

옥수수 가공 방식이 반추위 소화특성에 미치는 영향

Effect of Corn Processing Method on Degradability and Fermentation Characteristics in Rumen of Hanwoo

안준상¹

Jun Sang Ahn
농협사료

강동훈²

Dong Hun Kang
국립한국농수산대학
한우학과

박보혜²

Bo Hye Park
국립한국농수산대학
한우학과

정기용^{2*}

Ki Yong Chung
국립한국농수산대학
한우학과

¹ Nonghyup Feed Co. LTD, Seoul 05398, Korea

² Department of Beef Science, Korea National University of Agriculture and Fisheries, Jeonju 54874, Korea

ABSTRACT

This study was conducted to investigate effect of corn flake and corn ground on nutrient digestibility and fermentation characteristics of rumen in Hanwoo. The animals used were three Hanwoo cows implanted with ruminal fistula. Corn were categorized in 2 groups based on the corn processing method: Ground and Flake. The rumen digestibility of dry matter, starch, nitrogen free extract and non fiber carbohydrates were increased in flake compared to ground from 3 to 24 hours of incubation(P<0.05). The pH of rumen was lower in the flaked treatment than ground treatment at 3 hours after incubation, but average pH was no significantly difference between treatments. The average acetic acid, propionic acid and butyric acid were significantly increased in the flaked treatments compared to the ground treatment (P<0.05). Thus, flake processing can improve the carbohydrate availability of corn in the rumen and increase feed value.

Key Words : Flake, Rumen, Digestibility, Volatile fatty acid, Hanwoo

Received Nov. 24. 2023
Revised Dec. 29. 2023
Accept Jan. 08. 2024

*Correspondence
Ki Yong Chung
cky95@korea.kr

서론

반추동물은 반추위 미생물을 이용한 혐기적 발효를 통해 사료 영양소를 분해 및 소화하여 최종적으로 에너지원, 아미노산 및 비타민 등을 합성하고 반추동물에게 제공한다. 반추동물이 섭취한 사료의 소화율은 성장, 번식, 비육 및 비유 등과 같은 생리학적 변화 및 영양적 대사에 있어서 매우

중요한 영향을 미친다(Chumpawadee et al., 2006; Sanchez et al., 2006). 실제로 사료의 소화율을 높이기 위해 사료가공(Reyes-Jaquez et al., 2011), 첨가제(Van Zijderveld et al., 2011) 및 미생물 발효(Wanapat et al., 2011) 등에 대한 연구가 진행된 바 있다. 특히, 옥수수는 반추동물 사료에서 가장 많이 사용되는 원료로써 주요 에너지 공급원으로 사용되고 있으며, 소화율에 따라 반추위 내 미



생물의 성장과 단백질 합성, 체내 에너지 공급량 및 성장능력 등의 차이가 발생할 수 있기 때문에 옥수수의 소화율을 향상시키기 위한 연구가 활발히 진행되고 있는 실정이다 (Plascencia et al., 2011; Luebbe et al., 2012). 옥수수의 주요 성분은 아밀로오스와 아밀로펙틴으로 이루어진 전분으로써, 반추동물에서 비섬유탄수화물과 비슷한 개념으로 사용되고 있다(Ellis et al., 2009). 전분은 반추위 내 미생물 발효를 통해 프로피온산 및 젖산 등의 유기산으로 최종 분해되어 중요한 에너지원으로 이용(van Kneysel et al., 2005)되고 있기 때문에 반추위 내 전분 이용 효율을 개선시키는 것은 성장과 비육에 있어서 매우 중요하게 작용한다(Rojo et al., 2005; Allen and Ying, 2012). 반추동물 사료에 사용되는 옥수수의 소화율은 가공 방식에 따라 그 효율이 달라지며, 일반적으로 수침(Corrigan et al., 2009), 분쇄(Corona et al., 2005) 및 후레이크(Montano et al., 2014) 등의 가공 방식을 이용하며, 국내에서는 분쇄 또는 후레이크 가공방식이 주로 사용되고 있다(Son et al., 2003). 통 옥수수를 기계의 물리적인 힘으로 분쇄하여 가공된 분쇄 옥수수는 입자의 감소 및 외피 제거를 통해 미생물이 옥수수로 침투 및 공격할 수 있는 표면적을 증가시켜 반추동물의 전분 및 단백질 분해율 향상(Ferraretto et al., 2013), 건물 섭취량 및 우유 생산량 증가(Remond et al., 2004), 입자도 감소에 따른 반추위 분해율과 소장 소화율 증가(Ramos et al., 2009) 및 다른 가공방식에 비해 시간과 비용을 감소(Ferraretto et al., 2013)시킬 수 있는 장점이 있다. 옥수수 후레이크는 통 옥수수를 특정한 시간 및 온도 내에서 증기처리한 후 롤러를 이용하여 압편하여 옥수수 전분의 소화도를 증가시켜 반추위 내에서 전분 소화율을 향상 시키는 방식이다(Schwandt et al., 2017). 반추동물에

서 사료 내 옥수수 후레이크의 첨가는 일당 증체량, 체중 유지를 위한 에너지 Net energy for maintenance (NEm) 및 Net energy for growth (Neg) 증가(Zinn et al., 2011), 프로피온산 생성 및 유기물 소화 증진(QIAO et al., 2015) 및 전분과 에너지 이용효율 향상(Armbruster, 2006) 되었다고 보고되었다. 일부 연구에서 분쇄 및 후레이크 가공에 따른 비교연구가 수행된 바 있지만 소의 품종, 성별 및 나이에 따라 그 결과가 상이하게 나타나고 있으며, 국내에서 옥수수 가공 방식에 따른 한우 최적의 소화율에 대한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 옥수수 가공 방식에 따라 생산된 분쇄 및 후레이크 옥수수가 한우의 반추위 발효특성과 영양소 분해율에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하였다.

