을 조사하였다. 총 가스발생량은 water displacement apparatus를 이용하였으며(Fedorah and Hudey, 1983), pH 측정은 pH meter(model AG 8603; Seven Easy pH, Mettler-Toledo, Schwerzenbach, Switzerland)를 사용하였다. 메탄농도는 ValcoPLOT Hayesep-Q 컬럼 (30 m x 0.35mm, 20 µm, VICI metronics INC, USA)이 장착된 Gas Chromatography(VARIAN CP-3800; Varian Technologies, Walnut Creek, CA, USA)를 이용하였으며, VFA 분석은 Erwin et al. (1961)의 방법에 따라 시료를 전처리 후 FID detector와 FFAP CB 컬럼 (25 m x 0.32mm, 0.3 µm, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA)이 장착된 Gas chromatography를 이용하였다. NH₃-N의 측정을 위해서는 Chaney and Marbach (1962)의 변형된 비색법을 사용하였다.

3. 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 처

리되었고, replication, animals nested within replication, 그리고 period nested within replication은 random effect로 고려하여 0.05 수준에서 유의성을 검정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. *In situ* 건물 분해율

옥수수 가공방법에 따른 *in situ* 건물 분해율의 차이를 Figure 1에 비교하여 나타내었다. Micronized corn(2.5 mm thickness) 처리구는 다른 처리구들에 비하여 *in situ* 건물 분해율이 모든 배양시간대에서 높게($P<0.05$) 나타났다. 반면, steam flaked corn(3.3 mm thickness) 처리구는 모든 배양시간대에서 가장 낮은($P<0.05$) *in situ* 건물 분해율을 나타내었다. Steam flaked corn (2.9 mm thickness)와 steam flaked corn(3.1 mm thickness) 처리구의 비교에서는 모든 배양시간대에서 유의적인 차이를 보이지 않았다. 이는 옥수수의 micronization의 영향 즉, 가공방법의 영향 보다는 각각의 가공방법에 의한 두께 차이에 기인한 결과로 사료된다. 이 부분에 있어서는 서로 다른 가공기술을 이용한 동일한 두께의 대조구로 추후 검증이 필요할 것으로 판단된다. 한편, Son et al.(2003)의 *in situ* 연구결과에 의하면 두께가 다른 3종의 flake를 비교하였을 시 2~24시간에서의 반추위 분해율은 두께가 얇을수록 분해도가 높아지는 경향을 나타내었으며, 48시간대 분해율은 3.8 mm(61.8%)보다 2.8 mm(87.0%)가 유의하게 높았다고 보고하

였다. 본 연구에서 반추위 배양시간별 건물 분해율을 기초로 하여 계산된 건물 분해상수(Figure 2)는 a fraction은 micronized corn(2.5 mm thickness)과 steam flaked corn(2.9 mm thickness) 처리구에서 높게 ($P<0.05$) 나타났으며, 반추위 내에서 미생물에 의해 분해되는 b fraction은 이와 상반되는 결과인 steam flaked corn(3.1 mm thickness)과 steam flaked corn(3.3 mm thickness) 처리구에서 높게 ($P<0.05$) 나타났다. b fraction이 반추위를 통과하는 속도인 건물 분해상수 k값은 micronized corn(2.5 mm thickness) 처리구에서 가장 높게($P<0.05$) 나타났고 steam flaked corn(3.3 mm thickness) 처리구에서 가장 낮게($P<0.05$) 나타났다. Steam flaked corn(2.9 mm thickness)과 steam flaked corn(3.1 mm thickness) 처리구 사이에서는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 반추위내 시간당 통과속도를 0.05로 적용한 유효 건물 분해도는 건물 분해상수와 유사하게 micronized corn(2.5 mm thickness) 처리구에서 가장 높게 ($P<0.05$), steam flaked corn(3.3 mm thickness) 처리구에서 가장 낮게($P<0.05$) 나타났고, steam flaked corn(2.9 mm thickness)과 steam flaked corn(3.1 mm thickness) 처리구 사이에서는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 건물 분해상수와 유효 건물 분해도를 비교하여 보면 micronized corn(2.5 mm thickness) 처리구는 반추위내에서 다른 처리구에 비하여 빨리 분해됨을 알 수 있다. 일반적으로 곡류를 분쇄하게 되면 입자가 작게 되어 반추위내 분해율이 증가하게 되며, 반추위내 소화율은 입자의 표면적이 넓을수록 증가한다(Owens, 2005). 또한 본 실험의 micronized corn(2.5 mm thickness) 처리구의 빠른 건물 분해상수는 반추위 미생물을 우회하여 소

