

ANIMAL

Changes in ruminal fermentable characteristics and nutrient degradabilities of corn flake according to chamber type in Hanwoo: chamber type for corn flake in the rumen of Hanwoo

Jun-Sang Ahn^{1,†}, Jong-Suh Shin^{2,†}, Ki-Yong Chung¹, Hwan Lim², Jang-Gun Choi², Ji-Hyung Kim², Eung-Gi Kwon¹, Byung-Ki Park^{3,*}

¹Hanwoo Research Institute, National Institute of Animal Science, RDA, Pyeongchang 25340, Korea

²Division of Animal Resource Science, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

³Nonghyup Feed Co., LTD., Seoul 05398, Korea

*Corresponding author: animalpark@hanmail.net

†These authors contributed equally to this work as the first authors.

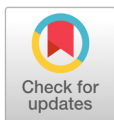
Abstract

This study was conducted to investigate the effect of a steam chamber type on the ruminal fermentable characteristics and nutrient degradabilities of corn flakes in Hanwoo. Three Hanwoo equipped with a ruminal fistula were used as experimental animals. There were two treatments: Corn flake using a steam chamber (CFSC, 1.0 atm - 100°C 96 min) or corn flake using a pressurized steam chamber (CFPSC, 1.5 atm - 111°C 12 min), respectively. In the *in vitro* trial, the ruminal pH was significantly lower in the CFPSC than in the CFSC ($p < 0.01$). The ammonia concentration was increased by 14.1% in the CFPSC compared to the CFSC ($p < 0.05$). The concentration of acetic acid was higher in the CFSC than in the CFPSC ($p < 0.01$). The concentrations of propionate, butyrate and total-VFA at 24 and 48 h were higher in the CFPSC than in the CFSC ($p < 0.05$). In the *in situ* trial, the degradability of dry matter was significantly higher in the CFSC than in the CFPSC ($p < 0.01$). In addition, the degradabilities of starch and crude protein were significantly higher in the CFSC than in the CFPSC ($p < 0.01$). Thus, the present results indicate that the pressurized steam chamber could be recommended to improve the feed value of corn flake according to the increase in the starch degradability and volatile fatty acid production.

Keywords: chamber type, corn flake, nutrient degradabilities, volatile fatty acid

Introduction

후레이킹 처리는 옥수수를 챔버에서 수분과 열을 가한 후 물을 통과시켜 압편시키는 물리적인 가공방식으로(Chuck-Hernandez et al., 2009) 옥수수의 건물 및 전분 소화율 증가를 통해 사료 효율의



OPEN ACCESS

Citation: Ahn JS, Shin JS, Chung KY, Lim H, Choi JG, Kim JH, Kwon EG, Park BK. 2018. Changes in ruminal fermentable characteristics and nutrient degradabilities of corn flake according to chamber type in Hanwoo: chamber type for corn flake in the rumen of Hanwoo. Korean Journal of Agricultural Science. <https://doi.org/10.7744/kjoas.20180054>

DOI: <https://doi.org/10.7744/kjoas.20180054>

Received: April 19, 2018

Revised: July 4, 2018

Accepted: July 24, 2018

Copyright: © 2018 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.

향상을 목적으로 보편적으로 사용되고 있으며, 가공비용은 톤당 6.79 - 7.16달러 수준으로 다른 가공방법에 비해 상대적으로 높은 편이다(Cooper et al., 2001). 그러나 전분의 젤라틴화, 단백질 매트릭스 및 외피의 파괴 등을 통한 소화율 향상, 사료 가치 증진, 효소활성 증가, 에너지 이용성 향상 및 생산성 개선 등의 효과(Lee et al., 2008; Depenbusch et al., 2009; May et al., 2009; Uwituzze et al., 2010)로 인해 비용적인 측면을 고려하지 않을 정도로 효과적인 가공방법인 것으로 보고되어 있다(Chuck-Hernandez et al., 2009).

옥수수 후레이크는 대기압 조건의 스팀 챔버를 이용하여 생산되는 방식이 일반적이며, 챔버의 온도는 86 - 102°C (Plascencia and Zinn, 1996; Domby et al., 2014; Schwandt, 2015), 가공시간은 32 - 75분(Zinn, 1990; Schwandt, 2015) 정도로 보고되어 왔다. 일반적으로 옥수수 후레이크 생산을 위해 사용되어 왔던 기존 스팀 챔버의 생산 효율(시간 단축 및 비용 절감)을 높이기 위해 최근에는 압력 방식을 도입한 가압식 스팀 챔버가 사료회사에 보급되어 이용되고 있다. 압력차리는 전분의 젤라틴화 개시온도 및 엔탈피 감소 (Douzals et al., 2001; Liu et al., 2009), 효과적인 열 전달(Bahrani et al., 2012) 등으로 인한 옥수수 후레이크의 생산 시간 및 비용 감소를 통해 생산 효율을 개선시키는 것으로 평가되고 있다. 그러나 아직까지 기존의 스팀 챔버와 가압식 스팀 챔버를 이용하여 생산된 옥수수 후레이크의 품질 및 사료가치를 비교·평가한 연구는 보고된 바 없다.

따라서 본 연구는 반추위 fistula가 장착된 한우를 대상으로 스팀 챔버 및 가압식 스팀 챔버를 이용하여 생산된 옥수수 후레이크의 반추위 발효특성 및 영양소 분해율을 비교하기 위해 수행되었다.

Materials and Methods

시험장소, 시험기간 및 공시동물

본 연구는 강원대학교 부속 실험목장에서 7개월간 수행 되었다. 공시동물은 반추위 fistula가 장착된 한우 암소 3두(평균 체중 327 ± 41 kg)를 이용하였다.

