

쌀, 보리, 옥수수 의 반추위내 *In situ* 및 *In vitro* 분해율, 미생물 성장과 Gas 발생량에 대한 연구

이상민* · 강태원* · 이신자* · 옥지운* · 문여황** · 이성실*

경상대학교 농업생명과학대학*, 진주산업대학교 동물생명과학과**

Studies on *In situ* and *In vitro* Degradabilities, Microbial Growth and Gas Production of Rice, Barley and Corn

S. M. Lee*, T. W. Kang*, S. J. Lee*, J. U. Ok*, Y. H. Moon** and Sung S. Lee*

Division of Animal Science and Technology, Gyeongsang National University*,

Department of Animal Science and Biotechnology, RAIRC, Jinju National University**

ABSTRACT

Ground rice, barley and corn were fed separately to the ruminally cannulated Hanwoo (Korean native cattle) for comparing their *in situ* and *in vitro* degradabilities, microbial growth, pH and gas production. It has been found that nearly all the dry matter (DM) and organic matter (OM) in barley and rice disappeared during 24 hr suspension in the rumen, but those in corn were only reduced by around 67%. Water soluble DM and OM fractions('a'), ranked from highest to lowest was corn, then rice and finally barley, but the order was reversed for content 'b', degradable fraction during time 't'. Judging by the degradation parameter of 'b' fraction, degradation rates per hour of DM and OM for barley were 38.3% and 37.2% respectively, significantly higher than those for rice (7.7% and 5.6%) and corn (4.1% and 1.3%). In general, results obtained from *in vitro* degradability of DM and OM were lower than those from *in situ* trials, but the ranking order of degradability was in agreement between both trials. In particular, ground rice has relatively lower *in vitro* microbial growth than corn or barley, but exhibited higher gas production. In addition, *in vitro* microbial growth of ground rice increased with up to 12 hr of incubation period, thereafter experienced a decrease with extended incubation time. pH of *in vitro* solution of rice decreased following 9 hr of incubation but gas production increased rapidly during the same period. From the results of DM and OM degradabilities and pH changes of *in vitro* solution with incubation time, it is concluded that rice represents a good source of energy for stability of rumen fermentation.

(Key words : Rice, Barley, Corn, Ruminant degradability)

I. 서 론

쌀, 보리, 옥수수는 우리나라에서 가장 널리 재배되어온 전통적인 곡류로서 특히, 주식인

쌀은 생산성과 기호성을 높이기 위하여 많은 연구가 진행되어 한 때는 식량 이외의 사용이 금지될 만큼 그 용도에 대한 상징적 의미가 크다. 식생활이 다양화 되면서 쌀의 소비량이 줄

Corresponding author : Sung S. Lee, Division of Applied Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea.

Tel : 055-751-5411, Fax : 055-751-5410, E-mail : lss@gsnu.ac.kr

어들과, WTO 협정에 따라 국내 소비량의 1~4%를 의무적으로 수입하게 되면서 공급이 수요를 초과하여 재고량이 크게 증가하여 매년 1,000만 석 이상의 쌀이 남아돌고 있어 정부에서는 쌀 생산 조정제를 통한 쌀 대신 비상업적 작물 재배를 유도하고 있는 실정이다(농림부, 2002). 우리나라에서 보리는 쌀과 이모작 곡류로서 널리 재배되고 있는데, 소에게 보리를 급여하면 육질개선 및 비육효과가 우수하다는 연구결과가(장선식 등, 2006) 보고되어 최근에는 비육우의 마무리 곡류로서 보리의 배합비율이 높아지고 있다. 그러나 보리는 옥수수에 비해 단백질의 품질과 함량은 높지만 소화성과 에너지가가 낮아서 옥수수의 85~90%에 해당하는 사료적 가치가 있다고 알려져 있다. 암모니아 처리 보리는 유우의 유 생산성을 증가시키고 (Robinson과 Kennelly, 1991), Feedlot 사양축의 증체율과 사료 이용효율을 개선한다고 하였다 (Marthison, 1988). 배합사료의 50~70% 정도를 차지할 정도로 가축의 주 에너지 공급원으로 이용되고 있는 옥수수(농림부, 2003)는 약 70~80%가 전분질로서 반추위내 분해율이 90% 이상이며(Rooney와 Pflugfelder, 1986) 종류와 가공 방법 등에 따라 소화율이 다르게 나타나(Owens와 Goetsch, 1986) 다양한 품종과 가공처리 방식이 개발되어 있다. 고 에너지, 고 수확성 등의 많은 장점을 지닌 옥수수가 가축의 주 에너지 공급원으로서 가장 바람직한 원료이지만 영양소의 균형과 수요와 공급의 측면에서 타 곡류의 사용은 더욱 확대될 것으로 전망된다. 이러한 관점에서 아직까지 우리의 주식으로서 가장 높은 비중을 차지하고 있는 쌀의 사료적 가치에 대한 연구는 우리나라의 여건과 정서상 문제 때문에 아직까지 활발하게 이루어지지 않고 있지만 재고량 증가와 더불어 품질이 낮고 고 수확 품종의 사료화에 대한 선행연구는 필요할 것으로 사료된다.