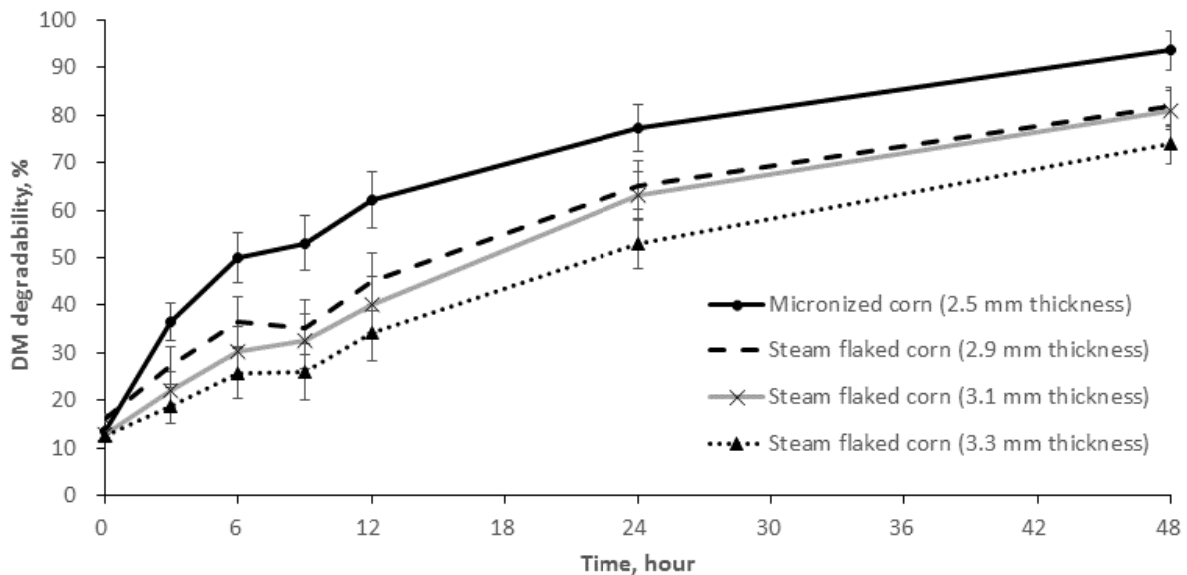


Fig. 1. Changes in *in situ* dry matter degradability of corn after 48 h incubation. Error bars are standard error of the mean.

장으로 유입되는 옥수수 전분의 양이 늘어나 소장에서 에너지 이용효율을 높일 수 있을 것으로 사료된다. 일반적으로 곡류의 열처리는 체내에서의 소화율 또는 이용률을 높이기 위함과 반추위에서의 분해를 감소시켜 더 많은 영양소를 하부 소화기관으로 보내기 위해 사용되는 방법인데, 전자의 경우 일반적으로 곡류사료가 많이 사용되는 반면 후자의 경우 단백질 사료에 많이 사용된다(Song and Kennelly, 1996). 옥수수를 micronization하여 비육우에 급여하였을 때 처리하지 않은 곡류사료에 비하여 소화율과 사료효율 및 가소화에너지 값이 개선되었으며 단백질 사료의 열처리는 반추위내 단백질의 분해율을 감소시키고 소장으로 유입되는 미분해 단백질이 생산성의 증대로 이어질 수 있다고 보고되었다(Anderson and Obadiah, 1984; Tonroy and Perry, 1974). 반추위에서 미생물의 공격을 받은 후 소장으로 유입되는 전분은 용해와 소화가 잘되지 않는 굵은 입자의 전분이 대부분인데, Kim and Owen(1985)에 따르면 옥수수 가공에 의해서 소장 내 전분의 이용성이 옥수수를 증기박편 처리했을 시는 88%로 파쇄, 압편 및 분쇄했을 때 보다 소장 소화율을 높일 수 있다고 보고하였다. 따라서 옥수수 전분의 이용률을 향상시키고자 옥수수를 가공할 시 가공방법 및 두께를 동시에 고려하여야만 할 것으로 판단된다.