연구방법

공시동물 및 사양관리

공시동물은 강원대학교 동물실험윤리위원회의 승인(No:KIACUC-16-0010)받은 윤리적이고 과학적인 절차에 따라서 수행하였다. 평균 체중이 327 ± 41kg인 한우 암소 3두를 실험에 이용하였으며, 시험기간 동안 발정행동은 관찰되지 않았다. 반추위 내에서 분쇄 옥수수(ground) 및 후레이크 옥수수(flaked)의 체내 영양소와 분해율을 측정하기 위해 반추위에 fistula (Bar diamond, USA)를 설치하여 실험에 이용하였다(Singh et al., 2016). 시험사료는 시판용 배합사료와 볏짚을 이용하였으며, 배합사료는 체중 1.7% 수준으로 1일 2회(오전 9시 및 오후 6시) 급여하였고, 볏짚은 두당 6kg씩 급여하였다. 물과 미네랄 블럭은 자유로이 섭취할 수 있도록 하였으며, 시험사료의 화학적 조성은 Table 1과 같다.

Table 1. Chemical composition of diets fed to experimental animals (dry matter basis)

| Chemical composition (%) | Corn processing methods | |
|--------------------------|-------------------------|------------|
| | Concentrate | Rice straw |
| Dry Matter | 90.64±0.15 | 95.56±0.02 |
| Crude Protein | 15.05±0.02 | 4.15±0.27 |
| Ether Extract | 3.13±0.08 | 1.16±0.33 |
| Crude Ash | 8.83±0.21 | 10.05±0.04 |
| Crude Fiber | 5.86±0.27 | 33.59±0.51 |
| NDF | 32.28±0.15 | 69.81±0.77 |
| ADF | 18.27±0.51 | 38.15±1.25 |

NDF: neutral detergent fiber; ADF: acid detergent fiber

옥수수 가공

실험에 사용된 Ground는 hammer mill (hammer crusher. Hankook power system. Korea) 을 이용하여

1mm 입자로 분쇄하였고, Flake는 600초 동안 105℃로 스팀처리 한 후 roller mill(3mm)를 통과시켜 압착하여 제조하였으며, 화학적 조성은 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Chemical composition of ground and flaked corns (dry matter basis)

| Chemical composition (%) | Corn processing methods | |
|--------------------------|-------------------------|------------|
| | Ground | Flaked |
| Dry Matter | 89.14±0.26 | 88.22±0.40 |
| Crude Protein | 8.43±0.16 | 8.16±0.05 |
| Ether Extract | 2.23±0.04 | 2.46±0.18 |
| Crude Ash | 1.80±0.07 | 1.94±0.13 |
| Crude Fiber | 2.31±0.10 | 2.06±0.14 |
| NDF | 11.85±0.64 | 13.16±0.55 |
| ADF | 3.62±0.23 | 3.42±0.41 |

NDF: neutral detergent fiber; ADF: acid detergent fiber

In situ 반추위 영양소 분해율

반추위 영양소 분해율을 조사하기 위해 nylon bag (Ankom R510, Ankom Technology, USA)에 groud 및 flaked 시료 5g을 넣은 후 오전 사료 급여 전 fistula를 통해 반추위에 현수 시킨 후 3, 6, 9, 12, 24 및 48시간 동안 배양 하였다. 이 후 반추 위 내에서 시료를 회수한 뒤 증류수를 이용하여 세척한 후 70℃ 열풍 순환식 건조기(MOV-313P, SANYO, Japan)에서 72시간 동안 건조 시킨 후 건물, 전분, 가용성 무질소물(Nitrogen free extract, NFE) 및 비섬유성 탄수화물(Non fiber carbohydrates, NFC) 분해율 측정에 사용되었다.

일반성분 분석

실험사료의 일반성분 분석은 A.O.A.C(Horwitz, 2002)의 방법에 따라 수분, 조단백질, 조지방, 조회분을 분석하였다. 수분함량은 105℃ 건조법, 조단백질은 micro Kjeldahl법, 조지방은 Soxhlet법, 조회분은 직접회화법을 사용하여 측정하였다. NDF, ADF, 조섬유의 함량은 Filter bag(Ankom F57, Ankom Technology, USA)을 측정하였다(Goering and Van Soest, 1970).

건물 분해율 측정

옥수수 가공방식에 따른 건물 소화율은 반추위 배양 전후의 건물 무게차이를 이용하여 산출하였으며, 계산방법은 다음과 같다.

$$\text{건물소화율}(\%) = \frac{\text{배양전 건물무게}(g) - \text{배양후 건물무게}(g)}{\text{배양전 건물무게}(g)} \times 100$$

전분 분석 및 분해율 측정

반추위 내에서 배양된 옥수수 시료 0.2 g을 50mL Tube에 넣은 후 80% 에탄올 200μL 으로 시료를 적신 다음 증류수 5mL를 첨가하여 vortex mixer를 이용하였다. 75℃의 80% 에탄올 25mL를 첨가하여 5분 방치한 후 3,000rpm 으로 15분 동안 원심분리 후 상층액을 제거한 후 75℃ 80% 에탄올을 30mL 첨가한 후 3,000rpm으로 15분 동안 원심분리를 실시하였다. 상층액을 제거한 뒤 40℃에서 1시간 건조 시킨 뒤 증류수 5mL와 52% percholic acid (Daejung, Korea) 6.5mL를 첨가한 뒤 20분 동안 교반 후 증류수 20mL 첨가하여 3,000rpm으로 15분 동안 원심분리 하였다. 희석된 용액 1mL와 anthrone (Daejung) 5mL를 혼합