따라서 본 연구는 곡류사료로서 옥수수, 보리와 더불어 쌀의 *in situ* 및 *in vitro* 건물 및 유기물 분해율, gas 발생량, pH 변화 및 미생물 성장량 등을 비교 분석하여 반추가축 사료로서 쌀의 이용성을 평가해 보고자한다.

II. 재료 및 방법

1. 공시재료

쌀은 국내산 일반미(동진), 보리는 국내산 쌀 보리(재안찰쌀보리), 그리고 옥수수는 중국산 사료용 옥수수(dent종) 알곡을 구입하여, 2 mm screen이 부착된 Wiley mill에서 분쇄한 후, 미세한 가루는 제거하고 입자가 600 μ m (MF=2.5) 이하가 되도록 처리하여 공시재료로 사용하였다.

공시재료는 AOAC법(1990)으로 분석하고, 화학적 조성은 Table 1에서 보는 바와 같다.

Table 1. Chemical composition of experimental feedstuffs

Chemical composition	Feedstuffs		
	Rice	Barley	Corn
Moisture (%)	14.94	11.15	13.44
Crude protein (% DM)	6.53	9.37	7.90
Crude fat (% DM)	0.56	0.67	4.03
Crude fiber (% DM)	0.27	0.60	1.70
Crude ash (% DM)	0.44	0.97	1.20
Calcium (% DM)	0.02	0.03	0.02
Phosphorus (% DM)	0.11	0.18	0.23

2. 공시축 및 사양관리

반추위 누관이 장착된 체중 약 450 kg 한우 3두를 이용하여 *in situ* 및 *in vitro* 시험을 위한 위액을 채취하였다. 사료(Table 2)는 농후사료와 볏짚의 비율을 4 : 1로 하여 체중의 2%를 1일 2회(06:00, 16:00) 분할 급여하였고, 물은 자유섭취토록 하였다.

3. 시험설계

쌀, 보리 및 옥수수의 *in situ* 및 *in vitro* 시험은 각각의 발효시간 0, 2, 4, 6, 8, 12, 18 및 24 시간과 0, 3, 6, 9, 12, 18 및 24시간으로 각 발효시간당 3 반복으로 수행되었다.

Table 2. Components and chemical composition (% , as fed basis) of basal diet fed fistulated Hanwoo

Items	Compound feed	Rice straw
Ingredient components		
Corn	58.8	
Wheat ground	5.0	
Wheat bran	15.0	
Tapioca	8.0	
Cotton seed meal	4.0	
Rapeseed meal	4.0	
Cane molasses	4.0	
By-pass fat	0.9	
Limestone	1.2	
Salt	1.0	
Vitamin-mineral mixtures	2.9	
Total	100.0	
Chemical composition		
Moisture	11.9	12.0
Crude protein	11.2	4.5
Ether extract	2.9	2.2
Crude fiber	3.1	28.3
Crude ash	5.2	15.1
NFE	65.7	38.0
TDN ^a	71.9	37.5
Ca	0.9	0.3
P	0.3	0.1

^a Total digestible nutrients calculated from Composition of Korean Feedstuffs (National Livestock Research Institute, 1984)

4. 시험방법

가. *In situ* 시험

Nylon bag(NB) 제작용 천은 pore size가 45 μm 인 NYTAL 25T(Swiss screen P/L Co. Ltd)를 사용하여 internal dimension이 9×5 cm 크기로 제작하였다. 약 5g의 시료(쌀, 보리, 옥수수)를 각각 칭량하여 NB에 넣고, 39~40℃ 온수에서 약 30분간 침지시킨 후, 오전사료 급여와 동시에 발효 시간별(0, 2, 4, 6, 8, 12, 18 및 24 h)로 3개의 bag을 투입하였다. 발효 시간별로 반추위에서 회수된 NB은 미생물의 성장을 억제시키

기 위하여 즉시, 얼음물에 침지시켰으며, 특별히 고안된 세척기를 이용하여 세척이 완료된 NB는 80℃의 환류 건조기에서 48시간 건조 후, 칭량한 bag 시료 중 건물과 유기물의 함량은 AOAC(1990) 방법으로 분석하였다(Van Keuren and Heineman, 1962).

나. *In vitro* 시험

Dehority's artificial medium은 Dehority와 Scott (1967)의 방법에 따라 제조되었으며, 배양액에 사용될 위액은 시험 2시간 전에 채취하여 4겹의 cheese cloth로 여과하고 30분~1시간 정도 정치시켜 사료입자를 가라앉힌 후, vacuum 펌프로 상층액을 채취하여 사용하였다. 혐기상태로 주입된 Dehority's artificial medium 10 ml과 시료 2 g이 든 시험관에 처리된 위액 5 ml를 넣고, 39℃의 shaking incubator(120rpm)에서 시간대별로 발효시킨 후, 분석 시료로 사용하였다.

실험은 발효시험관을 shaking incubator에서 꺼낸 후, gas 발생량 측정, 미생물 성장량 측정을 위한 sample 채취, pH 측정 및 건물·유기물 분해율 측정의 순으로 실시되었다.