시험구 처리

공시재료는 스팀 챔버(1.0 atm - 100°C - 96분) 및 가압식 스팀 챔버(CFPSC, 1.5 atm - 111°C - 12분)를 이용하여 생산된 옥수수(남미산) 후레이크 2종을 이용하였다. *In vitro* 및 *in situ* 시험을 위한 시험구는 스팀 챔버를 이용하여 생산된 옥수수 후레이크 처리구(Corn flake using steam chamber, CFSC)와 가압식 스팀 챔버를 이용하여 생산된 옥수수 후레이크 처리구(Corn flake using pressurized steam chamber, CFPSC)의 2처리로 하였다. 본 연구에서 이용된 옥수수 후레이크의 화학적 조성은 Table 1과 같다.

Table 1. Chemical composition of corn flakes (DM-basis).

Items (%)	Corn flakes	
	CFSC	CFPSC
Dry matter	90.06 ± 0.45	90.42 ± 0.94
Crude protein	7.82 ± 0.05	8.01 ± 0.49
Ether extract	3.22 ± 0.58	3.15 ± 0.51
Crude fiber	2.11 ± 0.72	1.82 ± 0.55
Crude ash	1.13 ± 0.00	1.14 ± 0.01
Starch	60.79 ± 1.52	59.57 ± 1.43
Gelatinization	32.27 ± 2.57	36.36 ± 2.98

DM, dry matter; CFSC, corn flake using steam chamber; CFPSC, corn flake using the pressurized steam chamber.

조사항목 및 분석방법

일반성분, 호화도 및 전분 분석

옥수수 일반성분은 AOAC (2005)방법에 준하여 수분, 조단백질, 조지방, 조회분 및 조섬유를 분석하였다.

옥수수 후레이크의 호화도(Gelatinization)는 적정법(MFDS, 2016)을 이용하여 측정하였다. 0.5 mm로 분쇄한 시료 1 g을 총 5개의 250 mL 삼각플라스크(A1, A2, A3, A4 및 B)에 각각 정량한 후 증류수 50 mL를 가하였다. 그 후 A1 및 A2를 15분간 100°C의 water bath에서 마개를 막고 가열한 뒤 급속히 냉각시킨 다음 A1, A3 및 B에 각각 5% diastase를 첨가한 후 5개의 플라스크(A1, A2, A3, A4 및 B)를 37°C water bath에서 90분간 진탕하였다. 이후 1 N-HCl 2 mL 가한 다음 증류수를 첨가하여 100 mL로 정용화하였다. 정용화된 용액을 건조여과지(No. 2)로 여과하였으며, 여과된 용액과 증류수를 각각 10 mL씩 5개의 공전플라스크(a1, a2, a3, a4, b 및 BT)에 취하고, 0.1 N-Iodine 용액 10 mL를 가한 후 stop watch를 사용하여 같은 시간 간격으로(5분) 18 mL의 0.1 N-NaOH를 가하여 밀전, 진탕 및 혼합시킨 후 정확히 15분간 방치하였다. 이후 최초의 공전플라스크가 15분이 경과하면 위와 같은 시간 간격으로 10% H₂SO₄를 2 mL 첨가한 후 0.1 N-Na₂S₂O₃ 용액을 사용하여 종말점이 무색이 되는 점을 기준으로 하여 적정하였다.

전분은 비색법(MAFRA, 2017)을 이용하여 측정하였다. 시료 0.2 g을 50 mL tube에 넣은 후 80% 에탄올 200 µL로 시료를 적신 다음 증류수 5 mL를 첨가하여 vortex mixer를 이용하여 혼합하였다. 이후 75°C의 80% 에탄올 25 mL를 첨가하여 5분 방치한 후 3,000 RCF (Relative centrifugal force)으로 15분 동안 원심분리 하였으며, 다시 상층액을 제거한 다음 75°C의 80% 에탄올을 30 mL 첨가하여 3,000 RCF으로 15분 동안 원심분리를 실시하였다. 상층액을 제거한 다음 40°C에서 1시간 건조시킨 뒤 증류수 5 mL와 52% perchloric acid (Daejung, Korea) 6.5 mL를 첨가하여 20분 동안 교반 후 증류수 20 mL 첨가하고 3,000 RCF으로 15분 동안 원심분리 하였다. 희석된 용액 1 mL와 anthrone 5 mL를 혼합하여 100°C에서 12분간 가열한 다음 상온으로 냉각시킨 후 630 nm에서 흡광도 분석기(VERSA max, Molecular devices, USA)를 이용하여 측정하였다.

In vitro 반추위 발효특성

반추위액은 반추위 fistula가 장착된 한우 암소 1두에서 오전 사료 급여 전에 채취한 후 4겹의 cheese cloth로 여과하여 미리 예열된 39°C 보온병에 담고 O₂ free CO₂ gas를 30초간 주입하여 공기를 제거하였다. 채취된 반추위액은 실험실까지 운반하여 39°C의 incubator에서 1시간 동안 정치시킨 후 8겹의 cheese cloth로 2차 여과하여 사료 입자와 부유물을 제거한 다음 *in vitro* 배양을 위한 inoculum으로 이용하였다.

In vitro 배양액은 rumen inoculum 400 mL를 미리 제조된 인공타액(buffer solution A 및 B) 1,596 mL에 첨가하여 제조하였다(Mc Dougall, 1948). 인공타액은 buffer solution A 및 B로 구분하여 조제하였으며, 시험 개시 전에 buffer solution A (1,330 mL)와 B (266 mL)를 동시에 혼합한 후 pH가 6.8이 되도록 조정 하였다.

제조된 *in vitro* 배양액은 1 mm로 분쇄된 2 g의 시험사료(CFSC 및 CFPSC)가 들어있는 100 mL bottle (4 OZ glass bottle)에 70 mL를 넣은 후 O₂ free CO₂ gas를 5초간 주입하여 배양 bottle반추위의 공기를 제거한 다음 즉시 전용 마개를 이용하여 밀봉한 후 혐기 상태를 유지하였다. 그 다음 39°C의 shaking incubator (HB-201SLI)에서 3, 6, 9, 12, 24 및 48시간 동안 배양을 실시하였다.

