

옥수수 가공방법이 *In vitro* 건물소화율 및 *In sacco* 건물 분해율에 미치는 영향

손근남*, 김용국*, 이수기*, 김현섭**

충남대학교 동물자원학부*, 농촌진흥청 축산기술연구소**

The Effects of Processing Methods of Corn on *In vitro* DM Digestibility and *In sacco* Degradability in the Rumen

K. N. Son*, Y. K. Kim*, S. K. Lee* and H. S. Kim**

Devison of Animal Science & Resources, Chungnam National University*,
National Livestock Research Institute**

ABSRATCT

The objective of these studies were to examine the effects of processing methods of corn grains on *in vitro* dry matter digestibility and *in sacco* degradability in the rumen by three ruminally cannulated dry Holstein cows. The corns for these experiments were untreated; whole corn L(density; 660 g/ℓ), whole corn H(density; 740 g/ℓ), and treated by four different types: Ground corn, 3.8 mm, 2.8 mm, and 1.5 mm flaked corns. The results obtained were summarized as follows:

The DM degradabilities, after 48 hr incubation by *in sacco* method, were the highest(94.4, 88.0 and 87.0%, respectively) in 1.5 mm flaked corn, ground corn, and 2.8 mm flaked corn. The 3.8 mm flaked corn was degraded significantly lower than these. Until 12 hr incubation, whole corn L tended to be degraded little more than whole corn H, was not significantly different. However, after 24 hr incubation, the significant differences between whole corn L and whole corn H were shown(P<0.05). The DM digestibilities by *in vitro* digestion were the highest for 1.5 mm flaked corn and ground corn(92.3 and 91.2%, respectively)(P<0.05), followed by 2.8 mm and 3.8 mm flaked corn(83.9 and 83.4%, respectively), tended to be similar to those by *in sacco* method. Whole corn L was digested twice more rapidly than whole corn H. Summarizing the experimental data, compared with unprocessed corns, the flaked corns were significantly increased in the degradabilities of dry matter in the rumen. In addition, as increasing the flaking degree of corn, the degradabilities of dry matter were significantly improved. Referring to these kinds of physical characteristics of grain sources in the ruminal degradabilities, it is believed to be possible to optimize the environment of the fermentation in the rumen.

(Key words : *In vitro* digestibility, *In sacco* dry matter degradability, Processing methods, Corn grains)

I. 서 론

당량을 해외로부터의 수입에 의존하고 있으며, 수입량은 1990년 60천 톤에서 2001년 597천 톤으로 급격히 증가하고 있다(한국축산연감, 우리나라는 조사료 생산기반이 열악하여 상

Corresponding author : Y. K. Kim, Devison of Animal Sience & Resources, College of Agriculture & Life Sience, Chungnam National University, 220 Kung-Dong, Yusung-Ku, Daejon, 305-764, Republic of Korea. E-mail: yongkook@cnu.ac.kr Tel: 042-821-5787 Fax: 042-823-2766.

2002). 조사료는 곡류에 비하여 상대적으로 부피가 커서 물류비용이 상승하고, 관세율이 높아 건물 kg 당 구입가격이나, TDN kg당 구입가격이 수입 옥수수보다 높게 형성되고 있다. 이러한 여건으로 인하여 비육우 사육의 경우, 조사료를 전혀 급여하지 않거나 줄일 수 있는 방안으로 가공하지 않은 통 옥수수(whole corn)를 50~60% 사용한 완전배합사료가 개발되어 이용되고 있다. 이 때에 간혹 산독증(acidosis)이 발생되며, 산독증의 발생은 반추위내 옥수수의 건물 분해속도와도 관련이 있을 것으로 생각되는 바, Philippeau 등(1999)은 반추위 내에서의 건물의 분해속도는 같은 옥수수라도 품종과 생산지 그리고 가공방법 등에 따라 차이가 있다고 보고하였다. 국내에서 옥수수 수입 시에 통상적으로 품종은 명기되지 않으므로 본 연구에서는 용적중이 차이가 있는 두 종류의 통 옥수수를 공시하였다.