5. 조사항목 및 조사방법

가. *In situ* 시험

(1) 영양소 소실율 측정

$$\text{영양소 소실율(\%)} = \frac{\text{발효전 영양소 무게} - \text{발효후 영양소 무게}}{\text{발효전 영양소 무게}} \times 100$$

(2) 영양소 분해율

Nylon bag 시험을 통해 얻어진 각 발효시간대별 영양소 소실율을 기초로 하여 다음의 Ørskov와 McDonald(1979)의 방법에 의해 분해율을 추정하였다.

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

P : 시간 “t” 경과시 반추위 내 영양소 분해율(%)

a : “0”시간대의 영양소 분해율(%), 신속하게 분해되는 부분.

b : 주어진 시간에 있어서 분해될 수 있는

영양소의 잠재적 분해율(%)
 c : “b” 부분의 시간당 분해상수
 t : 반추위내 발효시간

(3) 유효 분해도

유효 분해도(effective ruminal degradability, ED)는 사료의 반추위 내 통과속도를 시간당 6% (r = 0.06)로 가정하여(NRC, 1984), 다음과 같은 공식으로 추정하였다(Ørskov와 McDonald, 1979).

$$ED = a + b\{c/(c+r)\}$$

r : 사료의 반추위 통과속도

a, b, c : 건물 분해상수의 공식에서와 동일.

나. *In vitro* 시험

(1) *In vitro* 소실율

건물 소실율은 Moore(1970)가 개선한 Tilley and Terry의 two stage 방법으로, 시험에 사용할 filter paper 무게를 미리 측정해 두었다가 pH 측정 후, filter paper에 걸러진 내용물과 filter paper를 105℃ drying oven에서 12시간 건조시킨 다음, 아래 공식으로 구하였다.

영양소 분해율(%) =

$$\frac{\text{발효전 영양소 무게} - (\text{여과 후 남은 무게} - \text{Blank})}{\text{발효전 영양소 무게}} \times 100$$

유기물 소실율은 건조 된 filter paper 시료를 crucible에 담아 무게를 측정하고 회화로 (550℃, 5시간)에서 태우고 난 후 무게를 측정하여 구하였다.

(2) Gas 발생량

각 발효시간대별로 시험관을 shaking incubator (120 RPM)에서 꺼낸 후, 온도에 따른 변화를 감안하여 상온에서 20분간 방치시킨 다음, water displacement apparatus를 이용하여 gas 발생량을 측정하였다(Ferorak와 Hrwdey, 1983).

(3) 미생물 성장량

In vitro 미생물 성장량 측정은 각 시간대별로 발효된 시험관으로부터 발효액 1.5 ml를 tube에 취하고, 사료입자 제거를 위해 3,000 rpm에서 3분간 원심분리 후, 상층액을 14,000 rpm에서 3분간 원심 분리하여 미생물 pellet을 침전시킨 다음,

상층액은 제거하고 침전물에 sodium phosphate buffer (pH 6.5)를 첨가하여 vortex로 현탁시킨다. 이 과정을 3회 반복한 후에 spectrophotometer를 이용하여 550 nm에서 O.D.(optical density) 값을 비교하여 미생물 성장량을 구하였다.

(4) pH 변화

pH는 각 발효시간대별 gas 발생량과 미생물 성장량 측정을 위한 시료 채취 후에 pH meter (Mettler Toledo, MP230)를 이용하여 측정하였다.

4. 통계처리

본 시험의 성적은 SAS(1997) 통계 package를 이용하여 비선형회귀방정식(Proc NLIN)과 Duncan 다중검정(Duncan, 1955)으로 유의성(P<0.05)을 검정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. *In situ* 건물 및 유기물 분해율

공시시료의 반추위내 *in situ* 건물 및 유기물 분해율은 각각 Fig. 1과 Fig. 2에 나타내었다. 보리는 반추위 내 발효 6시간 경과 시에 건물의 90% 이상이 소실된 반면, 옥수수는 약 37%만 소실되었고 쌀은 약 50%의 건물이 소실되어 중간 수준인 것으로 나타났다. 이러한 경향

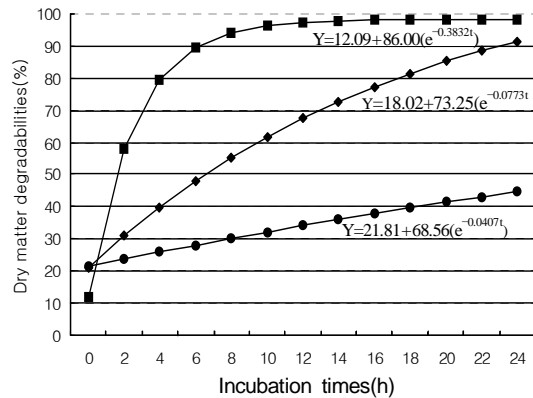


Fig. 1. Dry matter degradabilities(%) of rice(♦ — ♦), barley(■ — ■) and corn(● — ●) in the rumen of Hanwoo(Korean native cattle).