2. *In vitro* 반추위 발효 특성 메탄발생량

In vitro 반추위 48시간 건물 소실율은(Table 1) micronized corn(2.5 mm thickness) 처리구에서 가장 높은 경향을($P=0.088$) 보인 반면 steam flaked corn 처리구에서는 두께에 따른 건물 소실율의 상관관계는 나타나지 않았다. Steam flaked corn(3.1 mm thickness) 처리구의 건물 소실율이 steam flaked corn(3.3 mm thickness)의 처리구와 비교하여 오히려 낮은 경향을 보였다. 총 가스발생량 및 메탄 발생량에 있어서도 건물 소실율과 같은 결과인 micronized corn(2.5 mm thickness) 처리구에서 가장 높게 나타났다($P=0.001$). 총 휘발성지방산은 steam flaked corn(2.9 mm thickness)의 처리구에서 가장 높게 나타났으며($P=0.015$) 나머지 처리구들에서는 유의적인 차이를 보이지 않았다(Table 2). Acetate:propionate의 비율 또한 steam flaked corn(2.9 mm thickness)의 처리구에서 가장 높게, micronized corn(2.5 mm thickness) 처리구에서 가장 낮게 나타났다($P=0.008$). 반추위 pH는 처리구간 변화가 없었으며, 반추위 암모니아태 질소 농도는 steam flaked corn(3.1 mm thickness)의 처리구에서 가장 낮게($P=0.004$) 나타났으며 나머지 처리구들에서는 유의적인 차이를 보이지 않았다.