하여 100℃에서 12분간 가열한 다음 상온으로 냉각시킨 후 630nm에서 흡광도 분석기(VERSA max, Molecular devices, USA)를 이용하여 측정하였다. 전분 소화율은 배

양 전후의 건물 무게와 전분함량을 이용하여 계산하였으며, 계산방법은 다음과 같다.

$$\text{전분소화율(\%)} = \frac{((\text{배양전 건물무게}(g) \times \text{배양전 전분함량}(\%)) - ((\text{배양후 건물무게}(g) \times \text{배양전 전분함량}(\%)))}{(\text{배양전 건물무게}(g) \times \text{배양전 전분함량}(\%))} \times 100$$

가용성 무질소물(Nitrogen free extract, NFE) 분석 및 분해율 측정

NFE 함량은 탄수화물 함량을 나타내며 공식 NFE (%) =

100 - (수분+조단백질+조회분+조지방+조섬유)에 의하여 산출하였으며, NFE 소화율은 배양 전후의 건물 무게와 NFE 함량을 이용하여 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{NFE소화율(\%)} = \frac{((\text{배양전 건물무게}(g) \times \text{배양전 NFE함량}(\%)) - ((\text{배양후 건물무게}(g) \times \text{배양전 NFE함량}(\%)))}{(\text{배양전 건물무게}(g) \times \text{배양전 NFE함량}(\%))} \times 100$$

비섬유성 탄수화물(Non fiber carbohydrates, NFC) 분석 및 분해율 측정

NFC의 함량은 공식 NFC (%)= - (조단백질 + 조지방 +

NDF + 조회분)에 의하여 산출하였으며, NFC 소화율은 배양 전후의 건물 무게와 NFC 함량을 이용하여 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{NFC소화율(\%)} = \frac{((\text{배양전 건물무게}(g) \times \text{배양전 NFC함량}(\%)) - ((\text{배양후 건물무게}(g) \times \text{배양전 NFC함량}(\%)))}{(\text{배양전 건물무게}(g) \times \text{배양전 NFC함량}(\%))} \times 100$$

In vitro 발효특성

반추위액은 fistula가 장착된 한우 암소에서 오전 사료 급여 전에 채취한 후 4겹의 cheese cloth로 여과하여 39℃로 가온 된 보온병에 담고 CO₂gas를 30초간 주입하여 공기를 제거하였다. 채취된 반추위액은 실험실까지 운반하여 39℃의 incubator (HB-201SLI, Hanbaek, Korea)에서 1시간 동안 정치 시켜 사료입자를 제거하였다. 이 후 사료입자가 제거된 반추위액 400mL를 미리 제조된 1,596mL 인공타액에 첨가하여 in vitro 배양액으로 이용하였다. 인공타액은 1,330mL buffer solution A (10g/L KH₂PO₄, 0.5g/L MgSO₄·7H₂O, 0.5g/L NaCl, 0.1g/L CaCl₂·2H₂O, 0.5g/L Urea)과 266mL buffer solution B (15g/L Na₂CO₃, 1g/L Na₂S·9H₂O)를 혼합한 후 pH가 6.8이 되도록 제조하였다. 배양액 50mL를 2g의 시험사료가 혼합된 100mL bottle에 투입한 후 혼합한 후 CO₂gas를 5초간 주입하여 공기를 제거하고 39℃의 120rpm 조건으로 Shaking incubator (Hanbaek)를 이용하여 3, 6, 9, 12, 24 및 48시간 동안 배양하였다. 이 후 시료는 반추위 pH 및 휘발성지방산을 분석하는데 이용하였다.

pH 측정

배양액의 pH는 배양 시간대별로 배양중인 100 mL bottle에서 pH meter (Corning 445, Corning, USA)를 이용하여 측정하였다.

휘발성지방산

휘발성지방산의 농도의 분석을 위해 배양 시간대별로 100 mL bottle에서 10 mL의 배양액을 채취한 후 20%의 HPO₃ 1mL 및 포화 HgCl₂ 0.5mL를 첨가하고, 4℃에서 3000rpm 조건으로 15분간 원심 분리하여 상층액을 취한 후 gas chromatograph (Shimadzu-17A, Shimadzu, Japan)를 이용하여 휘발성지방산 농도를 측정하였다.

통계분석

본 시험에서 얻어진 데이터들은 SAS (Version 9.2, SAS institute, USA)를 이용하여 T-test로 처리구간의 유의성 (p<0.05)을 검증하였다.