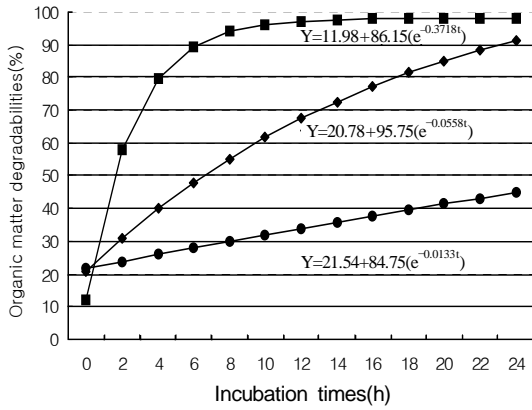


Fig. 2. Organic matter degradabilities(%) of rice(◆-◆), barley(■-■) and corn (●-●) in the rumen of Hanwoo (Korean native cattle).

은 계속 지속되어 24시간 발효 시에는 보리와 쌀은 거의 대부분이 소실된 반면, 옥수수는 약 67%의 건물만 소실되어 분해 속도가 매우 느린 것으로 나타났다.

반추위내 건물 분해도를 추정해 본 결과 (Table 3), 건물 소실율이 가장 높았던 보리가 수용성 물질('a' 부분)이 가장 많을 것이라는 예상과는 달리 옥수수, 쌀, 보리 순이었으며, 주어진 시간동안 반추위내에서 천천히 분해되

Table 3. Degradation parameters and effective degradabilities of experimental feedstuffs

Degradation parameters	Feedstuffs		
	Rice	Barley	Corn
Dry matter			
a	18.02	12.09	21.81
b	73.25	86.00	68.56
c	0.0773	0.3832	0.0407
ED(%) r = 0.06	59.26	86.45	49.53
Organic matter			
a	20.78	11.98	21.54
b	95.75	86.15	84.75
c	0.0558	0.3718	0.0133
ED (%) r = 0.06	66.92	86.17	32.92

ED* Effective degradability in the rumen was calculated with the equation of $ED = a + b\{c/(c+r)\}$, wherer r is the rate of passage at 6% per hour.

는 'b' 부분은 'a' 부분의 함량과 처리간 순서에 서 정 반대의 경향을 나타내었다. 보리의 건물 분해도가 높은 것은 천천히 분해되는 'b' 부분의 분해 상수('c' 부분)로부터 알 수 있듯이, 시간당 38%로서 쌀의 7.7%나 옥수수의 4%에 비해 매우 빠르게 일어났기 때문인 것으로 사료된다. 시간당 분해상수를 나타내는 'c' 값이 크면, 반추위내 정체시간이 줄어들어 분해율의 감소를 가져올 수 있다(Poppi 등, 1980; Ehle, 1984; Ehle 등, 1982)는 연구 결과로부터 보리는 반추위내 통과속도가 빨라(정체시간의 감소) 예상보다 실제소화율은 떨어질 수 있을 것으로 사료된다.

한편, 유기물 분해율도 건물과 비슷한 경향으로서 보리는 건물의 결과와 거의 비슷하게 나타났으나 쌀과 옥수수의 경우는 천천히 분해되는 유기물인 'b' 부분이 약 30%, 24%씩 각각 크게 증가하였다. 그러나 옥수수는 가용성 (a + b 부분) 건물에 비해 가용성 유기물이 증가하였지만 유효분해도($r = 0.06$)에 있어서는 오히려 떨어지는 결과를 나타내었는데 이러한 결과는 옥수수 유기물의 시간당 분해 속도가 건물의 분해 속도보다 매우 낮아졌기(4.07 : 1.33%) 때문이다. 한편, 쌀의 경우는 가용성 건물보다 가용성 유기물 부분이 타 곡류에 비해 상대적으로 많아졌으나 시간당 분해속도는 유기물이 건물보다 떨어진 것으로 나타났다. 곡류는 70~80% 이상 전분으로 구성되어 있고, 전분의 분해에 있어서 전분 자체의 구조와 아주 밀접한 관련을 가지고 있으므로 사료의 종류에 따른 반추위내 소실율은 상당한 차이를 가져올 수 있다 (Rooney와 Pflugfelder, 1986; Whister과 Daniel, 1984). 그리고, 전분의 구조와 전분을 둘러싸고 있는 단백질의 양과 구성(Wall과 Paulis, 1978; Rooney 등, 1980; Thomas, 1988)에 따라 소실율이 달라질 수 있고, 곡류의 표피에 cellulose와 hemicellulose의 중합도와 wax cuticle 층의 차이에 의해서도 달라진다(Van Soest, 1982). 보리의 전분 구조가 치밀하지 못하여 반추위 미생물의 공격이 용이하고(Aimone과 Wagner, 1977), amylose와 환원당의 함량이 옥수수보다 상대적으로 높으므로(Banks와 Greenwood, 1975) 반추위내 소실율이 높다(Thomas, 1988). 사료 입자의 반추