일반적으로 옥수수는 단미사료원 중 메탄 발생수준이 많은

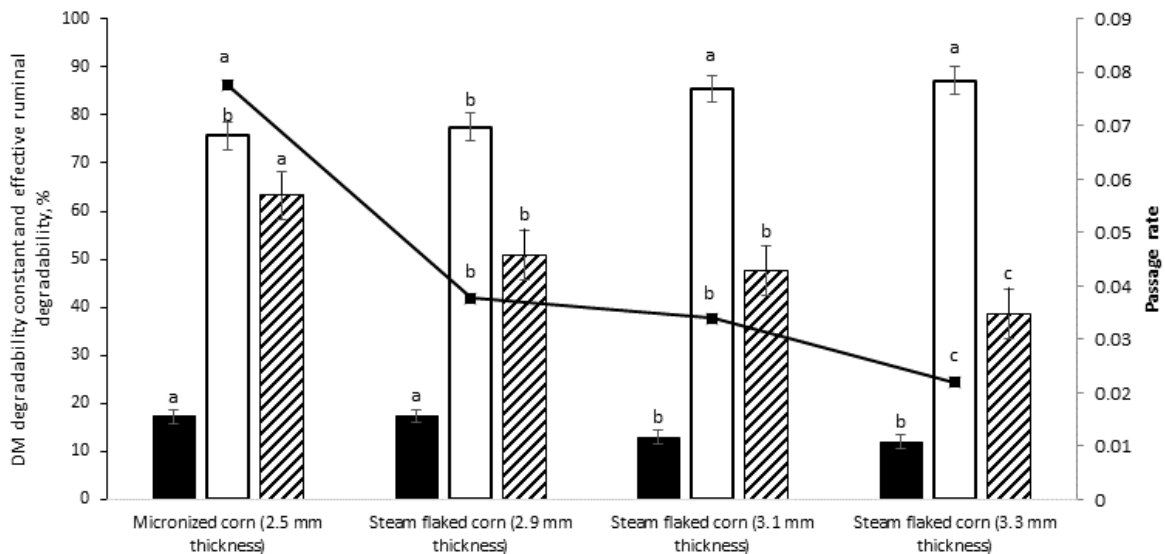


Fig. 2. *In vitro* dry matter parameters and effective degradabilities after 24 h incubation. Potential extent and rate of dry matter degradability were determined using the exponential model: $DM = a + b(1 - \exp - c \times \text{time})$, where DM is dry matter degradability (%) at time t; a (solid bar) = dry matter degradability from the immediately soluble fraction; b (open bar) = dry matter degradability from the insoluble fraction; c (solid line) = the fractional rate of dry matter degradability per hour; EDM (hatched bar) = effective dry matter degradability rate from the cultures, calculated as $EDM = a + b [kd / (kd + kp)]$, where kd is a dry matter degradability rate constant, and kp is a passage rate constant assumed to be $0.05h^{-1}$. Error bars are standard error of the mean.

사료원에 속하며 총 휘발성지방산의 생성량도 높으며 상관관계를 가진다(Kim et al., 2013). 비록 처리구간 메탄 발생량 (ml/DM degradability)의 유의적인 차이는 나타나지 않았지만, 본 연구의 결과에서도 유사하게 가장 높은 총 휘발성지방산 농도를 나타낸 steam flaked corn(2.9 mm thickness)의 처리구에서 가장 높은 메탄 발생량을 보였으며, 가장 낮은 총 휘발성지방산 농도를 나타낸 micronized corn(2.5 mm thickness)의 처리구에서 가장 높은 메탄 발생량을 보였다. 만약 옥수수 전분 분해의 최종 산물로 acetate가 형성된다면 생성되는 이산화탄소를 반추위 메탄생성 미생물이 이용하여 메탄발생량이 늘어나고, 전분 분해의 최종 산물로 propionate가 생성된다면 메탄 발생량은 줄어들고 에너지 또한 손실이 적을 것이다 (Moss et al., 2000; Weimer et al., 2011). 따라서 본 연구결과에서 가장 높은 메탄 발생량을 나타낸 micronized corn(2.5 mm thickness) 처리구는 acetate:propionate의 비율의 감소에 기인한 결과로 사료된다. Steam flaked corn 처리구들에서 휘발성지방산 농도에 있어 앞에서 언급한 *in situ* 반추위내 건물

분해상수와 유효 건물 분해도의 결과와 비교하여 상관관계가 나타나지 않은 결과로 유추해 보면 옥수수 가공방법에 의한 두께의 차이는 반추위 메탄 발생량에 영향을 미치지 않은 것으로 판단된다. 하지만 옥수수 가공에 의한 메탄 발생량의 차이를 명확하게 구명하기 위해서는 추후 다른 가공기술을 이용한 동일한 두께의 처리구들을 이용하여 보다 정확한 검증이 필요할 것으로 판단된다.

IV. 요약

본 연구에서는 옥수수의 가공방법 및 옥수수의 두께의 차이가 반추위 *in situ* 소화율 및 *in vitro* 반추위 발효와 메탄 발생에 미치는 영향에 대하여 알아보고자 실시하였다. Micronized corn(2.5 mm thickness) 처리구는 다른 처리구들에 비하여 *in situ* 48시간 건물 분해율이 모든 배양시간대에서 높게($P<0.05$)

Table 1. Effects of processing methods of corn and their thickness on *in vitro* dry matter degradability, and total gas and methane production after 24 h incubation

	Micronized corn (2.5 mm thickness)	Steam flaked corn (2.9 mm thickness)	Steam flaked corn (3.1 mm thickness)	Steam flaked corn (3.3 mm thickness)	SEM ¹	<i>p</i> -value
Dry matter degradability, %	91.8	70.5	55.7	67.3	5.36	0.088
Total gas production, ml	51.0	48.1	38.5	45.0	1.51	0.001
Methane production, ml	8.20	7.30	4.60	6.60	0.42	0.001
Methane production, ml/DM degradability g	22.34	25.89	20.93	24.41	0.82	0.130

