Korean J. Org. Agric.
Volume 26, Number 2: 281-296, May 2018
http://dx.doi.org/10.11625/KJOA.2018.26.2.281

ISSN 1229-3571 (Print)
ISSN 2287-819X (Online)

재고미의 가공처리에 따른 *in vitro*, *in situ* 소화율 및 발효성상 평가*

양성재** · 정은상*** · 김한빈**** · 신택순**** · 조병욱**** · 조성근**** · 김병우**** · 서자겸*****

Nutritional Evaluation of Rice with Different Processing Treatments on *in vitro* Rumen Fermentation Characteristics and *in situ* Degradation

Yang, Sung-Jae · Jung, Eun-Sang · Kim, Han-Been · Shin, Taek-Soon · Cho, Byung-Wook · Cho, Seong-Keun · Kim, Byeong-Woo · Seo, Ja-Kyeom

This study was conducted to evaluate the effect of different processing of rice on rumen fermentation in *in vitro* and *in situ* experiments. Different processing treatments (extruding, roasting, and steaming) were used in this study and all treatments were ground through a cyclone mill (Foss, Hillerød, Denmark) fitted with a 1 mm screen. Non-treated rice was considered to a control substrate. Then, all treatments were used in *in vitro* and *in situ* experiments. Total gas production and dry matter digestibility in control were lower than any other treatment at all incubation times (P<0.01). The lowest ammonia nitrogen (NH_3-N) concentration was observed in control among treatments at 6, 12, and 24 h incubation (P<0.01). Extruding had a highest total volatile fatty acids (VFA) concentration at 6, 12 h incubation (P<0.01) and Steaming exhibited a highest total VFA at 24 h (P<0.01). The lowest total VFA concentration was observed in control at 6, 12, and 24 h (P<0.01). In an *in situ*, The highest value of soluble fraction, degradation rates, effective degradability was observed in extruding (P<0.01). It was considered that feed processing increased dry matter digestibility, total VFA concentration, and

* 본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호 : PJ01285001)에서 지원 받았음.

** 공동주저자, 부산대학교 동물생명자원과학과
*** 공동주저자, 부산대학교 바이오환경에너지학과
**** 공동저자, 부산대학교 동물생명자원과학과
***** Corresponding author, 부산대학교 동물생명자원과학과(jseo81@pusan.ac.kr)

decreased pH as well as NH_3-N concentration indicating that processing may increase nutrient degradation of rice in the rumen.

Key words : *feed processing, in situ, in vitro, rice, rumen fermentation*

Ⅰ. 서 론

축산물 수요의 확대와 생산량 증가로 사료 생산량은 지속적으로 증가하여 배합사료 생산량은 2003년 1,500만 톤에서 2013년 기준 1,900만 톤으로 증가하였다(통계청, 2018). 가축 사양에 있어서 사료비는 여전히 많은 부분을 차지하고 있으며, 2015년 기준 한우 비육우, 육우, 젖소의 사양에서 사료비중은 각각 41.9%, 59.3%, 55.9%를 차지하는 것으로 조사되었다(통계청, 2016).

우리나라의 경우 사료 원료 수급은 대부분을 수입에 의존하고 있고, 수입 사료곡물에 대한 실질 의존도는 95% 이상을 차지하고 있다. 이에 대해 국내에서는 사료비 절감을 위해 대두박 대체 부산물이 첨가된 Total mixed ration (TMR) 급여 효과(Bae *et al*., 2014), 인진쑥 TMR 급여 효과(Moon *et al.*, 2011) 등 국내 자급가능 사료 원료를 선발하기 위한 연구를 지속해오고 있다. 건물 기준으로 쌀(현미)의 영양성분은 조단백질(crude protein, CP), 조지방(ether extract, EE), 가용무질소물(nitrogen free extract, NFE)이 각각 8.46%, 4.00%, 83.86%로 옥수수의 영양성분(CP 8.81%, EE 3.32%, NFE 84.95%, 조섬유(crude fiber, CF) 1.30%)과 유사하고(한국표준사료성분표, 2009), 단백질 사료가 아님에도 불구하고 옥수수, 보리 등 다른 곡물과 함께 급여시 미생물의 단백질 합성과 질소 균형을 크게 향상시킬 수 있다고 보고된 바 있었지만(Nikkhah, 2015), 사료자원으로 이용하고자 하는 시도가 적극적으로 진행되지 않았다. 이는 쌀을 가축용 원료로 사용하는 것에 대한 사회적 거부감이 컸고, 옥수수와 같은 대표적 사료원료에 비해 가격 경쟁력이 낮았기 때문이다. 그러나 1인당 쌀 소비량은 2007년 76.9 kg에서 2016년 61.9 kg으로 지속적으로 감소하고 있는 상황이며(통계청, 2017a) 생산량은 2007년 470만 톤, 2016년 450만 톤으로 소비량만큼의 감소추세를 보이지 않는 상황이다(통계청, 2017b). 쌀 생산량 감소폭이 쌀 소비량 감소폭에 비해 낮음에 따라 재고미의 양은 지속적으로 증가하고 있으며, 재고미의 보관비용, 처리비용 등의 추가비용 발생을 해소하기 위한 신규 소비경로의 탐색이 필요한 상황이다. 이에 따라 정부는 [중장기 쌀 수급안정대책](농림축산식품부, 2015)을 실시하여 축산분야에서 식용으로 사용할 수 없는 3년 이상의 재고미를 사료용 원료로 사용할 수 있도록 정책을 제안하였다. 정부의 시책에 따라 2015년부터 배합사료 및 TMR 공장을 중심으로 쌀을 사용하고 있으나 반추가축용 사료 원료로서 쌀의 영양적 가치를 평가한 연구는 부족한 실정이다. 예를 들어 Lee 등

(2006)은 쌀의 반추위 내 소화율 평가 연구를 수행하였으나 도정된 백미를 사용함으로서 현재 사료용 쌀로 사용되는 현미의 형태와는 차이가 있다. 또한 Oh 등(2006)은 *in vivo* 소화실험과 *in situ* 분해율 평가를 통해 쌀에 대한 사료 가치 평가 연구를 수행하였으나, 이미 10년 전에 수행된 연구이고 사용된 원료가 국내산이 아닌 중국산 현미를 이용하였다는 한계가 있다.