위 통과율을 시간당 6%(Vérité 등, 1987)~8%(Nocek, 1988)라고 한다면, 평균 반추위내 정체 시간은 16.7~12.5시간(Ganesh와 Grieve, 1990) 정도로서 전분의 화학적 구조와 함께 사료입자의 반추위내 통과속도를 결정짓는 물리적 구조가 소화율에 크게 영향을 끼친다고 볼 수 있다. 본 시험의 결과에서 옥수수의 소실율은 하 등(1994)의 결과보다 낮았으나, 보리의 소실율이 옥수수 보다 높다는 연구 보고(Thomas, 1988)와 일치하였다. 일반적으로 곡류를 분쇄하면 사료 입자의 표면적이 넓어져 소실율이 크게 증가(Galyean et al, 1979)되는데, 보리의 시간당 분해속도가 타 곡류보다 지나치게 빠른 것은 사료로서 다량으로 이용 시에 산 중독증 등의 질병을 초래할 수도 있으므로 보리를 사료로 이용할 경우는 적정량의 수준을 반드시 지키거나, 가공을 통한 분해속도를 지연시킬 필요가 있을 것으로 사료된다. 탈각을 하지 않은 겉보리는 반추동물의 이용성이 크게 제한을 받고, 알곡으로 이용할 경우에는 소화율이 너

무 높아서, 탈각을 하지 않은 보리 알곡에 스크래치를 하는 등의 방법을 이용하기도 한다. 한편, 쌀은 옥수수와 보리의 중간 수준으로서 반추가축 사료로 이용할 경우, 건물 및 유기물의 분해가 느리고 낮았던 옥수수와 잘 배합하면 반추위내 발효 상태를 적절하게 조절할 수 있을 것으로 기대된다.

2. *In vitro* 건물 및 유기물 분해율

In vitro 분해율은 Table 4와 5에서 보는 바와 같이 *in situ* 분해율 보다 같은 수준에서는 현저히 낮았으나 보리, 쌀, 옥수수 순으로 높아 처리 간 경향은 일치하였다. 보리의 건물 분해율은 발효 18시간 경과 시에 70% 이상 되었으나 옥수수는 24시간 발효 시에도 41% 수준에 머물러 있었으며, 쌀은 55%로 중간 정도의 분해율을 나타내었다. 유기물 분해율에 있어서도 건물과 비슷한 수준과 경향을 나타내었지만, 보리의 경우, 발효 12시간대에 분해율이 크게

Table 4. *In vitro* dry matter degradabilities of experimental feedstuffs (%)

Incubation time (h)	Feedstuffs		
	Rice	Barley	Corn
0	14.31 ± 0.01 ^c	20.03 ± 0.66 ^b	22.79 ± 0.27 ^a
3	20.92 ± 0.92 ^c	39.00 ± 3.65 ^a	25.86 ± 0.81 ^b
6	27.02 ± 0.49 ^c	51.36 ± 7.08 ^a	28.67 ± 0.46 ^b
9	32.66 ± 0.18 ^b	59.41 ± 1.28 ^a	31.25 ± 1.04 ^c
12	37.86 ± 0.37 ^b	64.65 ± 3.73 ^a	33.61 ± 1.46 ^c
18	47.10 ± 1.31 ^b	70.29 ± 0.93 ^a	37.75 ± 2.23 ^c
24	54.97 ± 1.04 ^b	72.68 ± 1.18 ^a	41.23 ± 0.98 ^c

Means with different superscripts in the same row differ (P<0.05).

Table 5. *In vitro* organic matter degradabilities of experimental feedstuffs (%)

Incubation time (h)	Feedstuffs		
	Rice	Barley	Corn
0	15.13 ± 0.01 ^c	31.22 ± 0.65 ^a	24.70 ± 0.26 ^b
3	20.73 ± 0.92 ^c	46.01 ± 3.62 ^a	27.14 ± 0.80 ^b
6	24.78 ± 0.49 ^c	54.27 ± 7.01 ^a	29.85 ± 0.45 ^b
9	36.30 ± 0.18 ^b	64.33 ± 1.27 ^a	31.40 ± 1.02 ^c
12	35.89 ± 0.37 ^b	50.11 ± 3.69 ^a	33.30 ± 1.43 ^c
18	48.37 ± 1.30 ^b	67.17 ± 0.93 ^a	42.85 ± 2.19 ^c
24	54.55 ± 1.04 ^b	81.64 ± 1.17 ^a	40.46 ± 0.96 ^c

Means with different superscripts in the same row differ (P<0.05).

떨어졌다가 다시 상승한 이유에 대해서는 본 시험의 결과만으로는 알 수가 없었다.