결과 및 고찰

옥수수 가공방법에 따른 건물 및 전분 분해율

옥수수의 가공 방식에 따른 건물 분해율 및 전분 분해율 결과는 Table 3과 4에 나타난 바와 같다. 반추위 배양시간이 늘어남에 따라 가공방법에 관계 없이 건물 및 전분 분해율이 증가되는 것을 확인할 수 있었다. 특히 Ground 처리구에 비해서 Flake 처리구에서 건물 분해율의 속도가 빠른 것을 확인할 수 있었으며, Flake의 건물과 전분이 50% 이상 분해되는 시간은 각각 9시간 및 6시간 수준으로 나타났다. 반추위 배양 3시간부터 24시간까지 Flake 처리구가 Ground 처리구에 비하여 건물 분해율이 유의적으로 증가되었지만(p<0.05), 배양 48시간에는 처리구간 차이는 없었

다. 일반적으로 옥수수의 전분 함량은 70% 이상으로 보고되고 있으며, 옥수수 에너지 값의 75% 이상이 전분으로부터 얻어지는 것으로 알려져 있다(Council, 2001). 따라서, 옥수수의 이용성은 전분 소화율에 많은 영향을 받으며, 전분의 소화는 다양한 가공처리에 따라 달라질 수 있다(Dehghan-Banadaky et al., 2007). 옥수수는 미생물 침투 및 부착을 방해하는 과피 부분과 싹 및 배젖을 포함하는 내피로 구성되어 있으며, 전분은 주로 배젖에 존재한다. 전분은 단백질 망 구조에 둘러 쌓여 있으며, 이 같은 단백질 분포가 전분에 대한 미생물의 접근을 방해함으로써 구조적 및 화학적으로 반추위 전분 분해에 영향을 미치는 특징을 가진다(Ferraretto et al., 2013).

Table 3. Effect of corn processing method on dry matter degradabilities in the rumen of Hanwoo

| Incubation time (hour) | Corn processing methods | | Pr> t |
|------------------------|-------------------------|--------------|--------|
| | Ground | Flake | |
| 3 | 34.48±1.55 | 42.85±1.47** | 0.0001 |
| 6 | 38.80±1.56 | 45.48±2.65** | 0.0003 |
| 9 | 44.49±1.73 | 50.13±1.46** | 0.0001 |
| 12 | 46.89±2.07 | 53.67±0.79** | 0.0001 |
| 24 | 62.45±2.00 | 65.73±2.31* | 0.0251 |
| 48 | 81.93±2.45 | 83.24±1.72 | 0.3241 |
| Average | 48.68±1.13 | 53.78±0.84** | 0.0001 |

Ground and flaked corns were directly incubated in the rumen using fistula, data was presented as mean ± standard errors means (Mean ± SEM), *,**Means in the same row with different superscripts differ(*p<0.05,**p<0.01).

Table 4. Effect of corn processing method on starch degradabilities in the rumen of Korean native cattle

| Incubation time (hour) | Corn processing methods | | Pr> t |
|------------------------|-------------------------|--------------|--------|
| | Ground | Flake | |
| 3 | 35.16±2.13 | 40.23±1.54** | 0.0008 |
| 6 | 43.39±1.64 | 50.13±2.19** | 0.0001 |
| 9 | 52.22±1.57 | 57.41±1.12** | 0.0001 |
| 12 | 58.93±1.34 | 64.53±0.68** | 0.0001 |
| 24 | 77.40±0.87 | 80.85±0.92** | 0.0001 |
| 48 | 89.90±1.36 | 91.40±1.05 | 0.0695 |
| Average | 55.10±0.88 | 59.38±0.57** | 0.0001 |

Ground and flaked corns were directly incubated in the rumen using fistula, data was presented as mean ± standard errors means (Mean ± SEM), *,**Means in the same row with different superscripts differ(*p<0.05,**p<0.01).

옥수수 가공방법에 따른 NFE 및 NFC 분해율

옥수수의 가공 방식에 따른 NFE 분해율 및 NFC 분해율 결과는 Table 5과 6에 나타난 바와 같다. 반추위 배양시간에 따라 NFE 및 NFC가 증가되는 것을 확인하였으며, 배양 3시간부터 24시간까지 Ground 처리구에 비하여 Flake 처리구에서 유의적으로 증가되었다($p < 0.05$). 특히 Ground 처리구에 비해 Flake 처리구의 NFE 및 NFC 평균 분해율은 각각 6.12 및 4.43% 개선되는 결과를 보였다. 건물, 전분, NFC 및 NFE 소화율은 분쇄 처리에 비해 후레이크 처리에서 유의적으로 증가 하였는데, 이러한 결과는 후레이크 가공방식이 옥수수 전분의 반추위내 이용성을 개선시킨 것으로 판단된다. 일반적으로 분쇄 가공방식은 옥수수의 과피 파괴 및 입자도를 감소시켜 미생물의 침투와 소화 표면적을 증가시키는 장점을 가지고 있으나, 직접적으로 전분이나 단백질 망의 구조 및 화학적 변화에 미치는 영향은 적다. 반

면, 후레이크 가공방식은 증기 및 열처리 통해 전분이나 단백질 망의 결정구조를 분해시켜(Ding et al., 2007), 전분 소화율을 증가시킴으로써 옥수수의 사료 가치를 효과적으로 개선 할 수 있다(QIAO et al., 2015). 후레이크 가공과정에서 옥수수의 전분 과립은 수분 및 열의 영향을 받아 수분을 흡수하여 팽윤하게 되는데, 이 과정에서 전분을 이루는 미셀 구조가 파괴되어 호화도가 증가하고, 전분을 둘러싸고 있는 단백질 망 구조가 분해되어 결과적으로 반추위의 미생물 효소에 대한 전분의 가용성 및 전분 활용도가 높아지게 된다(Kokic et al., 2013). 또한 파쇄 옥수수를 후레이크로 대체하였을 경우 거세우의 일당 증체량 및 사료효율이 향상되었으며, 거세우의 성장을 상당히 개선시킬 수 있다고 보고하였다(Li et al., 2011). 따라서 후레이크 옥수수의 구조는 분쇄 옥수수에 비하여 반추위에서 미생물 효소에 대한 전분 가용성과 활용도를 높였고, 이러한 결과 한우의 소화율을 높였다고 판단된다.