따라서 지금까지 선행되었던 연구들과 쌀을 사료원료로 사용할 수 있게 된 시장상황을 고려해보았을 때, 쌀의 사료가치를 평가해 볼 필요성이 있다고 판단하였고, 본 연구는 이를 위해 영양소성분분석과 *in vitro* 발효 실험, *in situ* 분해율 실험을 수행하였다. 또한 옥수수에서 증기 후레이크 처리가 무처리보다 전분 소화율이 높고, extrusion 처리가 효율적 반추위 분해율 증가와 관련이 있다는 점을 통해(Yu *et al*., 1998; Shabi *et al*., 1999) Extruding, Steaming 기법을, 열을 통해 가공했다는 공통점을 지닌 roasting 기법 적용하여 쌀의 가공처리에 따른 반추위 소화 특성의 차이를 분석하고자 하였다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 공시재료 및 공시동물

본 연구에서 사용된 재고미는 국내 배합사료회사 중 한 곳(AT Immune Inc., Ochang, Korea)으로부터 제공받았다. 재고미는 불균일하게 파쇄된 현미와 Extruding된 형태로 제공받았고, Roasting 처리와 Steaming 처리한 공시재료를 마련하기 위해 파쇄 현미 중 일부를 열처리하에서 30분간 볶거나, 전기밥솥으로 35분간 찐 후 55℃ 48시간 건조하여 총 네 가지 처리구로 준비하였다.

본 연구에서 사용된 처리구는 사료의 가공방법에 따라 다음과 같이 구분하였다: 무처리 재고미(Control), Extruding, Roasting, Steaming.

모든 처리구는 실험에 사용되기 전, 각각 1 mm체가 부착된 cyclone mill (Foss, HillerØd, Demark)로 분쇄되었고, 이후 0.3 mm의 체를 통해 입자크기가 0.3~1 mm 것만을 공시재료로 이용하였다. 실험에 사용된 공시동물은 반추위 케뉼라가 장착된 건유기 홀스타인 젖소로(450 ± 30 kg), 6:4의 조농비율로 사료를 급여 받았으며, 조사료원으로는 티모시를 농후사료원으로 상용 배합사료(Hafeed, Co. Ltd., Pusan, Korea; 12% CP, 3.5% EE, 26% 중성세제불용섬유소[neutral detergent fiber, NDF], 10% Ash)를 1일 2회 급여하였다.

2. 영양소 성분분석

공시 사료 4종의 건물(dry matter, DM, #934.01), CP (#976.05), EE (#920.39), 산성세제불용섬유소(acid detergent insoluble fiber, ADF, #973.18), 조회분(ash, #942.05), 칼슘(Ca, #927.02), 인(P, 3964.06)은 AOAC (2005)에 제시된 방법에 따라 분석되었다. CP는 총 질소 함량의 6.25배로 계산된 값을 측정하였고, 사료의 총 질소 함량은 Nitrogen Combustion Analyzer (Leco FP-528 Leco, MI, USA)를 이용하여 측정되었다. 섬유소 함량 평가를 위한 NDF와 리그닌(ADL)은 Van Soest 등(1991)에 의해 분석되었으며, NDF 분석을 위해 열에 안정한 열안정성 아밀라아제(α -amylase)를 사용하여 분석하고, 잔여 재를 포함하여 표현하였다. 탄수화물 분획 중 Starch는 Hall (2009)이 제시한 방법에 의해 분석되었다. 버퍼용해성단백질(soluble protein, SolP)을 분석하기 위해 Krishnamoorthy 등(1982)이 제시한 방법을 사용하였고, 중성세제 불용 단백질(netural detergent insoluble crude protein, NDICP)과 산성세제 불용 단백질(acid detergent insoluble crude protein, ADICP)의 분석은 Licitra 등(1996)이 제시한 방법을 사용하였다.

상기의 분석항목을 이용하여 사료의 에너지가를 가소화 영양소 총량(total digestible nutrients, TDN)으로 평가하기 위해 NRC 젖소사양표준(2001)을 사용하였고, 육성우와 비육우에서 적용되는 유지정미에너지(net energy for maintenance, NEm)와 성장정미에너지(net energy for growth, NEg)를 도출하였다(NRC, 2000). 또한 유우의 비유정미에너지(net energy for lactation, NEl)도 측정되었다(NRC, 2001). 비섬유소탄수화물(non-fiber carbohydrate, NFC)을 구하기 위해서는 아래의 수식을 이용하였다.

$$NFC = [100 - ash - EE - CP - (NDF - NDICP)]$$

3. *in vitro* 발효

배양액을 분주하기 전, 각각의 공시사료는 0.6 g씩 Filter bag (F57, Ankom Technology, NY, USA)에 담겨 125 mL serum bottle에 보관되었다. 반추위액은 당일 오전 사료급여 전 캐뉼라를 통해 채취되었으며, 2 L 보온병에 보관되어 즉시 연구실로 옮겨졌다. 이후 8겹의 cheese cloth에 걸러진 뒤 1:3의 비율로 *in vitro* buffer (Goering and Van Soest, 1970)에 희석되었고, O_2 free-CO_2에 bubbling시켜 완전 혐기 상태를 유지한 상태로 유지되었다. 이를 filter bag이 담긴 125 mL serum bottle에 60 mL씩 분주하고 butyl rubber stopper와 aluminum cap을 이용하여 완전 sealing 처리하였다. sealing된 serum bottle은 39℃ incubator에서 0, 3, 6, 12, 24 h 동안 배양 처리를 거친 다음 해당 시간에 개봉하여 DM 소화율, Gas (ml/g feed DM), pH, ammonia nitrogen (NH_3-N), 휘발성지방산(volatile fatty acid, VFA) 발생량을 각각 측정하였다.