보리가 옥수수 보다 반추 미생물에 의한 발효가 빠르다는 연구결과(Nordin and Campling, 1976; Cone 등, 1989)와 일치하였다. 하지만, 반추가축에 높은 수준으로 보리를 이용할 때 보리 전분의 발효가 pH를 감소시켜 미생물 성장과 섬유질 소화를 제한함으로써 건물섭취량을 감소시킨다고 하였다(de Visser and de Goot, 1980). 옥수수는 발효 초기에는 보리나 쌀보다도 분해율이 높았으나 시간이 경과될수록 분해율의 증가속도가 느려지는 결과로 볼 때, 반추위에서 소화되지 않고 하부장기로 유입되는 전분의 양이 많아서 다른 사료에 비해 반추위 미생물이 아닌 동물이 직접 이용할 수 있는 영양소가 많을 것으로 사료된다. 따라서 많은 에너지가 요구되는 고 능력 유우에게 옥수수는 반드시 필요한 고 에너지 곡류 사료이며, 쌀은 발효시간의 경과와 함께 거의 일정한 증가를 보이고 있어 반추위내 발효의 안정에 기여할 수 있는 이상적인 에너지원으로서 작용할 수

있을 것으로 사료된다.

3. 미생물 성장

시험사료의 *in vitro* 발효시간에 따른 미생물 성장은 Table 6에서 보는 바와 같이 발효 후 시간의 경과에 따라 점차 증가하여 12시간 경과 시에 peak에 도달한 후 감소되고 24시간 경과 시에 가장 낮게 나타났는데, 발효 12시간 이후부터 낮아진 것은 pH의 감소와 미생물들 간의 경쟁적인 성장과 영양요인 등과 같은 여러 가지 복합적인 결과로 추정된다. 사료별 미생물 성장은 보리, 옥수수, 쌀 순으로 높았다.

4. pH 변화

시험사료의 *in vitro* 발효시간에 따른 배양액의 pH 변화는 Table 7에서 보는 바와 같이 발효초기(3시간)에는 높았다가 6시간 경과 후에 급격하게 떨어진 이후로 지속적으로 낮아졌으며, 보리는 발효초기부터 쌀과 옥수수에 비해

Table 6. Microbial growth rate *in vitro* fermentation of experimental feedstuffs (OD value)

Incubation time (h)	Feedstuffs		
	Rice	Barley	Corn
3	0.40 ± 0.01 ^b	0.47 ± 0.03 ^a	0.37 ± 0.01 ^c
6	0.66 ± 0.01 ^c	0.88 ± 0.02 ^a	0.74 ± 0.04 ^b
9	0.81 ± 0.04 ^c	0.99 ± 0.03 ^b	1.06 ± 0.02 ^a
12	0.94 ± 0.04 ^c	1.17 ± 0.05 ^b	1.30 ± 0.03 ^a
18	0.75 ± 0.02 ^b	0.96 ± 0.07 ^a	0.96 ± 0.03 ^a
24	0.21 ± 0.03 ^b	0.30 ± 0.01 ^a	0.15 ± 0.01 ^c

Means with different superscripts in the same row differ (P<0.05).

Table 7. Changes of pH *in vitro* fermentation of experimental feedstuffs

Incubation time (h)	Feedstuffs		
	Rice	Barley	Corn
3	6.42 ± 0.07 ^a	5.91 ± 0.14 ^b	6.32 ± 0.05 ^a
6	5.49 ± 0.05 ^a	4.95 ± 0.01 ^c	5.15 ± 0.01 ^b
9	5.17 ± 0.02 ^a	4.76 ± 0.01 ^c	4.88 ± 0.01 ^b
12	4.82 ± 0.05 ^a	4.58 ± 0.01 ^c	4.64 ± 0.02 ^b
18	4.71 ± 0.03 ^a	4.29 ± 0.01 ^c	4.46 ± 0.01 ^b
24	4.57 ± 0.02 ^a	4.22 ± 0.01 ^c	4.36 ± 0.04 ^b

Means with different superscripts in the same row differ (P<0.05).

Table 8. Gas production in *in vitro* fermentation of experimental feedstuffs (mL/0.1g feedstuffs)

Incubation time (h)	Feedstuffs		
	Rice	Barley	Corn
3	7.80 ± 0.64 ^b	10.80 ± 1.98 ^a	8.53 ± 0.25 ^b
6	19.00 ± 2.00 ^a	16.76 ± 0.43 ^a	19.10 ± 1.98 ^a
9	25.31 ± 0.35 ^a	20.97 ± 0.20 ^b	24.53 ± 0.47 ^a
12	28.85 ± 0.14 ^a	23.94 ± 0.66 ^c	27.30 ± 0.44 ^b
18	31.95 ± 0.58 ^a	27.52 ± 0.45 ^c	29.45 ± 0.51 ^b
24	32.93 ± 1.23 ^a	29.30 ± 0.49 ^b	30.01 ± 1.22 ^b

Means with different superscripts in the same row differ (P<0.05).

크게 낮았다(P<0.05). 그러나 발효 12시간 이후에는 발효사료 간의 pH 차이가 나타나지 않았다. 반추위내 적정 pH 수준은 약 6.7 정도로서 산성이나 염기성 어느 한 쪽으로 치우치게 되면 1위내 미생물의 활동에 영향을 미쳐 소화가 잘 되지 않게 되는데(Mould 등, 1984), 보리는 발효 6시간대에 pH가 5 이하로 떨어져 발효에 의한 산 생성이 급격하게 일어났음을 알 수 있고, 발효 초기 9시간까지의 pH 감소 폭은 쌀이 가장 적은 것으로 나타났다.