곡류사료의 건물 이용효율은 축종, 곡류의 종류 및 가공방법에 많은 영향을 받는데 (Theurer 등, 1999), 알곡을 가공처리하여 입자도와 구조가 변화되면 반추위내서의 영양소 이용성 및 발효특성을 변화시켜 이용효율을 증가시켜준다. 특히 옥수수를 증기막편 처리를 하면 전분입자의 30~50%가 gelatin화 되어(Hale 등, 1967. Hale, 1973) 반추위내 propionic acid 생산이 증가하며 acetate/proponate의 비율이 감소하여 비육우의 경우 알곡보다 증체율 및 사료이용효율이 개선된다고 하였다(Perry 등, 1971). 본 연구에서는 전분의 젤라틴화의 정도와 두께에 따른 3종의 flaked corn과 용적중이 다른 두 종류의 통 옥수수 및 분쇄 옥수수를 시험재료로 사용하여 *in vitro* 소화율 및 반추위내 *in sacco* 건물 분해율에 미치는 영향을 배양 시간대별로 측정함으로써 반추가축용 사료 배합시 반추위 미생물의 발효환경을 최적화하는데 활용하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. Two-stage *in vitro*법에 의한 건물소화율

(1) 위액 채취

반추위에 누관이 장착된 체중 620kg 정도의 Holstein종 건유우로부터 아침 사료를 주기 전에 위액을 채취하였다. 사료급여는 혼합 목건초와 물을 자유채식토록 하였다.

(2) 시험기간 및 장소

2002년 10월 25일부터 11월 2일까지 8일간 농촌진흥청 축산기술연구소에서 실시하였다.

(3) 공시 사료

통 옥수수 2종(density 660g/l와 740g/l), 분쇄 옥수수 및 flaking한 옥수수 3종(두께 3.8 mm, 2.8mm 및 1.5mm) 등 총 6종의 옥수수를 처리당 3반복으로 실시하였다. 국내에서 축우용 배합사료 제조시에 통상적으로 사용하고 있는 옥수수 가공형태로서 이들 6종의 시료를 선택하였다.

1) 공시 사료의 물리적 특성

공시사료의 물리적 특성은 Table 1에서 보는 바와 같으며, 통 옥수수는 density가 660g/l인 낮은 것(whole corn L)과 740g/l인 높은 것(whole corn H)으로 구분하였다. 물리적 특성을 측정하는 방법은 국내 배합사료 회사에서 통상적으로 사용하는 방법으로 다음과 같다.

가. 밀도(용적중, density, g/l)

내경 122mm의 1l 용 원통형 용기를 사용하여 상단 10cm 위에서 시료를 자유 낙하시켜 중량을 g 단위로 3회 측정하여, 평균값을 10g 단위로 반올림하였다.

나. 두께(thickness, mm)

무작위로 24개의 샘플을 선정, 반듯이 눕혀진 종실의 가장 두꺼운 부분의 두께를 vernier calipers로 측정하여, 최소 및 최대치 각각 2개

Table 1. Physical properties of experimental corns

Treatments	Density (g/ℓ)	Thickness (mm)	Particle size
Whole corn L	660	4.5	89.3% on 6.7 mm screen
Whole corn H	740	4.4	82.9% on 6.7 mm screen
Ground corn	580	-	54.9% in 1.18~3.35 mm
Flaked, 3.8 mm	540	3.8	-
Flaked, 2.8 mm	480	2.8	-
Flaked, 1.5 mm	290	1.5	-

를 제외한 나머지 20개의 평균치를 mm 단위, 소숫점 2자리에서 반올림하였다.

다. 입자도(particle size)

분쇄 옥수수의 입자도는 screen size가 각각 0.35, 0.60, 1.18, 1.70, 2.36 및 3.35mm의 표준체를 사용하여 5분간 진탕 후, 각 screen에 남아 있는 시료량을 7회 반복하여 평균값을 구하였다. 통 옥수수는 sieve shaker에 5분간 진탕 후, 6.7mm screen에 남아 있는 시료량을 3회 반복하여 평균치를 구하였다.

2) 공시 사료의 일반성분

공시 사료의 일반성분은 Table 2에서 보는

바와 같으며, 전분의 젤라틴화는 통옥수수 및 분쇄 옥수수가 25.1~26.6%이었고, 3.8mm와 2.8mm flake는 각각 40.4, 39.2%이었으며, 1.5 mm flake는 66.4%로 가장 높았다. 공시 사료와 배양 후의 잔존 시료의 일반성분 함량은 AOAC법(1990)에 의하여 분석하였다.