Gas 발생량은 각 배양시간에 해당되는 serum bottle들이 개봉되기 전 Glass syringe (FOR-

TUNA® OPTIMA® Ganzglasspritze)를 통해 측정되었다. 이후 소화물이 포함된 반추위액은 3000 rpm × 15 min의 원심분리 과정을 거친 다음, 상등액을 각 1 mL씩을 NH_3-N와 VFA 측정을 위해 배양하였다. NH_3-N 측정용 배양액에는 0.2 M H_2SO_4 200 μL를, VFA 측정용 배양액에는 25% metaphosphoric acid 200 μL를 각각 첨가하여 voltexing 후 -80℃에 냉동 보관하였다. 사료가 담긴 filter bag은 증류수를 이용하여 6~7회 깨끗이 씻은 후 55℃ dry oven에서 48시간 건조, 방랭 후 무게를 측정하여 DM 소화율을 측정하였다(Goering and Van Soest, 1970).

pH는 3000 rpm × 15 min의 원심분리 과정을 거친 반추위액을 pH meter (FP20, Mettler toledo)를 이용하여 측정하였다. NH_3-N 측정은 Cheny and Malbach (1962)가 제시한 방법을 이용하여 측정하였다. 냉동 보관해둔 배양액 Sample을 4℃에서 녹이고, 20,000 rcf × 15 min의 원심분리과정을 후 상층액 200 μL를 1.5 mL tube에 분주하였다. NH_3-N standard와 각각의 시료 2 μL씩을, phenol color reagent (phenol 50 g, sodium nitroferricyanide 0.25 g, distilled water 1 L)와 alkali-hypochlorite (sodium hydroxide 25 g, sodium hypochlorite 16.8 mL, distilled water 1 L) 각 100 μL씩을 96 well cell plate에 분주하고, 항온 수조(37℃)에서 15분간 반응시켜 microplate reader (iMARK, Biorad)를 이용하여 630 nm의 파장에서 흡광도를 측정하였다.

VFA의 측정은 Erwin 등(1961)이 제시한 방법에 따라 측정하였다. 보관해둔 sample을 4℃에서 녹이고, 20,000 rcf × 15 min의 원심분리과정 후 상층액 200 μL를 D.W 800 μL로 희석하여 VFA 분석을 위한 flame ionization detector와 capillary column (NukolTM Fused silica capillary column 30 m × 250 μm × 0.25 μm, Supelco Inc., PA, USA)이 장착된 gas chromatograph (Agilent 7890A, Agilent Technology, CA, USA)를 이용하여 측정하였다. 측정을 위한 oven, injector, detector의 온도는 각각, 90, 90-200, 230℃로 유지되었고, 질소는 이동상 gas로 30 mL/min의 flow rate를 유지하며 사용되었다.

4. *In situ* 분해율

In situ 분해율 실험을 수행하기 위해 6:4의 조농비율로 사료를 급여받는, 반추위 Cannula가 장착된 건유기 홀스타인 젖소 2마리(450 ± 30 kg)를 이용하였다. 각각의 공시 사료들을 5 × 10 cm nylon bag (R510, Ankom Technology, NY)에 4 g씩 담아 *in situ* 분해율 실험에 사용하였다. Control, Extruding, Roasting, Steaming의 사료가 각각 담긴 nylon bag을 3, 6, 12, 24, 48 h의 배양 시간별로 분류하여 mesh sac 안에 담아 반추위 내 배양을 진행하였고, 이후 해당 배양시간에 mesh sac을 꺼내어 물이 맑아질 때까지 6~7회 세척하였다. 0 h의 경우 반추위 내 배양을 거치치 않고 바로 세척을 실시하였다. 이후 모든 처리구 및 배양시간별 bag들은 55℃ dry oven에서의 48시간 건조와 30분간 방냉과정을 거쳐 건물 소화율이 측정하였다.

In situ 분해율은 Ørskov & Mcdonald (1979)에 의해 제시된 simple exponential model을 이

용하여 나타내었으며 식은 아래와 같다. y는 건물 소화율, a는 soluble fraction (%), b는 slowly degradable fraction (%), k_d는 b fraction의 소화 상수(/h), 그리고 x는 배양 시간 (h)을 의미한다. 또한, 통과속도를 고려한 반추위 유효 분해도(ruminal effective degradation, ED)에서 k_p는 b fraction의 반추위 통과 상수(/h)를 의미하며, 이를 시간당 5%로 가정하였다(NRC, 2016).

$$y = a + b\ (1 - e^{-Kd*x})$$

$$ED = a\ [b \times k_d \div (k_d + k_p)]$$

5. 통계 분석

In vitro, *in situ* 실험에서 측정된 모든 data는 SAS package 9.3 (SAS Institute Inc., Carey, NC, USA)의 GLM procedure에 의해 분석되었다. 사료의 가공 처리에 따른 처리구 간 유의적 차이는 Tukey 검정에 의해 95% 유의수준으로 분석되었다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 영양소 성분 분석

CP의 함량은 Control (9.00%DM), Roasting (8.60%DM) 및 Steam (8.70%DM) 처리구에서 유사한 반면, Extruding에서는 상대적으로 높았다(10.4%DM) (Table 1). SolP의 함량은 Extruding (4.10%DM)과 Steaming (4.00%DM)이 Control (2.50%DM)과 Roasting (2.30%DM)보다 상대적으로 높았다(10.4%DM) (Table 1). NDF와 Lignin에서는 Control이 각각 2.70%DM, 0.97%DM으로 나머지 처리구들보다 상대적으로 낮은 수치를 보였다. NFC 함량의 경우 Control (84.60%DM)이 가장 높았고, Starch는 Steaming (75.90%DM)이 가장 낮았다.