5. Gas 발생량

시험사료의 *in vitro* 발효시간에 따른 gas 발생량은 Table 8에서 보는 바와 같이 발효시간이 경과함에 따라 9시간까지는 빠르게 증가하였다가 그 이후부터는 증가폭이 둔화되었다. 전체적인 gas 발생량은 사료 간에 차이가 없어, 건물과 유기물 분해율에서 가장 높았던 보리의 경우(Table 5), gas 발생량에서는 타 사료구와 차이가 나타나지 않은 것은 분해율이 증가하면 methane 발생량이 30% 이상 감소한다는 Blaxter와 Clapperton(1965)의 결과와 관련이 있는 것으로 사료된다. Gas 발생량과 곡류의 젤라틴(gelatin) 함량 사이에는 높은 상관관계가 있어서 전분 입자의 젤라틴 정도가 높을수록 gas 발생량이 높다고 하였다 (Blaxter, 1989; Johnson 등, 1993; Moe와 Tyrrell, 1979; Shibata 등, 1992).

이상의 결과들을 쌀의 사료화 측면에서 볼 때, 반추위내 건물과 유기물의 분해에 있어서 옥수수과 보리의 중간 수준이며, 발효시간의 경과에 따른 pH의 저하속도가 낮아서 반추위

내 발효 안정을 위한 주 에너지원으로서 역할을 할 수 있을 것으로 사료된다.

IV. 요약

본 시험은 반추위 누관이 시술된 한우 수소 3두를 이용하여 쌀, 옥수수 및 보리의 *in situ* 분해율과 *in vitro* 시험으로서 영양소 분해율, 미생물 성장량, pH 변화 및 gas 발생량을 비교 분석함으로써 쌀의 사료적 이용성을 평가해 보고자 수행되었다.

In situ 건물 및 유기물 소실율은 반추위내 24시간 발효 시, 보리와 쌀은 거의 대부분이 소실된 반면, 옥수수는 약 67%만 소실되어 분해 속도가 매우 느린 것으로 나타났다. 수용성 물질인 'a' 부분은 옥수수, 쌀, 보리 순으로 많았으며, 천천히 분해되는 'b' 부분은 'a' 부분과 정 반대의 경향으로서 'b' 부분의 분해 상수('c' 부분)로부터 시간당 건물과 유기물의 분해속도는 보리의 경우 각각 38.3%, 37.2%로서 쌀(7.7%, 5.6%)이나 옥수수(4.1%, 1.3%)에 비해 매우 빠르게 일어났다.

In vitro 건물 및 유기물 분해율은 *in situ* 분해율에 비해 수준은 현저히 낮았으나, 보리, 쌀, 옥수수 순으로 높아 곡류 간 순서는 일치하였다. *In vitro* 미생물 성장은 쌀이 옥수수나 보리보다 상대적으로 낮았으나, 가스 발생량은 높게 나타났으며, pH는 발효시간에 따른 저하속도가 쌀에서 가장 느린 것으로 나타났다. 발효시간에 따른 미생물 성장량은 발효 12시간까지 높아졌다가 이후로 감소하였고, 배양액의 pH는 발효초기에는 높았다가 이후로 점차 감소하

였으며, gas 발생량은 발효 9시간까지는 빠르게 증가하였다가 이후로 증가폭이 둔화되었다.

이상의 결과에서 반추위내 건물과 유기물의 분해율과 발효시간의 경과에 따른 pH의 저하 속도 등을 고려하면, 쌀은 옥수수과 함께 반추위내 발효 안정을 위한 에너지원으로 사용 할 수 있을 것으로 사료된다.