배양액의 pH는 시간대별로 배양중인 100 mL bottle에서 pH meter (Corning 445, Corning, USA)를 이용하여 측정기를 bottle 내부로 삽입한 다음 3회 반복하여 측정하였다. 암모니아 농도의 분석을 위해 배양 시간대별로 100 mL bottle에서 pipette (P09-59-101, Brand GmBH, Germany)을 이용하여 5 mL의 배양액을 채취한 후 자동 수질분석기(Quik Chem 8500 series2, Lachat, USA)를 이용하여 3회 반복으로 측정하였다.

휘발성지방산의 농도를 분석하기 위해 배양 시간대별로 100 mL bottle에서 pipette을 이용하여 10 mL의 배양액을 채취한

후 20%의 HPO₃ 1 mL 및 포화 HgCl₂ 0.5 mL를 첨가하고, 4°C에서 3000 RCF 조건으로 15분간 원심 분리하여 상층액을 취한 다음 gas chromatograph (Shimadzu-17A, Shimadzu, Japan)를 이용하여 휘발성지방산 농도를 측정하였다.

In situ 반추위 영양소 분해율

In situ 반추위 배양은 nylon bag (ANKOM 5 × 10 cm concentrate bags)에 시료 5 g을 넣은 후 nylon bag을 배양 시간별로 그물망에 담아 오전 사료 급여 전 fistula를 통해 반추위에 현수시켰다. 반추위 현수 시간은 3, 6, 9, 12, 24 및 48시간이었다. 시간대별로 채취한 nylon bag은 맑은 물이 나올 때까지 세척한 후 70°C 열풍 순환식 건조기에서 72시간 동안 건조시켰다. 건조가 완료된 시료는 무게를 측정하여 건물 분해율 계산에 이용하였으며, 시료를 1.0 mm 크기로 분쇄시켜 화학적 조성을 분석하는데 사용하였다.

건물 분해율은 반추위 배양 전후 건물의 무게 차이를 이용하여 산출하였으며, 전분 및 조단백질 분해율은 배양 전후의 건물 무게와 전분 및 조단백질 함량을 이용하여 산출하였다.

통계분석

가압식 스팀 챔버를 이용하여 생산된 옥수수 후레이크와 스팀 챔버를 이용하여 생산된 옥수수 후레이크가 in vitro 조건의 반추위 발효특성과 in situ 조건의 영양소 분해율에 미치는 영향을 파악하기 위해 챔버의 종류를 처리로 설정하였다. 또한 각 챔버에서 생산된 옥수수 후레이크를 이용하여 in vitro 조건의 반추위 pH, acetate, propionate, butyrate 및 total volatile fatty acids (total-VFA) 결과와 in situ 조건의 건물, 전분 및 조단백질 분해율 결과를 다음과 같은 선형 모형을 적용하여 분석하였다.

$$Y_{ijk} = \mu + TT_i + TM_j + (TT*TM)_{ij} + e_{ijk}$$

여기서 Y_{ijk} = 개별관측치, μ = 전체 평균치, TT_i = i번째 처리의 효과(2 수준), TM_j = j 번째 배양 시간의 효과 (j = 3, 6, 9, 12, 24, 48시간), (TT*TM)_{ij} = i번째 처리와 j번째 배양시간의 상호작용효과, e_{ijk} = 임의 오차이다.

본 연구에서 설정한 선형모형을 SAS 9.2 GLM Procedure (SAS Institute, USA)를 이용하여 분석하였으며, GLM 분석결과에서 불균형된 자료의 적합한 TYPE III 제곱합을 이용하여 분산분석을 실시하였고, 분산분석 후 평균간 비교를 위해 처리의 효과는 t-검정을 하였으며, 시간의 효과는 Duncan의 다중검정을 실시하였다.

Results and Discussion

챔버의 종류가 옥수수 후레이크의 in vitro 반추위 발효특성에 미치는 영향에 대한 분산분석 결과는 Table 2와 같다. 챔버의 종류는 in vitro 반추위 배양액의 pH (p < 0.05), ammonia (p < 0.01), acetate (p < 0.01), propionate (p < 0.01), butyrate (p <

Table 2. Analysis of variance on the chamber types of corn flake affecting in vitro ruminal parameters.

Items	Df	Mean square					
		pH	Ammonia	Acetate	Propionate	Butyrate	Total-VFA
Trt ^x	1	0.14*	458.19**	3828.43**	5581.16**	1424.09**	2556.94 ^{NS}
Time ^y	5	30.22**	1784.11**	336167.28**	369695.06**	108149.70**	2255767.86**
Trt × time ^z	5	0.20**	36.78*	1350.59**	703.54 ^{NS}	830.06**	5163.45**
Error	364	0.03	14.90	463.48	389.57	175.74	1250.93

Df, degree of freedom; Total-VFA, total volatile fatty acids.

^x steam chamber and pressurized steam chamber.

^y in vitro ruminal incubation time.

^z trt × time interactions.

** p < 0.01, * p < 0.05, ^{NS} not significant.

0.01) 및 Total-VFA ($p < 0.01$) 농도에 유의적인 영향을 미치는 결과를 보였으며, 반추위 배양시간별 발효특성 결과에서도 챔버의 종류가 영향을 미치는 것으로 나타났다($p < 0.01$).

챔버의 종류가 옥수수 후레이크의 *in vitro* 반추위 발효특성에 미치는 영향에 대한 최소제곱평균의 결과는 Table 3과 같다. *In vitro* 반추위 배양액의 pH는 CFSC에 비해 CFPSC에서 유의적으로 낮았으며($p < 0.05$), ammonia 농도는 CFSC에 비해 CFPSC에서 14.1% 증가되는 결과를 보였다(17.48 vs 19.94 mg/dL). Acetate 농도는 CFPSC에 비해 CFSC에서 높았지만, propionate 농도는 CFSC에 비해 CFPSC에서 높은 결과를 보였다($p < 0.01$, 103.01 vs 111.59 mol/dL). Butyrate 및 Total-VFA 농도도 CFSC에 비해 CFPSC에서 높은 결과를 보였다($p < 0.05$).