Table 1. Chemical composition of rice with different processing treatments

Item*		Control	Extruding	Roasting	Steaming
DM,	%	88.50	92.80	95.60	88.40
CP,	%DM	9.00	10.40	8.60	8.70
SolP,	%DM	2.50	4.10	2.30	4.00
NDICP,	%DM	0.27	1.51	2.84	0.90

Item*		Control	Extruding	Roasting	Steaming
ADICP,	%DM	0.20	1.04	1.18	0.48
NDF,	%DM	2.70	6.90	9.10	8.60
ADF,	%DM	1.70	3.10	2.20	1.90
Lignin,	%DM	0.97	2.33	1.69	1.70
Sugar,	%DM	1.80	0.80	0.70	1.30
Starch,	%DM	80.60	79.10	81.40	75.90
EE,	%DM	2.13	1.28	1.73	2.51
Ash,	%DM	1.85	1.86	1.33	2.28
Ca,	%DM	0.02	0.10	0.02	0.02
P,	%DM	0.27	0.40	0.22	0.32
NFC,	%DM	84.60	81.10	82.08	78.70
TDN,	%DM	88.00	84.50	85.80	85.20
NEl,	mcal/kgDM	2.01	2.01	1.94	1.94
NEm,	mcal/kgDM	2.14	2.14	2.08	2.05
NEg,	mcal/kgDM	1.46	1.46	1.41	1.39

* DM, dry matter; CP, crude protein; SolP, Soluble protein; NDICP, neutral detergent fiber insoluble protein; ADICP, acid detergent fiber insoluble protein; NDF, neutral detergent fiber; ADF, acid detergent fiber; EE, ether extract; NFC, non-fiber carbohydrates; TDN, total digestible nutrients; NEm, net energy for maintenance; NEg, net energy for growth

Control, Extruding, Roasting, Steaming 처리구에 대한 영양소 성분분석 결과, Control에서 에너지(TDN, NE) 함량이 Extruding, Roasting, Steaming 보다 높게 측정되었는데, 이는 NDF와 Lignin 함량이 각각 Control에서 낮음에 의한 것으로 추정된다.

2. *In vitro* 발효성상

건물 소화율은 배양시간이 지속됨에 따라 계속 증가하였고, 3 h 이후 모든 배양 시간에서 건물 소화율은 Extruding > Steaming > Roasting > Control 순으로 높았다(Table 2, $P<0.01$). Extruding, Steaming, Roasting이 Control보다 높은 소화율을 나타낸 것은 열처리를 통한 가공처리가 전분의 호화를 통해 전분의 가용성을 증가시켰기 때문이다(Svihus *et al*., 2005). 특히 Extruding의 경우 배양 3 h에서 78% 이상의 소화율을 나타내었는데, 이는 Extruding 처리가 재고미의 초기 소화율을 유의적으로 증가시켰음을 의미한다. 반추위 내 속효성 탄수화물의 과량 공급은 초기 발효산물의 급격한 증가에 의한 과산증 발생의 가능성이 있으므로

(Owens *et al*., 1998), 재고미를 반추동물용 사료로 활용할 경우 가공처리 방법과 사용량에 대한 충분한 고려가 필요할 것으로 보인다.

한편 열처리의 경우 단백질 소화율을 저하시킬 수 있어 낮아진 단백질 소화율이 전체 건물 소화율에도 영향을 미칠 것으로 예상되었으나, 실제 결과는 그렇지 않았다. 이는 곡물사료가 일반적으로 단백질 함량이 낮고, 현미의 경우 옥수수, 밀, 보리. 호밀 등에 비해 단백질 함량이 더 낮기 때문에(Zhou *et al*., 2002), 열처리에 의한 단백질 소화율의 감소를 가정하더라도 쌀의 소화에 있어 전체 소화율에는 큰 영향을 미치지 못한 것으로 사료된다.

Gas 발생량은 모든 배양시간에서 Extruding이 Control, Roasting, Steaming에 비해 유의적으로 높았다(P<0.01). Extruding의 경우 건물 소화율에서도 가장 높은 측정치를 나타내었다(P<0.01). 쌀에 있어서 입자구조, 구성성분, 열처리 시 침출되는 amylose의 양은 전분의 유변학적 특성에 주요한 영향을 미치고(Lii *et al*., 1996), 사료의 가공처리는 소화율 증가를 위한 방법으로 사용된다(Ørskov, 1976). 본 연구에서 Extruding, Roasting, Steam에서 Control보다 높은 Gas 발생량을 보인 것은 앞서 언급한 바와 같이 가열처리가 전분을 호화시켜 가용성을 증가시켰기 때문인 것으로 사료된다.

모든 처리구에서 pH는 배양시간이 지남에 따라 감소하는 경향을 보였다. Control은 6, 12, 24 h에서 다른 처리구들에 비해 유의적으로 높았고(P<0.01), Extruding이 가장 낮은 값을 보였다(P<0.01). pH는 반추위에서 내용물의 소화가 계속됨에 따라 발생하는 유기산의 증가로 인해 낮아지게 되는데, 특히 전분과 같은 속효성 탄수화물은 *Streptococcus bovis*의 전분 발효에 의한 젖산 축적을 야기하여 더 현저한 pH 감소를 유발한다(Russell, 2002). 본 연구에서 가공 처리된 재고미의 total VFA 생성량은 Control에 비해 배양 3 h를 제외한 모든 배양시간에서 유의적으로 높았고(Table 3, P<0.05) Control의 pH가 다른 처리구에 비해 높은 이유도 유기산 생성량의 차이에 의한 것으로 사료된다.