3) 공시 사료의 가공방법

분쇄 옥수수는 hammer mill를 사용하였으며, screen을 통과시키지 않았으며, 분쇄 입자도는 Table 1과 같다. Flaking corn은 110℃에서 15분간 steaming한 후, roller의 간극을 달리하여 두께를 조절하였다.

Table 2. Chemical composition of experimental corns

Treatments	Chemical composition						
	DM	CP	EE	CA	NDF	Starch	Gel. s.
	as fed	% of DM	%*
Whole corn L	87.0	8.31	3.56	1.33	11.5	58.6	26.0
Whole corn H	85.9	7.94	3.55	1.20	11.9	60.9	25.1
Ground corn	86.9	8.02	3.25	1.04	11.9	52.0	26.6
Flaked, 3.8 mm	85.8	8.29	3.45	1.15	15.7	59.3	40.4
Flaked, 2.8 mm	86.7	8.07	3.82	1.23	12.4	52.9	39.2
Flaked, 1.5 mm	87.0	7.63	2.35	0.86	14.5	53.5	66.4

DM; Dry Matter, CP; Crude Protein, EE; Ether Extract, CA; Crude Ash, NDF; Neutral Detergent Fiber, Gel. s.; Gelatinized starch. %* = Gelatinized starch÷total starch×100.

(4) 시험 설계

배양시간은 48시간으로 각각의 시료를 3회 반복 처리하였다.

(5) 시험 방법 및 조사 항목

Moore(1970)의 방법을 이용하여 *in vitro* 건물 소화율을 측정하였으며, 시험 수행과정을 요약하면 다음과 같다. 반추위 캐놀라가 장착된 젓소에서 아침 사료를 먹기 전에 위액을 채취하여 39℃ 보온병에 보존하였다. 시험사료에서 0.25g의 시료를 칭량하여 원심분리관에 넣고(시료를 넣지 않은 3개의 blank를 따로 준비함), 위액을 첨가하기 30분전에 1ml의 증류수를 가하였다. 각각의 원심분리관(tube)에 25ml 혼합용액(위액 + buffer 용액)을 넣고, 약 15초 동안 CO₂를 불어넣어 산소를 완전히 배출한 후 39℃ 항온수조에 담그고 1, 2, 4, 8, 12, 24 시간 후에 손으로 흔들어 주었다. Buffer 용액은 artificial saliva(MacDougall, 1948)를 사용하였다. 48시간 배양 후에 20% HCl 3ml를 거품이 발생하지 않도록 하며 조금씩 첨가하였고, 다시 5% pepsin 용액 1ml를 첨가한 후 항온수조에서 배양하였다. 이것을 48시간 후에 꺼내어 여과를 하고, 105℃ 건조기에서 건조한 후 남은 시료의 무게를 칭량하였으며, 다음의 계산식에 의하여 반추위 내에서의 건물 소화율을 구하였다.

$$\diamond \text{ 건물소화율(\%)} = \frac{(\text{시료} + \text{글래스필터의 무게}) - \text{blank 무게} - \text{건조후 무게}}{\text{시료의 무게}} \times 100$$

2. 반추위 *in sacco*법에 의한 건물분해율

(1) 공시축 및 사양관리

반추위에 누관이 장착된 체중 620kg 정도의 홀스타인종 건유우 3두를 공시하였으며, 혼합 목건초와 물을 자유채식토록 하였다.

(2) 시험기간 및 장소

2002년 10월 11일부터 10월 30일까지 20일간 농촌진흥청 축산기술연구소에서 실시하였다.

(3) 공시 사료

In vitro 소화율에서와 같은 총 6종의 옥수수 시료를 본 시험에 이용하였다.

(4) 시험 설계

옥수수 가공방법에 따른 6처리로 시험을 수행하였다. 반추위 배양시간은 0, 2, 4, 8, 12, 24, 및 48 시간으로 각각 3회 반복 처리하였다. Nylon bag(Swiss screen P/L Co. Ltd, NYTAL 25T, pore size; 45µm)은 5cm × 10cm 크기로 제작하였다.