챔버의 종류가 옥수수 후레이크의 *in vitro* 반추위 배양시간별 발효특성에 미치는 영향은 Table 4 및 5와 같다. *In vitro* 반추위 배양액의 pH는 배양 12시간까지 처리간 차이가 없었지만, 배양 24시간에 CFSC에 비해 CFPSC에서 pH가 낮게 나타났다($p < 0.05$). Ammonia 농도는 배양 6, 9 및 24시간에 CFSC에 비해 CFPSC에서 높은 결과를 보였으며($p < 0.05$), 처리에 관계없이 배양시간에 따라 증감을 반복했다. Acetate 농도는 배양 3시간부터 24시간까지 CFPSC에 비해 CFSC에서 높았지만, 배양 48시간에는 CFSC에 비해 CFPSC에서 높게 나타났다($p < 0.05$). Propionate 농도는 CFSC에 비해 CFPSC에서 각각의 배양시간에서 20.3, 10.9, 4.2, 7.0, 13.5 및 5.1% 증가되는 경향을 보였으며, 특히 배양 24 및 48시간의 propionate 농도는 CFSC에 비해 CFPSC에서 유의적으로 높았다($p < 0.05$). Butyrate 및 Total-VFA 농도는 배양 24 및 48시간에 CFSC에 비해 CFPSC에서 높은 결과를 보였다($p < 0.05$).

챔버의 종류가 옥수수 후레이크의 반추위 건물, 전분 및 조단백질 분해율에 미치는 영향에 대한 분산분석의 결과는 Table 6과 같다. 챔버 종류는 옥수수 후레이크의 건물, 전분 및 조단백질 분해율에 유의적인 영향을 미치는 것으로 나타났으며($p < 0.01$), 챔버의 종류는 배양시간별 건물, 전분 및 조단백질 분해율 변화에도 유의적인 영향을 미쳤다($p < 0.01$).

챔버의 종류가 옥수수 후레이크의 반추위 건물, 전분 및 조단백질 분해율에 미치는 영향에 대한 최소제곱평균의 결과는

Table 3. Least squares mean of *in vitro* ruminal parameters of corn flake by the chamber types.

Items	CFSC	CFPSC	SEM	p-value
pH	5.85	5.81	0.01	0.03
Ammonia (mg/dL)	17.48	19.94	0.31	0.01
Acetate (mol/dL)	201.76	194.66	1.70	0.01
Propionate (mol/dL)	103.01	111.59	1.56	0.01
Butyrate (mol/dL)	62.58	66.91	1.05	0.01
Total-VFA (mol/dL)	367.35	373.16	2.80	0.15

CFSC, corn flake using steam chamber; CFPSC, corn flake using the pressurized steam chamber; SEM, standard error of the means; Total-VFA, total volatile fatty acids.

Table 4. Changes in *in vitro* ruminal pH and ammonia concentration of corn flake by the chamber types.

Time (h)	pH				Ammonia (mg/dL)			
	CFSC	CFPSC	SEM	p-value	CFSC	CFPSC	SEM	p-value
3	6.65a	6.68a	0.01	0.59	26.25a	28.42a	0.92	0.06
6	6.41b	6.41b	0.02	0.90	22.35ab	28.17a	0.71	0.01
9	6.02c	5.93c	0.02	0.08	15.25c	18.72c	1.22	0.01
12	5.23d	5.20d	0.08	0.54	21.20b	22.70b	0.61	0.20
24	5.12d	4.79e	0.05	0.01	15.22c	17.79c	0.80	0.03
48	4.76e	4.84e	0.02	0.11	12.34c	14.13d	0.79	0.12

CFSC, corn flake using steam chamber; CFPSC, corn flake using the pressurized steam chamber; SEM, standard error of the means.

a - e: Means without same superscripts within a column are significantly different ($p < 0.05$).

Table 5. Changes in *in vitro* ruminal volatile fatty acid concentration of corn flake by the chamber types.

Items (mol/dL)	Time (h)	CFSC	CFPSC	SEM	p-value
Acetate	3	121.49f	119.11f	2.55	0.72
	6	149.33e	138.71e	4.16	0.11
	9	208.71d	190.46d	6.22	0.01
	12	245.36c	228.35c	6.83	0.01
	24	273.43b	259.44b	5.34	0.03
	48	328.42a	341.26a	2.98	0.05
Propionate	3	30.82e	37.09e	1.13	0.30
	6	41.85e	46.41e	1.70	0.45
	9	71.80d	74.81d	1.95	0.62
	12	106.14c	113.62c	3.40	0.21
	24	181.86b	206.38b	8.35	0.01
	48	263.31a	276.64a	3.51	0.03
Butyrate	3	24.31e	22.81e	1.40	0.71
	6	30.85e	29.23e	1.48	0.69
	9	51.46d	52.41d	2.69	0.81
	12	74.01c	73.84c	2.40	0.97
	24	110.01b	122.06b	3.37	0.01
	48	134.69a	155.67a	3.52	0.01
Total-VFA	3	176.62f	179.01f	4.22	0.83
	6	222.02e	214.35e	6.13	0.48
	9	331.98d	317.68d	8.31	0.18
	12	425.52c	415.82c	9.26	0.37
	24	565.30b	587.88b	10.52	0.04
	48	726.42a	773.57a	5.98	0.01

CFSC, corn flake using steam chamber; CFPSC, corn flake using the pressurized steam chamber; SEM, standard error of the means.

a - f: Means without same superscripts within a column are significantly different ($p < 0.05$).

Table 6. Analysis of variance on ruminal dry matter, starch and protein degradability of corn flake by the chamber types.

Items	Df	Mean square		
		Dry matter	Starch	Protein
Trt ^x	1	8,999.91 ^{**}	8,925.98 ^{**}	1,535.56 ^{**}
Time ^y	5	14,378.43 ^{**}	49,675.89 ^{**}	1,634.66 ^{**}
Trt × time ^z	5	117.10 ^{**}	265.86 ^{**}	14.13 ^{NS}
Error	741	13.18	17.14	29.45

Df, degree of freedom.