NH_3-N함량은 배양시간이 경과함에 따라 모든 처리구에서 증가하였고, 배양 6, 12, 24 h에서 Control이 Extruding, Roasting, Steam에 비해 유의적으로 높았다(P<0.01). 일반적으로 질소는 반추위 내 단백질의 분해율 정도에 따라 이용성이 다르며(Russell *et al*., 1992), 선행연구에서는 soybean meal, rapeseed meal, lupin 등의 열처리 시 반추위 내 단백질 소화율은 감소하였다고 보고한 바 있다(Konishi *et al*., 1999, Aguilera *et al*., 1992). 또한 Tagari 등(1986)은 열처리 면실박이 단백질원으로 사용되었을 때 반추위 내 NH_3-N 농도가 무처리 면실박에 비해 감소한 것을 보고하였고, 이러한 결과가 열처리에 의한 단백질 분해율 저하에 의한 것이라 언급하였다. 따라서 본 실험에서 열처리된 처리구인 Extruding, Roasting, Steaming의 NH_3-N 함량이 Control보다 낮은 것은 열처리에 의한 효과로 볼 수 있다. 한편, NH_3-N 농도가 낮은 것은 반추 미생물의 NH_3-N 이용성이 높아짐에 기인하는데, 반추위 미생물이 NH_3-N을 세포 성장의 질소원으로 이용하기 때문이다(Bryant and Robinson, 1963).

Table 2. *In vitro* fermentation of rice with different processing treatments

Item*	Control	Extruding	Roasting	Steam	SEM	*P*-value
Gas, mL/g DM						
3 h	11.5^{b}	32.8^{a}	14.2^{b}	17.7^{b}	3.036	<0.01
6 h	24.8^{c}	117.6^{a}	49.0^{bc}	58.2^{b}	8.243	<0.01
12 h	65.7^{c}	196.7^{a}	101.4^{b}	97.3^{b}	9.668	<0.01
24 h	161.7^{c}	254.6^{a}	211.7^{b}	238.0^{a}	7.233	<0.01
pH						
3 h	6.86^{a}	6.80^{c}	6.84^{ab}	6.81^{bc}	0.012	<0.01
6 h	6.80^{a}	6.51^{c}	6.71^{b}	6.71^{b}	0.021	<0.01
12 h	6.70^{a}	6.37^{c}	6.58^{b}	6.59^{b}	0.022	<0.01
24 h	6.54^{a}	6.24^{c}	6.36^{b}	6.41^{b}	0.033	<0.01
NH_3-N, mg/dL						
3 h	15.0	14.3	15.5	15.1	0.376	0.08
6 h	18.3^{a}	10.8^{c}	16.8^{b}	16.8^{b}	0.419	<0.01
12 h	23.2^{a}	10.1^{c}	17.9^{b}	17.9^{b}	0.663	<0.01
24 h	27.7^{a}	15.9^{c}	21.2^{b}	21.8^{b}	0.892	<0.01
DM digestibility, %DM						
0 h	2.4^{c}	33.5^{a}	2.0^{c}	8.5^{b}	1.625	<0.01
3 h	11.7^{c}	78.5^{a}	25.5^{bc}	30.4^{b}	4.320	<0.01
6 h	14.5^{d}	86.2^{a}	34.9^{c}	43.9^{b}	1.647	<0.01
12 h	24.3^{d}	87.3^{a}	46.8^{c}	57.2^{b}	2.096	<0.01
24 h	49.1^{c}	89.2^{a}	67.2^{b}	73.8^{b}	2.497	<0.01

* DM, dry matter; SEM, standard error of the mean.

a, b means within a row with different superscript letters indicate significant differences between treatments (P<0.05).

Table 3에서는 Control, Extruding, Roasting, Steam의 배양 시간별 VFA 생성을 나타내었다. 배양 6 h에서는 Extruding이 다른 처리들에 비해 높은 VFA 발생량을 보였으나(*P*=0.05), 최종 배양시간의 VFA 발생량에서는 Steaming이 가장 높은 측정치를 나타내었다(*P*<0.05). VFA는 일반적으로 반추위 내 발효의 최종산물로서 발생되므로(Russell, 2002) 반추위 내 영양소 분해와 total VFA 발생량은 양의 상관관계를 가진다고 볼 수 있다. 앞선 소화율의 결과에서 Extruding 처리구의 초기 Gas 발생량과 건물 소화율은 초기 시간에 다른 처리구들에 비해 유의적으로 높았고 이는 결국 초기에 total VFA 발생량의 증가와도 연관이 있는 것으로 추정된다. Acetate 생성량은 배양시간의 경과에 따라 모든 처리구에서 감소하였고, 처리구 별 유의적인 차이는 배양 24 h에서 관측되었는데 Extruding이 가장 높은 Acetate 생성량

을 나타내었다(P<0.01). Propionate 비율은 모든 배양시간에서 처리구에 따른 유의적인 차이를 나타내었다. Extruding 처리구는 배양 3, 6, 12 h에서 유의적으로 가장 높은 propionate 생성량을 나타내었고(P<0.01), 배양 24 h에서는 Roasting 처리구의 propionate 생성량이 가장 높은 것으로 관측되었다(P<0.01).

Table 3. Volatile fatty acids production of rice with different processing treatments