¹SEM, standard error of the mean

Table 2. Effects of processing methods of corn and their thickness on *in vitro* ruminal fermentation characteristics after 24 h incubation

	Micronized corn (2.5 mm thickness)	Steam flaked corn (2.9 mm thickness)	Steam flaked corn (3.1 mm thickness)	Steam flaked corn (3.3 mm thickness)	SEM ¹	<i>p</i> -value
pH	6.37	6.38	6.39	6.39	0.01	0.139
Total VFA, mmol/L	73.6	96.3	72.4	78.5	3.78	0.015
Acetate, %	43.6	46.7	51.5	47.1	0.71	0.003
Propionate, %	31.8	30.5 ^a	29.9	30.0	0.29	0.017
Isobutyrate, %	2.05	2.00	1.60	1.90	0.05	0.005
Butyrate, %	16.4	14.7	12.3	14.6	0.35	0.002
Isovalerate, %	4.50	4.60	3.40	4.50	0.13	0.003
Valerate, %	1.80	1.70	1.30	1.90	0.14	0.091
Acetate:propionate ratio	1.37	1.73	1.55	1.53	0.05	0.008
Ammonia-N, mg/100ml	18.1	18.7	14.7	18.1	0.51	0.004

¹SEM, standard error of the mean

나타났다. 반면, steam flaked corn(3.3 mm thickness) 처리구는 모든 배양시간대에서 가장 낮은($P<0.05$) *in situ* 건물 분해율을 보였다. 반추위 내에서 미생물에 의해 분해되는 b fraction은 이와 상반되는 결과인 steam flaked corn(3.1 mm thickness)과 steam flaked corn(3.3 mm thickness) 처리구에서 높게($P<0.05$) 나타났다. b fraction이 반추위를 통과하는 속도인 건물 분해상수 k값은 micronized corn(2.5 mm thickness) 처리구에서 가장 높게($P<0.05$) 나타났고 steam flaked corn(3.3 mm thickness) 처리구에서 가장 낮게($P<0.05$) 나타났다. 반추위내 시간당 통과속도를 0.05로 적용한 유효 건물 분해도는 건물 분해상수와 유사하게 micronized corn(2.5 mm thickness) 처리구에서 가장 높게($P<0.05$), steam flaked corn(3.3 mm thickness) 처리구에서 가장 낮게($P<0.05$) 나타났다. *In vitro* 반추위 48시간 건물 소실율은 micronized corn(2.5 mm thickness) 처리구에서 가장 높은 경향을($P=0.088$) 보인 반면 steam flaked corn 처리구들 사이에서는 두께에 따른 건물 소실율의 상관관계는 나타나지 않았다. 총 가스발생량 및 메탄 발생량에 있어서도 건물 소실율과 같은 결과인 micronized corn(2.5 mm thickness) 처리구에서 가장 높게 나타났으며($P=0.001$), 총 휘발성지방산은 steam flaked corn(2.9 mm thickness)의 처리구에서 가장 높게 나타났으나($P=0.015$) 나머지 처리구들에서는 유의적인 차이를 보이지 않았다. acetate: propionate의 비율 또한 steam flaked corn(2.9 mm thickness)의 처리구에서 가장 높게, micronized corn(2.5 mm thickness) 처리구에서 가장 낮게 나타났다($P=0.008$). 본 연구의 결과를 종합하면 steam flaked corn 처리구들에서 *in vitro* 휘발성지방산 농도에 있어 *in situ* 반추위내 건물 분해상수와 유효 건물 분해도의 결과와 비교하여 상관관계가 나타나지 않은 결과로 유추해 보면 옥수수 가공방법에 의한 두께의 차이는 반추위 메탄 발생량에 영향을 미치지 않은 것으로 판단된다.