(5) 시험 방법 및 조사 항목

1) 시험 방법

약 5g의 시료를 칭량하여 nylon bag에 넣고, 나이론 끈(뉘시줄용)으로 bag의 끝에서 2.5cm 지점을 묶은 다음, 큰 그물망 (크기: 가로 15cm × 세로 25cm)에 다시 넣어 따뜻한 물에 15분 정도 수침하였다. 캐놀라의 뚜껑을 열고 반추위 ventral sac 쪽으로 nylon bag이 든 그물망을 넣고, 캐놀라 뚜껑을 닫았다. 그 후 배양시간대 별로 캐놀라 뚜껑을 열고 회수한 nylon bag을 즉시 얼음물에 침지하여 미생물의 생육을 억제하였다. 단, 0시간대는 nylon bag 시료를 반추위 캐놀라에 넣지 않았다. 회수한 nylon bag을 맑은 물이 나올 때까지 30분 동안 세척하였다. 이것을 70℃ 건조기에서 48시간 건조한 후 무게를 칭량하였다(Van Keuren과 Heineman, 1962).

2) 조사 항목

가. 건물소화율(%) =
$$\frac{\text{배양전 건물 무게} - \text{배양후 건물 무게}}{\text{배양전 건물 무게}} \times 100$$

나. 건물분해상수

Marquardt(1963)법을 응용한 SAS(1988)의 비선형회귀(NLIN) program에 의해 다음의 분해도 공식(Ørskov와 McDonald, 1979)으로 a, b, c 값을 산출하였다.

$$P = a + b(1 - e^{-c})$$

P : 시간 “t” 경과시 반추위내 영양소의 분해율(%)

a : 시간 “0”시간대의 영양소의 분해율(%), 즉 빠르게 분해되는 부분을 의미,

b : 주어진 시간에 있어서 분해될 수 있는 영양소의 잠재적 분해율(%)

c : “b”의 시간당 분해상수

t : 반추위내 배양시간

e : 자연대수의 밑

다. 유효 분해도 (effective ruminal degradability, ED or ERD)

유효 분해도는 사료의 반추위내 통과속도를 0.02, 0.04 및 0.06 h⁻¹을 적용하여 다음과 같은 공식에 의해 추정하였다(NRC, 1984, Ørskov와 McDonald, 1979). ERD(%) = a + b [c / (c + k)]

여기서, ERD는 반추위내 유효 분해도이며, k는 사료의 반추위내 통과속도(passage rate)이고, a, b, c는 분해상수에서와 동일하다.

(6) 통계처리

SAS(statistical analysis system) 통계 프로그램을 이용하여 분산분석을 실시하고, 평균간의 차이는 DMRT(Duncan Multiple Range Test)로 5% 수준에서 유의성을 검정하였다(Duncan, 1955).

III. 결과 및 고찰

1. 옥수수 가공형태에 따른 *in vitro* 건물 소화율

반추위내 각종 영양소 이용효율은 건물 분해율을 기초적인 근거로 하여 산출된다. 그러므로, 건물 분해율은 공통의 변수로서 중요성을 갖는다. 본 시험은 *in sacco* 방법과 *in vitro* 방법에 의한 건물 소화율의 경향을 비교하여 보고자, 두 방법에서 같은 시험사료를 이용하여 수행하였으며, 옥수수 가공형태에 따른 *in vitro* 건물소화율 분석결과는 Table 3과 같다.

Table 3. *in vitro* Digestibilities of untreated and treated corns

Treatments	% of DM
Whole corn L	59.5±18.8 ^c
Whole corn H	27.2± 1.2 ^d
Ground corn	91.2± 0.8 ^a
Flaked, 3.8 mm	83.4± 0.9 ^b
Flaked, 2.8 mm	83.9± 5.1 ^b
Flaked, 1.5 mm	92.3± 1.6 ^a

^{a,b,c,d} Means in the same column with different superscripts are significantly different(P<0.05).

Two stage 법에 의해 배양한 후 *in vitro* 건물 소화율은 1.5mm flake 및 분쇄 옥수수(92.3 및 91.2%)가 가장 높았고, 다음으로 2.8mm 및 3.8mm flake(83.9 및 83.4%)가 높았으며, 가공처리하지 않은 통 옥수수 L 및 H(59.5 및 27.2%)는 분쇄하거나 flaking 처리한 옥수수에 비하여 유의하게 낮았다(P<0.05). Galyean 등 (1979)은 반추위내 소화율은 사료입자의 표면적이 넓어질수록 증가한다고 하였는데, 이는 가공처리에 의해 반추위내 미생물이 접촉할 수 있는 면적이 넓어짐으로써 소화율이 증가되기 때문이라고 하였다. 한편, density가 낮은 통 옥수수(59.5%)는 높은 것(27.2%)에 비하여 2배 이상 빠르게 소화되었다. 이는 density가 낮은 단위 중량당 부피가 크고, 표면적 또한 넓어서, 표피를 통한 종실 내부로의 미생물의 침

투가 보다 용이하였기 때문으로 생각된다.