Item*	Control	Extruding	Roasting	Steam	SEM	*P*-value
TVFA, mM						
3 h	16.0	19.3	14.3	21.2	4.066	0.38
6 h	17.2^{b}	36.0^{a}	23.5^{ab}	27.8^{ab}	5.619	0.05
12 h	26.9^{b}	45.8^{a}	32.9^{ab}	33.9^{ab}	4.237	<0.05
24 h	39.5^{b}	50.7^{ab}	44.3^{ab}	55.6^{a}	3.760	<0.05
Acetate, mmol/mol						
3 h	641.7	644.3	637.7	646.0	8.165	0.76
6 h	669.3	659.0	659.0	653.7	5.028	0.07
12 h	608.3	608.7	599.7	588.7	6.980	0.06
24 h	526.7^{b}	556.3^{a}	523.0^{b}	522.3^{b}	4.743	<0.01
Propionate, mmol/mol						
3 h	164.7^{b}	182.0^{a}	167.3^{b}	170.0^{b}	3.644	<0.01
6 h	165.0^{c}	228.0^{a}	200.7^{b}	206.0^{b}	3.543	<0.01
12 h	220.0^{b}	270.3^{a}	262.0^{a}	268.3^{a}	7.892	<0.01
24 h	291.7^{c}	296.7^{bc}	321.0^{a}	315.7^{ab}	7.200	<0.01
Butyrate, mmol/mol						
3 h	128.7	119.0	129.7	129.0	3.432	0.04
6 h	121.3^{a}	90.7^{c}	109.0^{b}	110.7^{b}	3.000	<0.01
12 h	122.0^{a}	94.7^{c}	100.7^{b}	105.0^{b}	1.856	<0.01
24 h	115.7	102.7	103.7	111.7	4.327	0.05
A:P ratio						
3 h	3.9^{a}	3.5^{b}	3.8^{a}	3.8^{a}	0.069	<0.01
6 h	4.1^{a}	2.9^{c}	3.3^{b}	3.2^{b}	0.071	<0.01
12 h	2.8^{a}	2.3^{b}	2.3^{b}	2.2^{b}	0.095	<0.01
24 h	1.8^{ab}	1.9^{a}	1.6^{c}	1.7^{bc}	0.053	<0.01

* TVFA, total volatile fatty acid; A:P ratio, acetate : propionate ratio; SEM, standard error of the mean.

a, b means within a row with different superscript letters indicate significant differences between treatments (P<0.05).

한편 Extruding에서의 12, 24 h의 propionate, acetate의 증감 폭은 다른 처리구들보다 낮았는데, 이러한 결과는 propionate의 생성량의 증가가 전분을 발효시키는 박테리아의 활력 증가시키는 것으로 설명이 가능할 것으로 사료된다(Øskorv, 1986). 또한 이는 12, 24 h에서의 건물소화율의 증감 폭이 다른 처리구들에 비해 낮았던 것과 경향성이 동일하였다.

3. *in situ* 소화율 평가

Fig. 1에서는 Control, Extruding, Roasting, Steam의 배양 시간별 *in situ* 건물 소화율을 나타내었고, 상기 측정 데이터를 Ørskov & Mcdonald 곡선(1979)을 이용하여 a fraction (soluble fraction, %), b fraction(slowly degradable fraction, %), a+b, c (kd, degradation rate of slowly degradable fraction, /h), ED (effective degradability, %)로 표현한 수치를 Table 4에 나타내었다. a fraction에서는 Extruding > Steaming > Roasting > Control 순으로 높았다(P<0.01). 이는 쌀의 주요 영양소인 가용성 탄수화물이 가공처리에 의해 더욱 빨리 분해될 수 있는 형태로 전환되었기 때문인 것으로 사료된다. Roasting 처리구의 경우 a fraction의 값은 증가하지 않았는데 수분과 압력처리가 함께 가해지는 Extruding, Steaming 처리 방법과의 차이점이 재고미의 즉시 발효되는 영양소량(a fraction, %)에 차이를 두었을 것으로 보이며, 이에 따른 초기 분해율의 차이점은 0 h에서 *in vitro* 소화율과 3 h에서 Gas 발생량이 Roasting에서 유의적으로 낮은 값을 나타낸 것에서 확인할 수 있다(Table 2, P<0.01). b fraction에서는 Control이 나머지 처리구들에 비해 유의적으로 가장 높은 값을 나타내었다(P<0.05).

ED는 유효 분해율을 의미하는 값으로, 처리구 간 유의적인 차이를 나타내었으며, Control이 가장 낮은 반면, Extruding이 가장 높은 ED 값을 나타내었다(P<0.01). 선행 연구에서 roasting, steam, extrusion 처리된 곡물들에 대한 *in situ* 분해율 실험 결과, 열처리가 전분의 ED를 크게 증가시킬 수 있다고 보고한 바와 같이(Offner *et al*., 2003), 본 실험에서 Extruding, Roasting, Steaming의 ED값이 Control보다 높은 이유 역시 열처리에 의한 전분의 ED가 향상되었기 때문으로 보인다. 또한 Roasting 처리구의 a fraction은 Control의 측정치와 유의적인 차이를 나타내지 않음에도 불구하고 ED 값에 있어서 유의적으로 높은 값을 나타내었는데, 이는 Roasting 처리에 의한 분해속도 상수(c)가 무처리에 비해 증가하여 나타난 결과로 추정된다.

한편, 재고미에 대한 가공처리는 분해속도에도 유의적인 영향을 준 것으로 관측되었는데, c 값에서 Control이 가장 낮은 값을, Extruding이 가장 높은 값을 나타내었다(P<0.01). Roasting과 Steaming은 Extruding보다는 낮으나 Control에 비해서는 유의적으로 높은 c 측정치를 보였고(P<0.01), 이는 본 연구에서 시도된 3가지의 가공처리 방법은 모두 b fraction의 분해속도를 증가시킬 수 있는 것을 의미한다. 앞서 열처리에 의해 전분의 ED가 향상되었다고 언급하였고, 또한 선행연구인 동진벼와 신선찰벼의 전분에 대한 연구에서도 전분의 팽

윤력과 용해도는 온도가 증가함에 따라 상승하였다고 하였으므로(Kim and Shin, 1992), Control의 분해율이 가장 낮은 것은 전분의 호화가 없었음에 기인하고, Extruding이 Roasing, Steaming에 비해 유의적으로 높은 c 상수 값을 보인 것은 가공처리방법 차이에 따른 전분의 호화 정도에 기인한다고 할 수 있다(P<0.01).