^x steam chamber and pressurized steam chamber.

^y *in vitro* ruminal incubation time.

^z trt × time interactions.

^{**} $p < 0.01$, ^{*} $p < 0.05$, ^{NS} not significant.

Table 7과 같다. 건물 및 전분 분해율은 CFSC에 비해 CFPSC에서 높은 결과를 보였으며($p < 0.01$), 조단백질 분해율도 CFSC에 비해 CFPSC에서 높았다($p < 0.05$).

챔버의 종류가 옥수수 후레이크의 배양시간별 반추위 건물, 전분 및 조단백질 분해율에 미치는 영향은 Table 8과 같다. 건물 분해율은 전체 배양시간 동안 CFSC에 비해 CFPSC에서 유의적으로 높았으며($p < 0.01$), 배양시간별로 CFSC에 비해 CFPSC에서 각각 6.3, 7.7, 9.9, 9.3, 9.4 및 8.1% 높은 결과를 보였다. 전분 분해율은 전체 배양시간에서 CFSC에 비해 CFPSC에서 높았으며($p < 0.01$), 특히 배양 9시간에 가장 많은 차이를 보였다. 조단백질 분해율도 CFSC에 비해 CFPSC에서 배양시

Table 7. Least squares mean of ruminal dry matter, starch and protein degradability of corn flake by the chamber types.

Items	CFSC	CFPSC	SEM	p-value
Dry matter	29.26	36.97	0.20	0.01
Starch	28.89	36.56	0.23	0.01
Protein	26.18	29.36	0.30	0.01

CFSC, corn flake using steam chamber; CFPSC, corn flake using the pressurized steam; SEM, standard error of the means.

Table 8. Changes in ruminal dry matter, starch and protein degradability of corn flake by the chamber types.

Items (%)	Time (h)	CFSC	CFPSC	SEM	p-value
Dry matter	3	21.29e	27.61f	0.48	0.01
	6	23.49d	31.21e	0.44	0.01
	9	24.90d	34.78d	0.51	0.01
	12	27.49c	36.77c	0.41	0.01
	24	37.73b	47.13b	0.61	0.01
	48	53.05a	61.16a	0.55	0.01
Starch	3	8.43f	16.81f	0.59	0.01
	6	14.84e	24.32e	0.54	0.01
	9	22.03d	34.22d	0.66	0.01
	12	31.43c	41.80c	0.58	0.01
	24	51.93b	59.00b	0.65	0.01
	48	70.22a	73.49a	0.38	0.01
Protein	3	22.77d	25.67e	0.64	0.01
	6	24.27cd	27.37de	0.58	0.01
	9	25.68c	29.46cd	0.59	0.01
	12	26.56cb	30.58c	0.57	0.01
	24	29.07b	33.14b	0.83	0.01
	48	33.84a	36.23a	0.92	0.04

CFSC, corn flake using steam chamber; CFPSC, corn flake using the pressurized steam chamber; SEM, standard error of the means.

a - f: Means without same superscripts within a column are significantly different ($p < 0.05$).

간에 관계없이 높은 결과를 보였으며($p < 0.01$), 배양시간별 처리간의 차이는 2.4 - 4.1% 범위로 나타났다.

반추위 pH 및 대사산물(휘발성지방산 및 암모니아 등)은 사료의 영양소 함량, 분해율, 미생물의 접근성 및 효소 활성 등에 따라 달라질 수 있다(Owens and Basalan, 2016). 본 연구에서 챔버 종류는 옥수수 후레이크의 반추위 pH, ammonia 및 휘발성지방산 생성량과 영양소(건물, 전분 및 조단백질) 분해율에 유의미한 영향을 미치는 것으로 나타났는데, 이는 압력의 유무(챔버의 종류)가 옥수수 후레이크의 품질 및 사료가치에 영향을 미치는 요인인 것으로 추정된다.

반추위 pH는 미생물에 의해 발생하는 다양한 발효산물에 영향을 받는데(Kim et al., 2016), 주로 반추위에서 빠르게 발효되는 비섬유성탄수화물(Non-fiber carbohydrate, NFC) 및 전분의 함량에 영향을 받는다(Krause and Oetzel, 2006). 본 연구에서 반추위 pH가 스팀 챔버에 비해 가압식 스팀 챔버에서 생산된 옥수수 후레이크에서 낮게 나타난 원인은 가압 처리로 인해 전분의 이용성이 향상되어 반추위 pH에 영향을 미칠 수 있는 propionate 및 lactate 등의 유기산 생성량이 증가되었기 때문인 것으로 판단된다(Cardozo et al., 2005; Keles and Demirci, 2011). 비록 본 연구에서 lactate 농도 변화를 조사하지는 못했지만, Mackie and Gilchrist (1979)는 반추위에서 미생물이 이용 가능한 곡물(탄수화물)의 양이 증가될수록 lactate 생성량이 증가되었다고 보고하여 본 연구에서 가압 챔버를 이용하여 생산된 옥수수 후레이크의 전분 분해율 증가에 따른 pH 저하 현상을 뒷받침하고 있는 것으로 판단된다.

사료 단백질은 반추위에서 아미노산 및 ammonia로 분해되며, 반추위 미생물은 ammonia-N를 이용하여 미생물체 단백질을 합성한다(May et al., 2009). 본 연구에서 가압식 스팀 챔버에 비해 스팀 챔버를 이용하여 생산된 옥수수 후레이크의 ammonia 생성량이 감소되었던 원인은 상대적으로 스팀 챔버에서 열에 대한 노출시간(96분)이 증가되어 변성 단백질이 증가했기 때문인 것으로 판단된다. Eggum (1979)는 사료를 133°C에서 10분간 가열하였을 때 105 및 118°C에 비해 단백질 이용효율이 낮아졌으며, 조단백질 소화율 이외에도 라이신 및 메치오닌의 이용성도 저하되는 것으로 보고한 바 있다. 비록 본 연구에서 스팀 챔버에 비해 가압식 스팀 챔버의 온도 조건(100 vs 111°C) 높았지만, 챔버 체류 시간이 1/8로 월등히 짧았기 때문에 변성 단백질 생성량이 적어 조단백질 소화율이 개선되었던 것으로 판단된다. 한편, 본 연구에서 처리에 관계없이 ammonia 생성량이 일관된 경향을 보이지 않고 증감을 반복했던 원인은 반추위 미생물에 의한 ammonia-N의 이용경로에 따른 미생물체 단백질 합성(Jang, 2016)과 미생물의 자가 분해(Xin, 2010)의 영향 때문인 것으로 판단된다.