V. 사사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(과제번호 PJ011762)의 지원에 의해 이루어진 것임.

VI. REFERENCES

- Anderson, M. J. and Obadiah, Y. E. 1984. Comparison of whole cotton, extruded soybeans, or whole sunflower seeds for lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 67:569-573.
- Bowman, J. G. P. and Firkins, J. L. 1993. Effects of forage species and particle size on bacterial cellulolytic activity and colonization *in situ*. *Journal of Animal Science*. 71:1623-1633.
- Chaney, A. L. and Marbach, E. P. 1962. Modified reagent for determination of urea and ammonia. *Clinical Chemistry*. 8:130-132.
- 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.
- Fodorah, P. M. and Hrudehy, S. E. 1983. A simple apparatus for measuring gas production by methanogenic cultures in serum bottles. *Environmental Technology Letters*. 4:425-432.
- Kim, N. S., Ha, J. K., Ko, Y. G., Kim, H. D., Kim, W. Y. and Kwak, B. O. 1996. Effects of corn processing methods on the nutrient utilization II. Effects of processed corn on ruminal degradability of starch and lower gut disappearance rates of dry matter and crude protein in Holstein dairy cows. *Korean Journal of Animal Nutrition and Feedstuffs*. 20:360-370.
- Kim, S. H., Mamuad, L. L., Jeong, C. D., Choi, Y. J., Lee, S. S., Ko, J. Y. and Lee, S. S. 2013. *In vitro* evaluation of different feeds for their potential to generate methane and change methanogen diversity. *Asian Australasian Journal of Animal Science*. 26:1698-1707.
- Kim, Y. K. 1991. The processing and usage of grain. *Korean Journal of Animal Nutrition and Feedstuffs*. 1991:188-203.
- Kim, Y. K. and Owens, F. N. 1985. Starch digestion by feedlot cattle. *Oklahoma Agr. Exp. Sta. Mp* 117:298.
- Lee, S. M., Kang, T. W., Lee, S. J., Ok, J. U., Moon, Y. H. and Lee, S. S. 2006. Studies on *in situ* and *in vitro* degradabilities, microbial growth and gas production of rice, barley and corn. *Journal of Animal Science and Technology*. 48:699-708.
- Marquadt, D. W. 1963. An algorithm for least squares estimation of nonlinear parameters. *Journal of the Society for Industrial and Applied mathematics*. 11:431-441.
- Moss, A. R., Jouany, J. P. and Newbold, J. 2000. Methane production by ruminants: Its contribution to global warming. *Ann. Zootech*. 49:231-253.
- Ørskov, E. R. and 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.
- Owens, F. 2005. Corn grain processing and digestion. Presented at the 66th Minnesota Nutrition Conf., St. Paul, MN. Sep. 20-21, 2005. [http://www.ddgs.umn.edu/articles-proc-storage-quality/2005-Owens%20\(MNC\)%20Corn%20genetics.pdf](http://www.ddgs.umn.edu/articles-proc-storage-quality/2005-Owens%20(MNC)%20Corn%20genetics.pdf).
- Owens, F. N., Secrist, D. S., Hill, W. J. and Gill, D. R. 1997. The effect of grain source and grain processing on performance of feedlot cattle: A review. *Journal of Animal Science*. 75:868-879.
- SAS. 1988. User's Guide: Statistics. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Song, M. K. and Kennelly, J. J. 1996. Evaluation of ruminal

- degradability and hind-gut digestibility of micronized feeds. Korean Journal of Animal Nutrition and Feedstuffs. 20(5):428-436.
- Thonroy, B. R. and Perry, T. W. 1974. *In vitro* digestion of raw, roasted and pressure-flaked corn. Journal of Dairy Science. 57:1058-1511.
- Weimer, P. J., Stevenson, D. M., Mertens, D. R. and Hall, M. B. 2011. Fiber digestion, VFA production, and microbial population changes during *in vitro* ruminal fermentations of mixed rations by monensin-adapted and unadapted microbes. Animal Feed Science and Technology. 169:68-78.
- Zinn, R. A., Adam, C. F. and Tamayo, M. S. 1995. Interaction of feed intake level on comparative ruminal and total tract digestion of dry-rolled and steam-flaked corn. Journal of Animal Science. 73:1239-1245.
- (Received : September 19, 2017 | Revised : November 12, 2017 | Accepted: November 12, 2017)