2. 옥수수 가공형태에 따른 반추위 배양시간 별 건물 분해율, 건물 분해상수 및 유효 건물 분해도

(1) 건물 분해율

In sacco 건물 분해율에 대한 결과는 Table 4에서 보는 바와 같다. 2시간부터 24시간대에서는 1.5mm flake가 분해율이 가장 높았으나 (10.8~83.5%), 48시간대에서는 1.5, 2.8mm flake 및 분쇄 옥수수간에 유의한 차이가 없었다(P<0.05). 두께가 다른 3종의 flake를 비교하면 2시간~24시간에서의 분해율은 두께가 얇을 수록 분해도가 높아지는 경향이였다. 48시간대에서의 분해율은 3.8mm(61.8%)보다 2.8mm (87.0%)가 유의하게 높았다(P<0.05). 그러나, 두께를 1.5mm로 보다 얇게 가공하였을 때는 2.8mm로 가공시와 비교하여, 분해율이 증가하는 경향은 있었으나, 유의적인 차이는 없었다 (P<0.05). 그러므로 2.8mm 미만으로 두께를 과도하게 얇게 가공하는 것은 추가되는 가공비용을 고려하여 신중하게 결정하여야겠다. 반추위

내에서 2시간대의 분해율을 보면, 1.5mm flake가 38.9%로 가장 높았고, 통 옥수수는 각각 10.0%(whole corn L) 및 9.1%(whole corn H)로 유의하게 낮았다(P< 0.05). 24시간 및 48시간대에서 density가 낮은 통 옥수수(20.1 및 31.1%)가 높은 통 옥수수(12.8 및 17.1%)에 비하여 반추위 건물 분해율이 높았다(P<0.05). 이는 density가 낮은 통 옥수수는 hull과 기질과의 괴리가 일어나고 hull이 박리되어 미생물의 침투가 용이하였기 때문으로 사료된다. 또한 건물 분해율이 40%대에 도달하는 시간은 1.5mm flake가 분쇄 옥수수 및 2.8mm flake보다 8시간, 3.8mm flake보다 20시간 정도 빠르게 나타났다. 반추위 내에서 분해율이 빠를 경우에는 유지방율을 하락시킬 수 있으므로 분해율이 느린 조사료와 균형을 이루도록 조정하여야 할 것이다.

Hale(1973)은 옥수수를 flaking 처리하면 전분입자가 젤라틴화되고, 반추위 내에서 프로피온산의 생성량을 증가시켜 A/P(acetate/propionate)비를 감소시킨다고 하였다. A/P비가 감소하면 유지율은 하락되는 반면 증체율은 개선된다. 그러므로 전분의 젤라틴화를 향상시키기

Table 4. Dry matter degradabilities of untreated and treated corns by incubation time in the rumen of Holstein cows

Treatments	Incubation time in the rumen (hrs)						
	0	2	4	8	12	24	48
 % of DM						
Whole corn L	7.7 ^c	10.0 ^c	10.7 ^d	11.1 ^d	16.1 ^d	20.1 ^e	31.1 ^c
Whole corn H	8.5 ^c	9.1 ^c	9.2 ^d	10.2 ^d	11.4 ^d	12.8 ^f	17.1 ^d
Ground corn	13.2 ^a	21.3 ^b	25.0 ^b	34.0 ^b	42.4 ^b	67.0 ^b	88.0 ^a
Flaked, 3.8 mm	10.4 ^b	13.3 ^c	15.5 ^c	20.7 ^c	32.4 ^c	46.7 ^d	61.8 ^b
Flaked, 2.8 mm	10.7 ^b	19.5 ^b	22.3 ^b	33.5 ^b	44.9 ^b	58.1 ^c	87.0 ^a
Flaked, 1.5 mm	10.8 ^b	38.9 ^a	40.8 ^a	52.9 ^a	59.4 ^a	83.5 ^a	94.4 ^a
SEM	0.45	2.50	2.61	3.68	4.10	6.13	7.29

^{a,b,c,d,e,f} Means in the same column with different superscripts are significantly different(P<0.05).

위한 flaking 등의 가공처리는 착유우 사료보다는 비육우 사료에 있어서 보다 효과적이라고 할 수 있겠다.