일반적으로 반추위에서 영양소의 소화는 미생물에 의해 촉진되며 최종적으로 휘발성지방산이 생성되는데(Safaei and Yang, 2017), 반추위에서 생산되는 휘발성지방산의 비율 및 농도는 사료의 조성, 급여 시간, 빈도, 가용성 정도, 분해 속도 및 미생물의 종 등에 따라 달라질 수 있다(Schwandt, 2015).

본 연구에서 propionate 및 total-VFA 농도가 가압식 스팀 챔버의 도입으로 인해 증가된 결과는 옥수수 후레이크 전분의 호화도 및 소화율 증가에 원인이 있는 것으로 판단된다. Gomes et al. (1998)은 전분에 압력을 가했을 때 α -amylase와 β -amylase의 활성이 증가된다고 하여 본 연구에서 가압식 스팀 챔버를 이용하여 생산된 옥수수 후레이크에서 propionate 농도가 높았던 결과를 뒷받침하고 있다. 또한 이전의 연구결과들(Hale et al., 1967; Hale, 1973; Perry, 1970)에서도 호화된 전분 함량의 증가는 반추위에서 전분의 이용성 향상으로 propionate 농도를 증가시킨다고 하여 본 연구의 결과를 뒷받침하고 있는 것으로 판단된다. 또한 반추위 pH가 낮아질수록 propionate 수율이 증가되었다는 Hsu and Yang (1991)의 연구결과를 바탕으로 가압식 스팀 챔버의 도입으로 인해 호화도(Table 1)가 증가된 결과와 반추위 pH가 낮게 나타난 결과(Table 3 and 4)도 연관이 있는 것으로 판단된다.

압력은 증기를 균일하게 확산시켜 전분 과립에 효과적으로 열을 전달할 수 있으며(Bahrani et al., 2012), 전분의 젤라틴화에 필요한 엔탈피를 감소시키는 장점이 있고(Douzals et al., 2001; Liu et al., 2009), 비정질상의 가역 수화 전에 전분 과립의 결정질 영역을 왜곡시켜 과립 구조를 파괴시키는 것으로 보고되고 있다(Błaszczak et al., 2007; Rubens and Heremans, 2000). 본 연구에서 가압식 스팀 챔버의 도입으로 옥수수 후레이크의 건물 및 전분 분해율이 높게 나타났던 원인은 압력으로 인한 전분의 호화도 개선과 챔버 체류 시간 단축에 따른 저항전분의 감소 때문인 것으로 판단된다. Liu et al. (2009)은 압력 처리가 전분의 호화에 크게 영향을 미친다고 보고한 바 있는데, 본 연구에서도 가압식 스팀 챔버의 도입으로 옥수수 후레이크의 전분 호화도가 높게 나타났으며, 전분의 호화도가 증가되면 반추위 미생물의 효소에 의한 전분 가용성이 개선된다는 이전의 연구결과들(Kokic et al., 2013; Schwandt et al., 2017)과도 유사한 결과를 보인 것으로 판단된다.

또한 Siddhuraju and Becker (2001)는 전분에 압력을 가하면 일반 전분에 비해 전분 소화율이 67% 증가한 것으로 보고하여 본 연구에서 가압식 스팀 챔버의 도입으로 전분 소화율이 개선된 결과를 뒷받침하고 있다. 이외에도 압력 효과로 인한 전분의 이용성 개선에 대한 연구결과들이 다수 보고된 바 있다(Salariya, 2005; Park et al., 2009; Tan et al., 2009).

한편 호화된 전분은 온도의 하강으로 인해 결정상태 또는 규칙적으로 배열된 상태로 변하게 되면서 저항전분이 형성되어 소화율 저하의 원인이 되며, 오랜 시간 동안의 가열은 내성전분 생성에 상당한 영향을 미치는 것으로 보고되어 왔다(Slade and Levine, 1993; Julliard et al., 2006). 본 연구에서 가압식 스팀 챔버의 온도는 111°C로 스팀 챔버의 100°C에 비해 약간 높았지만, 챔버 체류 시간은 가압식 스팀 챔버에서 12분으로 스팀 챔버의 96분에 비해 현저히 낮았기 때문에 저항전분의 생성이 상대적으로 적었을 것으로 추측된다. 결과적으로 스팀 챔버에 비해 상대적으로 열에 대한 노출 시간이 짧았던 가압식 스팀 챔버를 이용하여 생산된 옥수수 후레이크에서 내성전분 함량의 감소와 호화도의 증가로 인해 건물 및 전분 분해율이 높았던 것으로 판단된다.

옥수수 단백질의 40 - 45%는 반추위 미생물에 의해 분해되어 성장과 단백질 합성을 위해 사용되는 것으로 알려져 왔으며 (Lardy, 2002), 본 연구에서도 옥수수 후레이크의 조단백질 분해율은 33 - 46% 수준으로 나타나 이전 연구결과와 유사한 경향을 보인 것으로 판단된다. 한편 가압식 스팀 챔버의 도입으로 조단백질 분해율이 높았던 이유는 챔버 체류시간 단축으로 열에 대한 노출이 감소되어 변성 단백질 생성(Fiems et al., 1990; Focant et al., 1990)이 적었기 때문인 것으로 판단된다. 또한 Ljokjel et al. (2003)은 단백질에 열을 가하면 구조가 변하게 되는데, 열에 지속적으로 노출되는 과정에서 전분과 단백질이 결합하여 소화율이 감소된다고 하여 본 연구에서 열에 대한 노출시간이 길었던 스팀 챔버를 이용하여 생산된 옥수수 후레이크의 전분 및 단백질 분해율이 낮았던 결과를 뒷받침하고 있는 것으로 판단된다.