Table 5. Effect of corn processing method on nitrogen free extract (NFE) degradabilities in the rumen of Korean native cattle

| Incubation time (hour) | Corn processing methods | | Pr> t |
|------------------------|-------------------------|--------------|--------|
| | Ground | Flake | |
| 3 | 34.53±1.85 | 43.91±1.45** | 0.0001 |
| 6 | 39.29±2.05 | 47.02±3.04** | 0.0004 |
| 9 | 44.92±1.71 | 51.55±1.76** | 0.0001 |
| 12 | 47.67±2.24 | 55.51±0.76** | 0.0001 |
| 24 | 65.25±2.28 | 69.56±1.86** | 0.0053 |
| 48 | 85.48±2.01 | 87.65±1.76 | 0.0811 |
| Average | 49.84±1.35 | 55.96±0.85** | 0.0001 |

Ground and flaked corns were directly incubated in the rumen using fistula, data was presented as mean ± standard errors means (Mean ± SEM), *,**Means in the same row with different superscripts differ (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$).

Table 6. Effect of corn processing method on non fiber carbohydrates (NFC) degradabilities in the rumen of Korean native cattle

| Incubation time (hour) | Corn processing methods | | Pr> t |
|------------------------|-------------------------|--------------|--------|
| | Ground | Flake | |
| 3 | 43.99±0.89 | 50.38±1.74** | 0.0001 |
| 6 | 49.12±1.17 | 56.96±1.71** | 0.0001 |
| 9 | 53.13±2.08 | 58.32±1.42** | 0.0005 |
| 12 | 54.57±1.96 | 65.85±0.64** | 0.0001 |
| 24 | 73.99±2.29 | 78.26±2.40* | 0.0103 |
| 48 | 93.72±0.87 | 95.05±3.02 | 0.3423 |
| Average | 58.59±0.82 | 63.02±0.88** | 0.0001 |

Ground and flaked corns were directly incubated in the rumen using fistula, data was presented as mean ± standard errors means (Mean ± SEM), *,**Means in the same row with different superscripts differ (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$).

옥수수 가공방법에 따른 반추위 pH 변화

옥수수의 가공 방식에 따른 반추위 pH 변화는 Table 7에 나타난 바와 같다. Ground 및 Flaked 처리구 모두 옥수수를 배양함에 따라 반추위 내 pH가 감소하는 것을 확인하였으며, 특히 배양 3시간 때에는 Flake 처리구가 Ground 처리구에 비하여 반추위 내 pH가 유의적으로 낮았으나 ($p < 0.01$), 이와 반대로 배양 12시간 때에는 Flake 처리구가 Ground 처리구에 비해 반추위 pH가 유의적으로 증가하였다 ($p < 0.01$). 그러나 평균적인 pH 차이는 나타나지 않았다. 반추위 내 미생물들은 공급되는 사료를 이용하여 반추동물이 사용할 수 있는 에너지원으로 전환하고 곡물의 유형과 가공은 전분의 소화 속도 및 규모에 영향을 미치게 되며 이는 휘발성지방산 조성, 반추위 산도 및 다른 소화기관에서 사용할 수 있는 전분의 양과 물리적 형태를 변경시킬 수 있

다(Schwandt, 2015). 또한 포유동물의 위와 장 내 pH에 따라 미생물의 활성과 그 효율이 다르다는 보고가 있다 (Cho and Kim, 2016). 실제로 반추동물의 경우 전분의 용해 및 분해가 단시간 내에 이루어지면 반추 위 pH가 감소 (Zinn et al., 2002)하게 되는데, 본 연구결과에서는 반추 위액을 이용하여 가공처리 된 옥수수들을 배양하였을 때, 분쇄 방식에 비하여 후레이크 방식에서 배양 3시간 때 pH가 감소하는 것을 확인하였으며, 이는 후레이크 옥수수가 분쇄 옥수수에 비하여 소화 초기의 전분의 용해 및 분해가 활발하게 이루어졌다고 판단된다. 하지만 이후 배양시간이 늘어남에 따라 처리구간 반추위 pH차이는 적었으며, 48시간 동안의 평균 pH도 처리구간 차이는 없었다. 결과적으로 분쇄 및 후레이크의 가공방식은 전체적인 소화과정 동안에 반추위 pH에는 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

Table 7. Effect of corn processing method on pH values in the rumen of Korean native cattle

| Incubation time (hour) | Corn processing methods | | Pr> t |
|------------------------|-------------------------|-------------|--------|
| | Ground | Flake | |
| 3 | 6.87±0.01 | 6.83±0.01** | 0.008 |
| 6 | 6.77±0.02 | 6.74±0.02 | 0.0668 |
| 9 | 6.33±0.02 | 6.41±0.08 | 0.1722 |
| 12 | 5.55±0.08 | 5.82±0.02** | 0.0038 |
| 24 | 4.91±0.02 | 5.02±0.07 | 0.0605 |
| 48 | 4.88±0.47 | 4.90±0.03 | 0.9568 |
| Average | 6.03±0.06 | 6.09±0.01 | 0.2697 |

Ground and flaked corns were directly incubated in the rumen using fistula, data was presented as mean ± standard errors means (Mean ± SEM), *,**Means in the same row with different superscripts differ (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$).