Table 4. *In situ* degradability characteristics of rice with different processing treatments

Item*	Control	Extruding	Roasting	Steam	SEM	*P*-value
a, %	6.13^{b}	11.87^{a}	5.96^{b}	8.15^{ab}	1.787	<0.05
b, %	93.87^{a}	83.02^{b}	82.28^{b}	89.02^{ab}	2.818	<0.05
c, /h	0.04^{c}	0.30^{a}	0.09^{b}	0.09^{b}	0.008	<0.01
a+b, %	100.00^{a}	94.89^{b}	88.24^{c}	97.18^{ab}	1.492	<0.01
ED, %	50.36^{d}	83.14^{a}	59.54^{c}	64.01^{b}	1.208	<0.01

$^{a, b}$ means within a row with different superscript letters indicate significant differences between treatments (P<0.05).
* a, soluble fraction (%); b, slowly degradable fraction (%); c, degradation rates of the slowly degradable fraction (%/h); ED, effective degradation at ruminal passage rate of 5%/h.

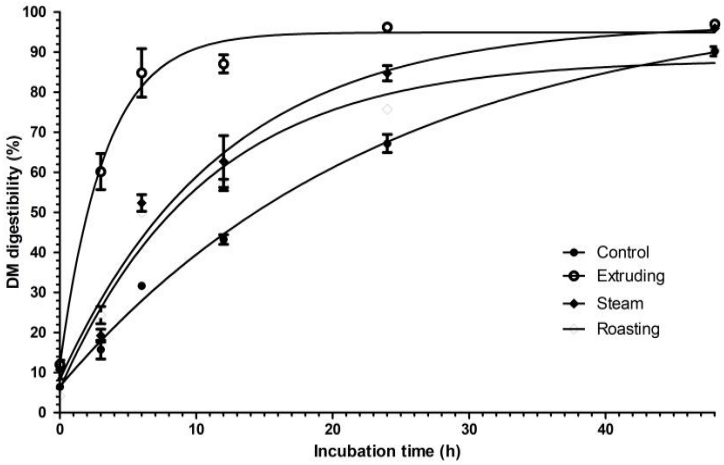

Fig. 1. disappearance of Control, Extruding, Roasting and Steam in the rumen of Holstein (n=3) over 48 h.

Ⅳ. 적 요

본 연구에서는 재고미의 사료가치 평가를 위해 무처리(Control)를 비롯한 Extruding, Roasting,

Steam 처리구들의 영양소 성분분석, *in vitro* 소화율, *in situ* 소화율을 분석하였다.

In vitro 실험에서 Extruding은 건물 소화율과 gas 발생량이 타 처리구에 비해 상대적으로 높았고, 가장 낮은 pH를 보였으며, 특히 배양 시간 초기에 소화가 신속히 발생하였다. NH_3-N 함량은 배양 6 h 이후에서 Control이 Extruding, Roasting, Steam에 비해 유의적으로 높은 값을 보였고, 이는 가열처리된 단백질의 반추위 미생물의 이용성 저하에 따른 결과로 보이나, 더 정확한 결과를 위해 건물 소화율 분석뿐 아니라 CP 소화율 분석이 필요할 것으로 사료된다. VFA 발생량에서는 Extruding이 다른 처리구들에 비해 배양 6, 12 h에서 유의적으로 높았는데 이는 Extruding 처리구의 분해가 배양 초기에 주로 이어져 발생한 결과로 추정된다. 전분을 발효시키는 박테리아에 의해 높은 비율로 생산되는 propionate 증가 폭에서도 같은 경향을 보였다.

In situ 소화율은 *in vitro*의 소화율과는 다소 차이가 있는 것으로 여겨지나, 이는 실험 방법에 대한 오차로 여겨질 수 있으며, ED(유효분해율)를 통해 *in vitro* 시험과 소화율의 경향성이 유사한 것을 알 수 있었다.

따라서 본 연구결과를 근거로 상대적으로 적합한 사료가공 처리방법은 무처리, Roasting 및 Steaming인 것으로 보여진다. 또한 무처리(control)의 경우 가공처리에 따른 추가비용 발생이 없으므로 경제적으로 유리할 것으로 판단된다. 재고미가 TMR의 원료로 이용될 수 있다면 국내에서 자급 가능한 사료원료로써 우수한 경제성을 지닐 수 있을 것이다.

[Submitted, February. 14, 2018 ; Revised, April. 18, 2018 ; Accepted, April. 23, 2018]

References

1. Aguilera, J. F., M. Bustos, and E. Molina. 1992. The Degradability of Legume Seed Meals in the Rumen: Effect of Heat Treatment. J. Anim. Feed Sci. Technol. 36: 101-112.
2. Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis. 2005. 18 th ed. Gaithersburg (MD): AOAC Inc.
3. Bae, G. S., E. J. Kim, T. H. Song, T. H. Song, T. I. Park, N. J. Kwon, H. Chan, and M. B. Chang. 2014. Effect of Byproducts Supplementation by Partially Replacing Soybean Meal to a Total Mixed Ration on Rumen Fermentation Characteristics *In Vitro*. J. Korean Soc. Grassl. Forage Sci. 34: 129-140.
4. Bryant, M. P. and I. M. Robinson. 1963. Apparent Incorporation of Ammonia and Amino Acid Carbon During Growth of Selected Species of Ruminal Bacteria. J. Dairy Sci. 46:

150-154.