(2) 건물 분해상수

건물 분해상수는 반추위 배양시간별 건물 분해율을 기초로 하여 계산되며 결과는 Table 5에서 보는 바와 같다.

“a”값은 수용성이거나 곧바로 분해되어 nylon bag을 ‘0’ 시간대에 빠져나가는 양을 나타내는데, 이 값에 영향을 미치는 요인으로는 시험사료의 수용성 부분의 함량 차이뿐 아니라, 입자도의 차이에 따라 nylon bag의 pore를 통과하여 빠져나가는 미세 입자의 양이 다르기 때문이다. 본 시험에서 “a”값은 1.5mm flake가 18.6%로서 가장 높았고, 다음이 분쇄 옥수수 및 2.8mm flake가 각각 13.1, 11.9%이었으며, 통 옥수수 L과 H(8.2와 8.5%) 및 3.8mm flake (8.2%)가 가장 낮았다(P<0.05). 김 등(1996)이 통 옥수수, 박편 처리 및 거친 분쇄시 “a”값은 12.8, 21.7 및 21.4%라고 발표한 것과 비슷한 경향이였다. 반추위 내에서 미생물에 의해 분해되는 “b”값 부분이 시간당 반추위를 통과하

는 속도 즉, 건물 분해상수 “c”값은 통 옥수수 H(0.013)와 L(0.016)이 가장 낮았고, 다음은 2.8mm, 3.8mm flake 및 분쇄 옥수수가 각각 0.035, 0.040 및 0.036으로 서로 비슷하였으며, 1.5mm flake는 0.075로 가장 높았다(P<0.05). 이는 Tamminga 등(1989)이 분쇄 옥수수의 시간당 분해율은 3.6~4.0%라고 한 것과 유사한 범위 내에 있으며, Thomas(1988)가 발표한 분쇄 옥수수의 “c”값 0.026보다는 다소 높은 0.036을 나타냈는데, 이는 본 시험에서 사용한 분쇄 옥수수의 입자도(54.9% in 1.18~3.35mm screen)와의 차이 및 “0”시간대에 bag을 빠져나가는 양의 차이 등에 기인되었다고 사료된다. 건물 분해상수 “c”값이 클수록 반추위내 정체시간 (retention time)이 감소하므로 소화율의 감소를 가져올 수 있다(Poppi 등, 1980; Ehle, 1984; Ehle 등, 1982)는 요인을 곡류의 가공 처리 시에 고려하여야 할 것으로 생각된다.

(3) 유효 건물 분해도

반추위내 시간당 통과속도 0.02, 0.04 및 0.06을 적용한 유효 건물 분해도는 Table 6에서 보는 바와 같다.

Table 5. Dry matter degradation parameters of untreated and treated corns by incubation time in the rumen

Treatments	Degradation parameters		
	a(%)	b(%)	c
Whole corn L	8.2 ^c	33.7 ^c	0.016 ^c
Whole corn H	8.5 ^c	26.0 ^c	0.013 ^c
Ground corn	13.1 ^b	79.2 ^a	0.036 ^b
Flaked, 3.8 mm	8.2 ^c	54.0 ^b	0.040 ^b
Flaked, 2.8 mm	11.9 ^b	77.9 ^a	0.035 ^b
Flaked, 1.5 mm	18.6 ^a	58.6 ^b	0.075 ^a
SEM	0.97	5.02	0.0052

^{a,b,c,d} Means in the same column with different superscripts are significantly different(P<0.05).

Table 6. Effective dry matter degradabilities of untreated and treated corns by incubation time in the rumen

Treatments	ERD*(%)		
	k=0.02	k=0.04	k=0.06
Whole corn L	22.5 ^d	17.5 ^e	15.1 ^e
Whole corn H	12.9 ^e	11.0 ^f	10.3 ^f
Ground corn	63.2 ^a	49.9 ^b	42.2 ^b
Flaked, 3.8 mm	43.7 ^c	34.7 ^d	29.4 ^d
Flaked, 2.8 mm	53.6 ^b	42.4 ^c	36.0 ^c
Flaked, 1.5 mm	64.8 ^a	56.8 ^a	51.1 ^a
SEM	3.51	4.01	4.82

ERD* : Effective rumen degradability calculated with the equation of $ERD = a + b[c/(c+k)]$, where k is the rate of passage set at 0.02, 0.04 and 0.06.