옥수수 가공방법에 따른 반추위 휘발성 지방산 변화

옥수수의 가공 방식에 따른 반추위 휘발성지방산 변화는 Table 8에 나타난 바와 같다. 아세트산, 프로피온산 및 뷰트릭산 생성량은 Ground 및 Flake 처리구 모두 배양시간에 따라 증가되는 경향을 보였다. 아세트산 생성량은 배양 12시간을 제외하고 Ground 처리에 비해 Flake 처리구에서 유의적으로 증가되었다 ($p < 0.05$). 프로피온산 생성량은 배양 3, 6 및 24시간에 Ground 처리에 비해 Flake 처리구에서 증가되었으며 ($p < 0.01$), 평균 프로피온산 생성량도 후레이크 가공으로 인해 9.9% 높게 나타났다. 뷰트릭산 생성량은 배양 24시간에는 Flake 처리구에 비해 Ground에서 생성량이 증가되었지만 그 외 다른 배양시간에는 Flake

처리구에서 뷰트릭산 농도가 높게 유지되었다. 총 휘발성 지방산 생성량은 배양 3, 6, 9 및 48시간에 Flake 처리구가 Ground 처리구에 비해 높게 나타났으며 ($p < 0.01$), 평균 휘발성지방산 생성량은 Flake에서 21.6% 증가되었다. 휘발성지방산은 반추동물의 에너지원으로써, 반추위내 서식하는 미생물에 의해 생산된다(Owens and Basalan, 2016). 주요 휘발성지방산은 아세트산, 프로피온산 및 뷰트릭산 이며(Eastridge et al., 2011), 사료의 영양소 및 가공 형태에 따라 휘발성지방산의 생성량 및 생성비율이 달라지게 된다(Corona et al., 2006; Manriquez et al., 2016). 일반적으로 전분의 발효는 많은 양의 프로피온산을 생성하는 반면, 구조 탄수화물은 많은 양의 아세트산과 전분보다는 비교적 적은 프로피온산을 생성한다

(Mohammed et al., 2010). 후레이크 가공방식은 전분의 소화도 증가, 전분 과립의 결정구조 분해, 전분 과립에 대한 반추위 미생물 및 효소의 능력을 향상(Eastridge et al., 2011)시키며, 결과적으로 반추위내 프로피온 생성량을 증가시킨다(QIAO et al., 2015; Manriquez et al., 2016). 분쇄 가공방식은 물리적으로 곡물 입자 크기를 줄여서 반추위 미립자의 작용에 대한 전분 과립의 표면적과 접근을 증가시켜 반추위 전분 소화를 향상을 통해 프로피온산의 증가를 초래한다(Mohammed et al., 2010). 본 연구에서

배양 시간대별로 차이는 있었지만 평균적인 휘발성지방산 생성량이 분쇄 처리구에 비해 후레이크 처리에서 증가된 것은 전분의 이용성 및 발효 속도의 차이로 판단되며, 분쇄 옥수수에 대한 후레이크 옥수수의 반추위 내 아세트산, 뷰트릭산, 프로피온산 및 젖산이 증가되었다고 보고되었다(May et al., 2009). 따라서 후레이크 가공방식은 분쇄 가공방식에 보다 반추위내 옥수수 이용성 향상을 통한 휘발성지방산 생성량을 증가시켜 한우의 증체 및 비육에 긍정적인 효과를 미칠 수 있을 것으로 사료된다.

Table 8. Effect of corn processing method on volatile fatty acid (VFA) in the rumen of Korean native cattle

| Concentration (mg/dL) | Incubation time (hour) | Corn processing methods | | Pr> t |
|----------------------------|------------------------|-------------------------|----------------|--------|
| | | Ground | Flake | |
| Acetic acid | 3 | 4.90±0.31 | 27.33±1.98** | 0.0065 |
| | 6 | 33.01±0.84 | 61.17±9.25** | 0.0001 |
| | 9 | 53.66±8.44 | 61.58±1.44** | 0.0001 |
| | 12 | 67.54±2.71 | 62.52±8.15 | 0.2525 |
| | 24 | 94.83±6.79 | 138.97±1.61* | 0.0275 |
| | 48 | 147.74±10.87 | 164.71±14.66* | 0.0283 |
| | Average | 63.83±3.43 | 78.60±4.25** | 0.0001 |
| Propionic acid | 3 | 1.52±0.12 | 13.93±0.98** | 0.0001 |
| | 6 | 19.30±0.57 | 23.30±3.09** | 0.0028 |
| | 9 | 41.15±3.19 | 41.13±0.84 | 0.5362 |
| | 12 | 51.41±8.07 | 43.32±6.51 | 0.7963 |
| | 24 | 61.28±2.39 | 83.12±1.73** | 0.2479 |
| | 48 | 115.08±6.87 | 116.92±9.26 | 0.4156 |
| | Average | 42.92±2.59 | 47.15±2.56* | 0.0314 |
| Butyric acid | 3 | 1.05±0.06 | 6.95±0.56** | 0.0080 |
| | 6 | 9.61±0.19 | 13.44±1.93* | 0.0221 |
| | 9 | 21.21±2.00 | 35.72±5.36** | 0.0001 |
| | 12 | 38.35±5.99 | 37.56±0.64 | 0.6328 |
| | 24 | 45.51±1.60* | 37.84±0.75 | 0.0316 |
| | 48 | 45.83±2.75 | 67.60±5.03** | 0.0013 |
| | Average | 24.12±1.48 | 29.23±1.56 | 0.0763 |
| Total volatile fatty acids | 3 | 7.47±0.49 | 48.21±3.52** | 0.0066 |
| | 6 | 61.92±1.60 | 97.91±14.27** | 0.0001 |
| | 9 | 116.02±13.63 | 138.43±7.64** | 0.0001 |
| | 12 | 157.3±16.77 | 143.4±15.30 | 0.1184 |
| | 24 | 201.62±10.78 | 259.93±4.09 | 0.1557 |
| | 48 | 308.65±20.49 | 349.23±28.95** | 0.0013 |
| | Average | 142.16±10.63 | 172.85±12.30** | 0.0001 |

Ground and flaked corns were directly incubated in the rumen using fistula, data was presented as mean ± standard errors means (Mean ± SEM), *,**Means in the same row with different superscripts differ (*p<0.05,**p<0.01).