따라서 본 연구의 결과에서 옥수수 후레이크 제조 과정에서 가압식 스팀 챔버의 도입으로 propionate, total-VFA 및 ammonia 생성량이 증가되었으며, 건물, 전분 및 조단백질 분해율도 개선되는 결과를 보였다. 또한 가압식 스팀 챔버는 챔버 체류 시간 단축에 따른 저항전분 및 단백질 변성 감소와 압력효과로 인한 전분의 호화도 개선을 통해 옥수수 후레이크의 사료가치를 향상시키는데 효과적인 것으로 판단된다.

Conclusion

본 연구는 챔버의 종류가 한우에서 옥수수 후레이크의 반추위 발효특성 및 영양소 분해율에 미치는 영향을 검토하기 위해 수행되었다. 공시동물은 반추위 fistula가 장착된 한우 암소 3두를 이용하였다. 시험구는 스팀 챔버를 이용하여 생산된 옥수수 후레이크(CFSC, 1.0 atm - 100°C - 96분) 및 가압식 스팀 챔버를 이용하여 생산된 옥수수 후레이크(CFPSC, 1.5 atm - 111°C - 12분)의 2처리로 하였다. 반추위 pH는 CFSC에 비해 CFPSC에서 유의적으로 낮은 결과를 보였으며($p < 0.01$), ammonia 농도는 CFSC에 비해 CFPSC에서 14.1% 증가되었다($p < 0.05$). *In vitro* 배양 24 및 48시간의 propionate, butyrate 및 total-VFA 농도는 CFSC에 비해 CFPSC에서 높은 결과를 보였다($p < 0.05$). 반추위 건물($p < 0.01$), 전분($p < 0.01$) 및 조단백질($p < 0.05$) 분해율은 CFSC에 비해 CFPSC에서 높았다. 따라서 본 연구에서 가압식 스팀 챔버는 전분 소화율 향상 및 휘발성지방산 생성량 증가를 통해 옥수수 후레이크의 사료적 가치를 향상시키는데 효과적인 것으로 판단된다.

Acknowledgements

본 연구는 강원대학교 전임교원 기본연구비 지원사업(D1000738-01-01)과 2018년도 농촌진흥청 국립축산과학원 전문연구원과정 지원사업에 의해 수행되었습니다.

References

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2005. Official methods of analysis, 18th ed. AOAC, Arlington, Virginia, USA.
- Bahrani SA, Loisel C, Rezzoug SA, Doublier JL, Maache-Rezzoug Z. 2012. Role of vacuum steps added before and after steaming treatment of maize starch. Impact on pasting, morphological and rheological properties. Carbohydrate polymers 89:810-820.
- Błaszczak W, Fornal J, Kiseleva VI, Yuryev VP, Sergeev AI, Sadowska J. 2007. Effect of high pressure on thermal, structural and osmotic properties of waxy maize and Hylon VII starch blends. Carbohydrate Polymers 68:387-396.

- Cardozo PW, Calsamiglia S, Ferret A, Kamel C. 2005. Screening for the effects of natural plant extracts at different pH on in vitro rumen microbial fermentation of a high-concentrate diet for beef cattle. *Journal of animal science* 83:2572-2579.
- Chuck-Hernandez C, Perez-Carrillo E, Serna-Saldivar SO. 2009. Production of bioethanol from steam-flaked sorghum and maize. *Journal of Cereal Science* 50:131-137.
- Cooper R, Milton T, Klopfenstein TJ, Clark D. 2001. Economic evaluation of corn processing for finishing cattle. *Nebraska Beef Cattle Reports*. pp. 51-54.
- Depenbusch BE, Loe ER, Sindt JJ, Cole NA, Higgins JJ, Drouillard JS. 2009. Optimizing use of distillers grains in finishing diets containing steam-flaked corn. *Journal of animal science* 87:2644-2652.
- Domby EM, Anele UY, Gautam KK, Hergenreder JE, Pepper-Yowell AR, Galyean ML. 2014. Interactive effects of bulk density of steam-flaked corn and concentration of Sweet Bran on feedlot cattle performance, carcass characteristics, and apparent total tract nutrient digestibility. *Journal of animal science* 92:1133-1143.
- Douzals JP, Perrier-Cornet JM, Coquille JC, Gervais P. 2001. Pressure-temperature phase transition diagram for wheat starch. *Journal of agricultural and food chemistry* 49:873-876.
- Eggum BO. 1979. In decontamination of animal feeds by irradiation: Effect of radiation treatment on protein quality and vitamin content of animal feeds. The joint FAO/IAEA division of atomic energy in food and agriculture. pp. 55-67. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.
- Fiems LO, Cottyn BG, Boucque CV, Vanacker JM, Buysse FX. 1990. Effect of grain processing on in sacco digestibility and degradability in the rumen. *Archives of Animal Nutrition* 40:713-721.
- Focant M, Van Hoecke A, Vanbelle M. 1990. Influence of steam flaking wheat on rumen fermentations and duodenal nitrogen and amino acid flows in heifers. *Animal Feed Science and Technology* 30:69-78.
- Gomes MR, Clark A, Ledward DA. 1998. Effects of high pressure on amylases and starch in wheat and barley flours. *Food Chemistry* 63:363-372.
- Hale WH, Cuitun L, Soba WJ, Theurer B. 1967. Effect of steam processing and flaked milo and barley on performance and digestion by steers. *Journal of Animal Science* 25:392-396.
- Hale WH. 1973. Influence of processing on the utilization of grains (starch) by ruminants 1, 2. *Journal of Animal Science* 37:1075-1080.
- Hsu ST, Yang ST. 1991. Propionic acid fermentation of lactose by *Propionibacterium acidipropionici*: Effects of pH. *Biotechnology and Bioengineering* 38:571-578.
- Jang HR. 2016. Evaluation of in vitro rumen fermentation characteristics and in situ disappearance rate of banana and cabbage by-products. M.S. dissertation, Kyungpook National Univ., Daegu, Korea. [in Korean]
- Julliard V, De Fombelle A, Varloud M. 2006. Starch digestion in horses: The impact of feed processing. *Livestock Science* 100:44-52.
- Keles G, Demirci U. 2011. The effect of homo fermentative and hetero fermentative lactic acid bacteria on conservation characteristics of baled triticale-Hungarian vetch silage and lamb performance. *Animal*

Feed Science and Technology 164:21-28.