V. 인 용 문 헌

1. Aimone, J. C. and Wagner, D. G. 1977. Micronized wheat II. Influences on *in vitro* digestibility, *in vitro* gas production and gelatinization. J. Anim. Sci. 44:1096.
2. AOAC. 1990. Official methods of analytical chemists., Washington, D.C., U.S.A
3. Banks, W. and Greenwood, C. T. 1975. The hydrodynamic behaviour of native amylose. In: Conformation of Biopolymers. Vol. 2. p. 739. Academic Press, London.
4. Blaxter, K. L. and Clapperton, J. L. 1965. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. Br. J. Nutr. 19:511.
5. Blaxter, K. L. 1989. Energy metabolism in animal and man. Cambridge University press, New York.
6. Cone, J. W., Cline-Theil, W., Malestein, A. and thvan't Klooster, A. 1989. Degradation of starch by incubation with rumen fluid. A comparison of different starch sources. J. Sci. Food. Agric. 49:173.
7. Dehority, B. A. and Scott, H. W. 1967. Extent of cellulose and hemicellulose digestion in various forage by pure cultures of rumen bacteria. J. Dairy Sci. 50:1136.
8. de Visser, H. and de Goot, A. M. 1980. The influence of the starch and sugar content of concentrations on feed intake, rumen fermentation, production and composition of milk. In: Giesecke, D., Dirksen, G., Stangassinger, M. Y. (Eds.), Proceedings of Disease farm animals, Munich, Germany. Fotodruck Frank OHG, p. 41.
9. Duncan, D. B. 1955. Multiple range and multiple F tests. Biometrics. 11:1.
10. Ferorak, P. M. and Hrwdey, S. E. 1983. A simple apparatus for measuring gas production by methanogenic cultures in serum bottles. Environ. Technol. Lett. 4:425.
11. Garesh, D. and Grieve, D. G. 1990. Effect of roasting row soybeans at three temperatures on *in situ* dry matter and nitrogen disaddearance in dairy cows. J. Dairy Sci 73:3222.
12. 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.
13. Mathison, G. W., Engstrom, D. F. and Macleod, D. D. 1991. Effect of feeding whole and rolled barley to steer in the morning or afternoon in diets containing different proportions of hay and grain. Anim. prod. 53:205.
14. Moe, P. W. and Tyrrell, H. F. 1979. Methane production in dairy cows. J. Dairy. Sci. 62:1583.
15. 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. Brit. Grassl. Sci. 18:119.
16. Mould, F. L., Ørskov, E. R. and Mann, S. O. 1984. Associative effects of mixed feeds. I. effects of type and level of supplementation and the influence of the rumen fluid pH on cellulolysis *in vivo* and dry matter digestion of various roughages. Anim. Feed Sci. Technol. 10:15.
17. National Research Council. 1984. Nutrient requirements of domestic animals : Nutient requirements of beef cattle. 6th ed. NAS-NRC, Washinton, D.C.
18. Nocek, J. E. 1988. *In situ* and other methods to estimate ruminal protin and energy digestibility, A review. J. Dairy Sci. 71:2051.
19. Nordin, M. and Campling, R. C. 1976. Digestibility studies with cows given whole and rolled cereal grains. Anim. prod. 23:305.
20. Owens, F. N. and Goetsch, A. L. 1986. Digesta passage and microbial protein synthesis. In:

- Control of digestion and metabolism in ruminants. pp. 196-223. eds. Milligan, L. P., W. L. Grovum, and A. Dobson. A Reston Book, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
21. Ørskov, E. R. and McDonald, I. 1979. The estimation of protein digestibility in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J. Agric. Sci.* 92:499.
 22. Robinson, P. H. and Kennelly, J. J. 1989. Influence of ammoniation of high moisture barley on digestibility, kinetics of rumen ingesta turnover, and milk production in dairy cows. *Can. J. Anim. Sci.* 69:195.
 23. Rooney, L. W. and Pflugfelder, R. L. 1986. Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. *J. Anim. Sci.* 63:1607.
 24. Rooney, L. W., Khan, M. N. and Earp, C. F. 1980. The technology of sorghum products. In : G. Inglett(Ed.). *Recent progress in cereal chemistry : Cereals for Food and Beverages.* pp. 515-554. Academic Press. NY. USA.
 25. SAS. 1997. *User's Guide: Statistics. Statistical Analysis System.* Inst. Inc., Carry, NC, USA.
 26. Shibata, M., Terada, F., Iwasaki, K., Kurihara, M. and Nishida, T. 1992. Methane production in heifers, sheep and goats consuming diets of various hay-concentrate ratios. *Anim. Sci. Technol. (Jpn).* 3:1221.
 27. 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.
 28. 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.
 29. Van Soest, P. V. 1982. Carbohydrate. In : *Nutritional Ecology of the Ruminants.* pp. 106-108. O&Books, INC., Corvallis. OR, USA.
 30. Vérité, R., Michalet-Doreau, B. Chapoutot, P. Peyraud, J. L. and Poncet, C. 1987. vision Du systmed des protines digesstible dans l'intestin (PDI). *Bull. Tech. CRZV. Theix, INRA,* 70:19.
 31. Wall, J. S. and Paulis, L. W. 1978. Corn and sorghum grain proteins. In : Y. Pomeranz(Ed.) *Advances in Cereal Science and Technology II.* pp. 135-219. Am. Assoc. Cereal Chem., St. Paul. MN, USA.
 32. Whister, R. L. and Daniel, J. R. 1984. Molecular structure of starch. In : *Chemistry and Technology (2nd Ed.).* pp. 153-182. Academic Press. NY, USA.
 33. 농림부. 2002. 농림업 주요 통계.
 34. 농림부. 2003. 곡류사료수출입통계 <http://www.maf.go.kr>
 35. 장선식, 홍성구, 이병석, 조영무, 조원모, 권응기, 백봉현, 송만강. 2006. 한우 육성 비육 시 보리 급여수준이 증체와 육질에 미치는 효과. *한국동물자원과학회지.* 48(2):247.
 36. 하종규, 이성실, 광병오, 문태현, 강수현. 1994. 옥수수의 가공처리가 영양소 이용성에 미치는 영향. I. 젖소 반추위내에서 건물 및 조단백질의 소실률과 분해도. *낙농학회지.* 16:1. (접수일자 : 2006. 7. 27. / 채택일자 : 2006. 9. 25.)