5. Erwin, E. S., G. J. Marco, and E. M. Emer. 1961. Volatile Fatty Acid Analyses of Blood and Rumen Fluid by Gas Chromatography. J. Dairy Sci. 44: 1768−1771.
6. Goering, H. K. and P. J. Van Soest. 1970. Forage Fiber Analyses: Apparatus, Reagents, Procedures, and Some Applications. US Agricultural Research Service.
7. Hall, M. B. 2009. Determination of Starch, Including Maltooligosaccharides, in Animal Feeds: Comparison of Methods and A Method Recommended for AOAC Collaborative Study. J. AOAC Int. 92: 42-49.
8. Kim, S. K. and M. S. Shin. Physicochemical Properties of Defatted Nonwaxy and Waxy Rice Starches. 1992. Korean J. Food Sci. Technol. 24: 347-352.
9. Konishi, C., T. Matsui, W. Park, H. Yano, and F. Yano. 1999. Heat Treatment of Soybean Meal and Rapeseed Meal Suppresses Rumen Degradation of Phytate Phosphorous in Sheep. J. Anim. Feed Sci. Technol. 80: 115-122.
10. Krishnamoorthy, U., T. V. Muscato, C. J. Sniffen, and P. J. Van Soest. 1982. Borate-Phosphate Procedure as Detailed in Nitrogen Fractions in Selected Feedstuffs. J. Dairy Sci. 65: 217-225.
11. Lee, S. M., T. W. Kang, S. J. Lee, J. U. Ok, Y. H. Moon, and S. S. Lee. 2006. Studies on *In Situ* and *In Vitro* Degadabilities**,** Microbial Growth and Gas Production of Rice, Barley and Corn. J. Anim. Sci. Technol. 48: 699-708.
12. Licitra, G., T. M. Hernandez, and P. J. Van Soest. 1996. Standardization of Procedures For Nitrogen Fractionation of Ruminant Feeds. J. Anim. Feed Sci. Technol. 57: 347-358.
13. Lii, C. Y., M. L. Tsai, and K. H. Tseng. 1996. Effect of Amylose Content on The Rheological Property of Rice Starch. Cereal Chem. 73: 415-420.
14. Ministry of agriculture, food and rural affairs. 2015. Mid to Long Term Supply-Demand Stability Measures of Rice.
15. Moon, Y. H., J. B. Yang, and I. C. Jung. 2011. Effect of Feeding Mugwort (Artemisia Capillaris) TMR Fodder on Physicochemical and Sensory Characteristics of Hanwoo Rump Meat. J. East Asian. Soc. Diet. Life. 21: 345-352.
16. National Research Council. 2000. Nutrient Requirements of Beef Cattle. 7 th ed. National Academies Press. Washington, D.C. USA.
17. National Research Council. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7 th ed. National Academic Press. Washington, D.C. USA.
18. National Research Council. 2016. Nutrient Requirements of Beef Cattle. 8 th ed. National Academic Press. Washington, D.C. USA.

19. Nikkhah, A. 2015. Rice for Ruminants: Race for a Science Under Shadow. J. Rice Res. 3: 134.
20. Offner, A., B. Alex, and S. Daniel. 2003. Quantitative Review of *In situ* Starch Degradation in the Rumen. J. Anim. Feed Sci. Technol. 106: 81-93.
21. Oh, Y. K., K. H. Kim, C. W. Choi, S. W. Kang, I. B. Chung, and W. G. Nho. 2006. E valuation of Feeding Value of Brown Rice in Korean Native Beef Steers (Hanwoo). J. Anim. Sci. Technol. 48: 393-400.
22. Ørskov, E. R. 1976. The Effect of Processing on Digestion and Utilization of Cereals by Ruminants. Proc. Nutr. Soc. 35: 245-252.
23. Ørskov, E. R. 1986. Starch Digestion and Utilization in Ruminants. J. Anim. Sci. 63: 1624-1633.
24. Ørskov, E. R and I. McDonald. 1979. The Estimation of Protein Degradability in the Rumen from Incubation Measurements Weighted According to Rate of Passage. J. Agr. Sci. 92: 499-503.
25. Owens, F. N., D. S. Secrist, W. J. Hill, and D. R. Gill. Acidosis in Cattle: A Review. 1998. J. Anim. Sci. 76: 275-286.
26. Russell. J. B. 2002. Rumen Microbiology and Its Role in Ruminant Nutrition. Cornell University, Ithaca, NY, USA.
27. Russell, J. B., J. D. O'connor, D. G. Fox, P. J. Van Soest, and C. J. Sniffen. 1992. A Net Carbohydrate and Protein System for Evaluating Cattle Diets: I. Ruminal Fermentation. J. Anim. Sci. 70: 3551-3561.
28. Shabi, Z., I. Bruckental, S. Zamwell, H. Tagari, and A. Arieli. 1999. Effects of Extrusion of Grain and Feeding Frequency on Rumen Fermentation, Nutrient Digestibility, and Milk Yield and Composition in Dairy Cows. J. Dairy Sci. 82: 1252-1260.
29. Shih, C. H., T. T. Lee, W. H. J. Kuo, and B. Yu. 2014. Growth Performance and Intestinal Microflora Population of Broilers Fed Aged Brown Rice. J. Ann. Anim. Sci. 14: 897-909.
30. Statistics korea. 2016. Livestock Production Cost Survey Report in 2015.
31. Statistics korea. 2017a. Food Grain Consumption Survey Report in 2016.
32. Statistics korea. 2017b. Rice Production(Brown rice).
33. Statistics korea. 2018. Mixed Feed Production and Raw Material Use Performance.
34. Svihus, B., A. K. Uhlen, and O. M. Harstad. 2005. Effect of Starch Granule Structure, Associated Components and Processing on Nutritive Value of Cereal Starch: A Review. J. Anim. Feed Sci. Technol. 122: 303-320.
35. Tagari, H., F. Pena, and L. D. Satter. 1986. Protein Degradation by Rumen Microbes of

Heat-treated Whole Cottonseed. J. Anim. Sci. 62: 1732-1736.

36. Van Soest, P. J., J. B. Robertson, and B. A. Lewis. 1991. Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. J. Dairy Sci. 74: 3583-3597.
37. Yu, P., J. T. Hubber, F. A. P. Santons, J. M. Simas, and C. B. Theurer. 1998. Effects of Ground, Steam-flaked, and Steam-rolled Corn Grains on Performance of Lactating Cows. J. Dairy Sci. 81: 777-783.
38. Zhou, Z., K. Robards, S. Helliwell, and C. Blanchard. 2002. Composition and Functional Properties of Rice. Int. J. Food Sci. Technol. 37: 849-868.