적 요

본 연구는 옥수수의 가공 방식이 한우의 반추위 발효특성과 영양소 소화율에 미치는 영향을 알아보기 위해 수행되었다. 공시재료는 분쇄 옥수수(1mm) 및 옥수수 후레이크(600초-105℃-3mm)를 이용하였으며, 공시동물은 평균 체중이 327 ± 41kg인 한우 암소 3두를 실험에 이용하였다. 건물, 전분, NFE 및 NFC의 소화율은 옥수수 분쇄 처리 보다 후레이크 처리에서 더 높았으며, 배양 3시간 부터 24시간까지 유의적으로 차이가 있었다(P<0.05). 배양 3시간의 반추위 pH는 분쇄 옥수수에 비해 후레이크 처리에서 낮았으나 48시간 동안의 평균 반추위 pH는 처리간 유의한 차이는 없었다. 평균 아세트산, 프로피온산 및 부티르산 생성량은 분쇄 옥수수에 비해 후레이크 처리에서 유의하게 증가하였다(P<0.05). 본 연구 결과 옥수수의 후레이크 가공은 분쇄 가공에 비해 반추위 내에서 이용효율을 개선시켜 영양소 소화율 향상과 휘발성지방산 생성량 증가에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- Allen, MS. and Ying, Y. 2012. Effects of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product on ruminal starch digestion are dependent upon dry matter intake for lactating cows. J. Dairy Sci. 95(11):6591-6605.
- Cho, SW. and Kim, YK. 2016. The Development and Characterization of a pH Dependent Matrix Tablet Containing Probiotics. Biomed. Sci. Lett, 22(4):184-188.
- Chumpawadee, S, Sommart, K, Vongpralub, T. and Pattarajinda, V. 2006. Effects of synchronizing the rate of dietary energy and nitrogen release on ruminal fermentation, microbial protein synthesis, blood urea nitrogen and nutrient digestibility in beef cattle. Asian-Australas. J. Anim. Sci. 19(2):181-188.
- Corona, L, Owens, FN., & Zinn, RA. 2006. Impact of corn vitreousness and processing on site and extent of digestion by feedlot cattle. J. Anim. Sci. 84: 3020-3031.
- Corona, L, Rodriguez, S, Ware, RA. and Zinn, RA. 2005. Comparative effects of whole, ground, dry-rolled, and steam-flaked corn on digestion and growth performance in feedlot cattle. Pro. Anim. Sci. 21(3):200-206.
- Corrigan, ME, Erickson, GE, Klopfenstein, TJ, Luebke, MK, Vander Pol, KJ, Meyer, NF. and Hanford, KJ. 2009. Effect of corn processing method and corn wet distillers grains plus solubles inclusion level in finishing steers. J. Anim. Sci. 87(1): 3351-3362.
- Dehghan-Banadaky, M, Corbett, R. and Oba, M. 2007. Effects of barley grain processing on productivity of cattle. Anim. Feed Sci. Technol. 137(1): 1-24.
- Ding, J, Zhang, L, Wan, R, Ren, LP. and Meng, QX. 2007. Disintegration of starch crystal structure by steam flaking may be responsible for the improvement of in vitro ruminal fermentation of steam flaked sorghum grains. J. Anim. Feed Sci. 16(2): 448-453.
- Eastridge, ML, Lefeld, AH, Eilenfeld, AM, Gott, PN, Bowen, WS. and Firkins, JL. 2011. Corn grain and liquid feed as non fiber carbohydrate sources in diets for lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 94(6): 3045-3053.
- Ellis, JL, Kebreab, E, Odongo, NE, Beauchemin, K, McGinn, S, Nkrumah, JD. and Okine, EK. 2009. Modeling methane production from beef cattle using linear and nonlinear approaches. J. Anim. Sci. 87: 1334-1345.
- Ferraretto, LF, Crump, PM. and Shaver, RD. 2013. Effect of cereal grain type and corn grain harvesting and processing methods on intake, digestion, and milk production by dairy cows through a meta-analysis. J. Dairy Sci. 96(1): 533-550.
- Goering, HK. and Van Soest, PJ. 1970. Forage fiber analyses (apparatus, reagents, procedures, and some applications). USDA. Agr. Handb
- Horwitz, W. and Horwitz, W. 2000. Official methods of analysis of AOAC International(No.