^{a,b,c,d,e,f} Means in the same column with different superscripts are significantly different (P<0.05).

김 등(1996)은 k=0.03 적용시 유효 건물분해도는 whole grain corn 20.8%, flaked corn 63.5%, coarse ground corn 66.8%라고 발표하였는데 본 시험의 수치는 이보다 낮았으나 경향은 유사하였다. 앞의 건물 분해상수와 관련하여 보면 1.5mm flake의 “c”값은 0.075이므로 즉, 반추위내 통과속도가 매우 빠르므로 유효 건물 분해도는 k=0.06을 적용한 결과치인 51.1% 보다 더욱 낮아질 것으로 추정할 수 있겠다.

In sacco 방법에서 48시간대의 건물 분해율은 1.5mm flake, 분쇄 옥수수, 2.8mm, 3.8mm flake, density 660g/l 인 통 옥수수, 740g/l 인 통 옥수수의 순으로 높았는데, 같은 48시간 배양한 *in vitro* 시험에서도 같은 순서로 유사한 결과를 보였다. 두 방법에서 건물 분해율은 1.5mm, 2.8mm flake 및 분쇄 옥수수는 5% 범위내의 차이를 보였으며, *in vitro* 시험 결과가 *in sacco* 시험 결과보다 3.8mm flake는 22.6%, density 660g/l 인 통 옥수수는 28.4%, density 740g/l 인 통 옥수수는 10.1% 더 높게 나타났다.

In vitro 및 *in sacco* 시험 결과를 종합하여 보면, 옥수수를 분쇄하거나, flaking처리를 하면 가공하지 않은 통 옥수수에 비하여 반추위 내에서 건물 분해율이 유의하게 증가되었다. 또한 flake의 가공정도를 증진시킬수록, 건물 분해율이 증가되었으며, 1.5mm로 얇게 가공한 flake는 반추위 내에서 급속하게 분해되는 경향이 있었다. 이처럼 반추위내 배양시간별 영양소 분해율은 원료의 물리적 특성에 따라 영향을 받는다. 반추가축사료에 이용되는 원료들의 이와같은 분해특성을 고려하면 반추위 미생물의 발효환경을 보다 최적화할 수 있다고 생각된다. 한편, 홀스타인 숫소 비육시에 조사료 대용으로 통 옥수수를 급여하는 경우에는 건물 분해율이 느린 density가 높은 통 옥수수가 안전하다고 하겠으며, 이 때 *in sacco* 또는 *in vitro* 건물 분해율시험이 이용되어야 하겠다.

IV. 요약

본 연구는 옥수수 알곡의 가공방법(통 옥수수, 분쇄, flake 3.8mm, 2.8mm 및 1.5mm)이 *in*

vitro 상의 건물 소화율 및 *in sacco* 방법에 있어 반추위 내에서의 건물 분해율에 미치는 영향을 규명하기 위해 반추위에 캐놀라(cannulae)가 장착된 홀스타인 건유우 3두를 공시축으로 하여 수행하였는데 그 결과를 요약하면 다음과 같다. 옥수수 가공형태별 *in vitro* 소화율은 *in sacco* 방법에서와 비슷한 경향을 보였다. 48시간 배양시에 1.5mm flake 및 분쇄한 옥수수가 각각 92.3, 91.2%로서 가장 높았다, 다음으로 2.8mm 및 3.8mm flake가 각각 83.9, 83.4%이었다. 특히, 통 옥수수는 가장 낮았으며, density가 낮은 통 옥수수가 높은 것보다 2배 이상 빠르게 분해되었다. *In sacco* 방법에 의한 건물 분해율은 48시간대에서 1.5mm flake, 분쇄 옥수수 및 2.8mm flake가 각각 94.4, 88.0 및 87.0%로서 가장 높았고, 3.8mm flake는 61.8%로서 이들보다 유의적으로 낮았다. Density가 낮은 통 옥수수가 높은 것보다 12시간대까지는 많이 분해되는 경향을 보였으나, 유의적인 차이가 없었고, 24, 48시간대에서는 유의하게 높아졌다.

본 연구의 결과를 종합하면, 옥수수를 분쇄하거나, flaking 처리를 하면 통 옥수수에 비하여 반추위 내에서 건물 분해율이 유의하게 증가되었다. 또한 flake의 가공정도를 증진시킬수록 건물 분해율이 유의하게 증가되었으며, 1.5 mm로 얇게 가공한 flake는 반추위 내에서 급속하게 분해되는 경향이였다. 한편, 같은 통 옥수수에서도 density가 낮은 것이 빠르게 분해되었다.