- Kim H, Lee S, Jeong S, Park J, Shin T, Cho B, Cho S, Kim B, Seo J. 2016. Nutrient analysis and in vitro rumen fermentation of commercial formulated concentrates for finishing Hanwoo steers. Korean Journal of Agricultural Science 43:802-809. [in Korean]
- Kokic B, Levic J, Chrenkova M, Formelova Z, Polacikova M, Rajsky M, Jovanovic R. 2013. Influence of thermal treatments on starch gelatinization and in vitro organic matter digestibility of corn. Food & Feed Research 40:93-99.
- Krause KM, Oetzel GR. 2006. Understanding and preventing subacute ruminal acidosis in dairy herds: A review. Animal Feed Science and Technology 126:215-236.
- Lardy GP. 2002. Feeding corn to beef cattle. North Dakota State University. North Dakota, USA.
- Lee SJ, Lee JH, Shin NH, Hyun JH, Moon YH, Lee SS, Lee SS. 2008. Effects of steam flaking on in situ DM digestibility and aflatoxin and ochratoxin contents during storage of corns. Journal of Life Science 18:1561-1569. [in Korean]
- Liu H, Yu L, Dean K, Simon G, Petinakis E, Chen L. 2009. Starch gelatinization under pressure studied by high pressure DSC. Carbohydrate polymers 75:395-400.
- Ljokjel K, Harstad OM, Prestløkken E, Skrede A. 2003. In situ digestibility of starch in barley grain (*Hordeum vulgare*) and peas (*Pisum sativum* L.) in dairy cows: Influence of heat treatment and glucose addition. Animal Feed Science and Technology 107:105-116.
- Mackie RI, Gilchrist FM. 1979. Changes in lactate-producing and lactate-utilizing bacteria in relation to pH in the rumen of sheep during stepwise adaptation to a high-concentrate diet. Applied and Environmental Microbiology 38:422-430.
- May ML, Quinn MJ, Reinhardt CD, Murray L, Gibson ML, Karges KK, Drouillard JS. 2009. Effects of dry-rolled or steam-flaked corn finishing diets with or without twenty-five percent dried distillers grains on ruminal fermentation and apparent total tract digestion. Journal of animal science 87:3630-3638.
- McDougall EI. 1948. Studies on ruminant saliva. 1: The composition and output of sheep's saliva. Biochemical Journal 43:99-109.
- MAFRA (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs). 2017. Feed standard analysis method. pp. 310-311. MAFRA, Sejong, Korea. [in Korean]
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2016. Korean food standards codex. p. 279. MFDS, Cheongju, Korea. [in Korean]
- Owens FN, Basalan M. 2016. Ruminal fermentation. ruminology. pp. 63-102. Springer Nature, Cham, Switzerland.
- Park JW, Chae SH, Yoon S. 2009. The effects of steeping and cooking pressure on qualities of cooked brown rice. Journal of the Korean Society of Food Culture 24:69-76. [in Korean]
- Perry TW. 1970. Value of roasting corn for finishing heifers. Purdue research, Purdue University, West Lafayette, USA.

- Plascencia A, Zinn RA. 1996. Influence of flake density on the feeding value of steam-processed corn in diets for lactating cows. *Journal of Animal Science* 74:310-316.
- Rubens P, Heremans K. 2000. Pressure-temperature gelatinization phase diagram of starch: An in situ Fourier transform infrared study. *Biopolymers* 54:524-530.
- Safaei K, Yang W. 2017. Effects of grain processing with focus on grinding and steam-flaking on dairy cow performance. pp. 117-131. Intech Open, London, United Kingdom.
- Salariya AM. 2005. The effects of hydrothermal processing on antinutrients, protein and starch digestibility of food legumes. *International Journal of Food Science & Technology* 40:695-700.
- Schwandt EF, Hubbert ME, Thomson DU, Vahl C, Bartle SJ, Reinhardt CD. 2017. Flake density, roll diameter, and flake moisture all influence starch availability of steam-flaked corn. *Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports* 3:22.
- Schwandt EF. 2015. Grain processing considerations influencing starch digestion and performance of feedlot cattle. Ph.D. dissertation, Kansas State Univ., Manhattan, USA.
- Siddhuraju P, Becker K. 2001. Effect of various domestic processing methods on antinutrients and in vitro protein and starch digestibility of two indigenous varieties of Indian tribal pulse, *Mucuna pruriens* var. *utilis*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49:3058-3067.
- Slade L, Levine H. 1993. Water relationships in starch transitions. *Carbohydrate Polymers* 21(2-3):105-131.
- Tan FJ, Dai WT, Hsu KC. 2009. Changes in gelatinization and rheological characteristics of japonica rice starch induced by pressure/heat combinations. *Journal of Cereal Science* 49:285-289.
- Uwituze S, Parsons GL, Shelor MK, Depenbusch BE, Karges KK, Gibson ML, Drouillard JS. 2010. Evaluation of dried distillers grains and roughage source in steam-flaked corn finishing diets. *Journal of animal science* 88:258-274.
- Xin HS, Schaefer DM, Liu QP, Axe DE, Meng QX. 2010. Effects of polyurethane coated urea supplement on in vitro ruminal fermentation, ammonia release dynamics and lactating performance of Holstein dairy cows fed a steam-flaked corn-based diet. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 23:491-500.
- Zinn RA. 1990. Influence of steaming time on site of digestion of flaked corn in steers. *Journal of animal science* 68:776-781.