- C/630.240 O3/2000).
14. Kokic, B, Levic, J, Chrenkova, M, Formelova, Z, Polacikova, M, Rajskey, *M. and* Jovanovic, R. 2013. Influence of thermal treatments on starch gelatinization and in vitro organic matter digestibility of corn. *Food Feed Res.* 40(2):93-99.
 15. Li, R, Cao, Y, Gao, Y, Li, *Q. and* Li, J. 2011. Effects of steam-flaked corn on the performance and blood biochemical parameters in finishing steers. *Front. Agric. China.* 5(4): 588-593.
 16. Luebbe, MK, Patterson, JM, Jenkins, KH, Buttrey, EK, Davis, TC, Clark, BE. and MacDonald, JC. 2012. Wet distillers grains plus solubles concentration in steam-flaked-corn-based diets: Effects on feedlot cattle performance, carcass characteristics, nutrient digestibility, and ruminal fermentation characteristics. *J. Anim. Sci.* 90(5):1589-1602.
 17. Manriquez, OM, Montano, MF, Calderon, JF, Valdez, JA, Chirino, JO, Gonzalez, VM. and Zinn, RA. 2016. Influence of Wheat Straw Pelletizing and Inclusion Rate in Dry Rolled or Steam-flaked Corn-based Finishing Diets on Characteristics of Digestion for Feedlot Cattle. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 29(6):823-829.
 18. May, ML, Quinn, MJ, Reinhardt, CD, Murray, L, Gibson, ML, Karges, KK. and 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. *J. Anim. Sci.* 87(11):3630-3638.
 19. Mohammed, R, Kennelly, JJ, Kramer, JKG, Beauchemin, KA, Stanton, CS. and Murphy, JJ. 2010. Effect of grain type and processing method on rumen fermentation and milk rumenic acid production. *Animal*, 4(8):1425-1444.
 20. Montano, MF, Gonzalez, V, Manriquez, O, May, D, Melendrez, J, Plascencia, *A. and* Zinn, R. A. 2014. Influence of flake fragmentation on the feeding value of steam-flaked corn in finishing diets for feedlot cattle. *Anim. Feed Sci. Technol.* 189:82-87.
 21. Plascencia, A, Bermudez, RM, Cervantes, M, Corona, L, Davila-Ramos, H, Lopez-Soto, MA. and Zinn, RA. 2011. Influence of processing method on comparative digestion of white corn versus conventional steam-flaked yellow dent corn in finishing diets for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 89(1):136-141.
 22. QIAO, FQ, Fei, WANG, REN, LP, ZHOU, ZM, MENG, QX. and BAO, YH. 2015. Effect of steam-flaking on chemical compositions, starch gelatinization, in vitro fermentability, and energetic values of maize, wheat and rice. *J. Integr. Agric.* 14(5):949-955.
 23. Ramos, BMO, Champion, M, Poncet, C, Mizubuti, IY. and Noziere, P. 2009. Effects of vitreousness and particle size of maize grain on ruminal and intestinal in sacco degradation of dry matter, starch and nitrogen. *Anim. Feed Sci. Technol.* 148(2):253-266.
 24. Remond, D, Cabrera-Estrada, JI, Champion, M, Chauveau, B, Coudure, *R. and* Poncet, C. 2004. Effect of corn particle size on site and extent of starch digestion in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87(5):1389-1399.
 25. Reyes-Jaquez, D, Vargas-Rodriguez, J, Delgado-Licon, E, Rodriguez-Miranda, J, Araiza-Rosales, EE, Andrade-Gonzalez, *I. and* Medrano-Roldan, H. 2011. Optimization of the extrusion process temperature and moisture content on the functional properties and in vitro digestibility of bovine cattle feed made out of waste bean flour. *J. Anim. Sci. Adv.* 1(2):100-110.
 26. Rojo, R, Mendoza, GD, Gonzalez, SS, Landois, L, Barcena, *R. and* Crosby, M. M. 2005. Effects of exogenous amylases from *Bacillus licheniformis* and *Aspergillus niger* on ruminal starch digestion and lamb performance. *Anim. Feed Sci. Technol.* 123:655-665.
 27. Sanchez, NR, Spordndly, *E. and* Ledin, I. 2006.

- Effect of feeding different levels of foliage of *Moringa oleifera* to creole dairy cows on intake, digestibility, milk production and composition. *Livest. Sci.* 101(1):24-31.
28. 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(1):22.
29. Singh, S, Palecha, S, Jhirwal, SK, Bishnoi, P. and Singh, R. 2016. Surgical Management of Ruminant Fistula-A Report of 2 Heifers. *Intas. Polivet.* 17: 16-17.
30. Son, KN, Kim, YK, Lee, SK. and Kim, HS. 2003. The Effects of Processing Methods of Corn on In sacco Starch and Protein Degradability in the Rumen. *J. Anim. Sci. Technol.* 45(3):433-442.
31. Subcommittee on Dairy Cattle Nutrition National Research Council. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. National Acad. Press.
32. Van Knegsel, AT, Van den Brand, H, Dijkstra, J, Tamminga, S. and Kemp, B. 2005. Effect of dietary energy source on energy balance, production, metabolic disorders and reproduction in lactating dairy cattle. *Reprod. Nutr. Dev.* 45(6):665-688.
33. Van Zijderveld, SM, Fonken, B, Dijkstra, J, Gerrits, WJJ, Perdok, HB, Fokkink, W. and Newbold, JR. 2011. Effects of a combination of feed additives on methane production, diet digestibility, and animal performance in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 94(3):1445-1454.
34. Wanapat, M, Polyorach, S, Chanthakhoun, V. and Sornsongnern, N. 2011. Yeast-fermented cassava chip protein (YEFECAP) concentrate for lactating dairy cows fed on urea–lime treated rice straw. *Livest. Sci.* 139(3):258-263.
35. Zinn, RA, Barreras, A, Corona, L, Owens, FN. and Plascencia, A. 2011. Comparative effects of processing methods on the feeding value of maize in feedlot cattle. *Nutr. Res. Rev.* 24(2):183-190.
36. Zinn, RA, Owens, FN. and Ware, RA. 2002. Flaking corn: processing mechanics, quality standards, and impacts on energy availability and performance of feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 80(5):1145-1156.