V. 인 용 문 헌

1. AOAC. 1990. Official methods of analytical chemists., Washington, D.C., U.S.A.
2. Duncan, D. B. 1955. Multiple range and multiple F tests. Biometrics. 11:1.
3. Ehle, F. R. 1984. Influence of particle size on determination of fibrous feed components. J. Dairy Sci. 67:1482.
4. Ehle, F. R., Murphy, M. R. and Clark, J. H. 1982. *In situ* Particle size reduction and the effect of particle size on degradation of crude protein and dry matter in the rumen of dairy steers. J. Dairy Sci.65:963.
5. Galyean, M. L., Wagner, D. G. and Owens, F. N. 1979. Corn particle size and site and extent of digestion by steers. J. Anim. Sci. 49:199.
6. Hale, W. H. 1973. Influence of processing on the utilization of grains(starch) by ruminants. J. Anim. Sci. 37:1075.
7. Hale, W. H., Cuitun, L., Soba, W. J. and Theurer, B. 1967. Effect of steam processing and flaked milo and barley on performance and digestion by steers. J. Anim. Sci. 25:392.
8. MacDougall, E. I. 1948. Studies on ruminant saliva. I. The composition and output of sheep's saliva. Biochem. J. 43:99.
9. Marquadt, W. 1963. An algorithm for least squares estimation of nonlinear parameters. Soc. Ind. Appl. Math. 11:431.
10. Moore, J. E. 1970. Procedure for two-stage *in vitro* digestion of forage. In L. E. Harrison(ed.). Nutrition research technique for domestic and wild animals. J. Bri. Grassl. Sci. 18:119.
11. NRC. 1984. Ruminant nitrogen usage(6th Ed.). National Academy Press, Washington, D.C., USA.
12. Ørskov, E. R. and MacDonald, I. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. J. Agri. Camb. 92:499.
13. Perry, T. W., Hammond, L. M., Peterson, R. C. and Beeson, W. M. 1971. Value of roasting corn for finishing heifers. Purdue Res. Prog. Rep. p. 379. Perdue Univ. Exp. Stn.
14. Philippeau, C., Le Deschault de Monredon, F. and Michalet-Doreau, B. 1999. Relationship between ruminal starch degradation and the physical characteristics of corn grain. J. Anim. Sci. 77:238.
15. Poppi, D. P., Norton, B. W., Minson, D. J. and Hendrichson, R. E. 1980. The validity of the critical size theory for particles leaving the rumen. J. Agric. Sci. (Camb.) 94:275.
16. SAS. 1988. User's Guide: Statistics. SAS Inst.

- Inc., Carry, NC, USA.
17. Tamminga, S., Van der Togt, P., Van der Koelen, C. J., Meliefste, C., Luttikuis, M. and Classon, G. D. H. 1989. The behavior of starch in the rumen of dairy cows. Modeling No. 14. Inst. Livest. Feeding Nutri. Lelystad. Netherlands
 18. Theurer, C. B., Lozano, O., Alio, A., Delgado-Elorduy, A., Sadik, M., Huber, J. T. and Zinn, R. A. 1999. Steam-processed corn and sorghum grains flaked at different densities alter ruminal, small intestinal, and total tract digestibility of starch by steers. *J. Anim. Sci.* 77:2824.
 19. Thomas, E. E. 1988. The effect of particle size and steam treatment of feedstuffs on rate and extent of digestion(*In vitro* and *in situ*). *J. Anim. Sci.* 66:243.
 20. Van Keuren, R. W. and Heineman, W. W. 1962. Study of a nylon bag technique for *in vivo* estimation of forage digestibility. *J. Anim. Sci.* 21:340.
 21. 김남식, 하종규, 고영곤, 김홍대, 김완영, 광병오. 1996. 옥수수의 가공처리가 영양소 이용성에 미치는 영향. II. 가공처리된 짚소 반추위 내에서 전분 분해도와 하부장기 내에서 건물 및 조단백질의 소실률. *한국영양사료학회지.* 20:360.
 22. 한국축산연감. 2002. 농수축산신문.
(접수일자 : 2003. 1. 16 / 채택일자 : 2003. 4. 14)