

Research Article

신규 조사료원 사료용 벼 사일리지의 사료가치 평가 및 급여 비율에 따른 반추위 발효성상 비교

박설화, 백열창, 이슬, 김병현, 류채화*
농촌진흥청 국립축산과학원 영양생리팀

Evaluation the Feed Value of Whole Crop Rice Silage and Comparison of Rumen Fermentation according to Its Ratio

Seol Hwa Park, Youl Chang Baek, Seul Lee, Byeong Hyeon Kim and Chae Hwa Ryu*

Animal Nutrition & Physiology Team, National Institute of Animal Science, Rural Development Administration,
Wanju county 55365, Republic of Korea

ABSTRACT

This study was to evaluate the feed value of whole crop rice silage (WCRS) and to investigate a suitable ratio of the WCRS and concentrate by an analysis of rumen fermentation. A total of 6 treatments were used according to WCRS: concentrate ratio on in vitro rumen fermentation: T1 (100:0), T2 (60:40), T3 (40:60), T4 (20:80), T5 (10:90), and T6 (0:100). The ruminal pH, total gas emission, ammonia nitrogen, and volatile fatty acid (VFA) were determined as fermentation parameters. Total nutrients digestibility trial was conducted by 4 treatments according to WCRS: concentrate ratio at 40:60 (W40), 20:80 (W20), and 10:90 (W10), respectively. Feed value was analyzed according to AOAC (2019) and nutrient digestibility was calculated based on NRC (2001). The levels of crude protein (CP), crude fat, and neutral detergent fiber of the WCRS were 12.29%, 1.67%, and 59.79%, respectively. It was found to be 51.49% as a result of predicting the total digestible nutrient of WCRS using the NRC (2001) model. In vitro rumen fermentation, T4, T5, and T6 treatments showed a greater gas emission and total VFA concentration compared with other treatments ($p<0.05$). Acetate and acetate to propionate ratio of T4, T5, and T6 were significantly higher than other treatments ($p<0.05$). There was a significant difference in the level of propionate and butyrate according to the WCRS: concentrate ratio ($p<0.05$). The digestibility of dry matter and CP was significantly lower in W40 than in other treatments ($p<0.05$); however, there was no difference in W20 and W10. In conclusion, the 20:80 (WCRS: concentrate) is beneficial for stabilizing the rumen that does not inhibit rumen fermentation and nutrient digestion. This ratio might have a positive effect on the economics of farms as a valuable feed.

(Key words): Feed value, Forage to concentrate ratio, Rumen fermentation, Whole crop rice)

I. 서론

농촌에서는 인구의 고령화로 인해 노동시간이 적고 기계화율이 높은 벼 재배를 선호하고 있다. 또한 국내 논외의 특성 및 신규 작물의 시장성 등을 고려하였을 때 벼 재배가 가장 이상적이다. 최근 우리나라는 쌀 생산성 향상과 WTO 농업협정을 통한 의무수입량을 통해 쌀의 재고량이 매년 증가하고 있다(Kim et al, 2008a). 그러나 국내 1인당 쌀소비량은 2010년 72.8 kg에서 2019년 59.2 kg로 지속적인 감소 추세를 보이고 있어 해마다 쌀보관에 대한 문제가 대두되고 있다(KOSIS, 2020).

정부에서는 재고미를 줄이기 위해 2003년부터 쌀 생산 조정제를 시행할 뿐만 아니라 벼 대체 작물 재배에 대한 지원정책을 강

구하고 있다. 그러나 벼 대체작물 재배 시 국제곡물가 상승에 대응하기 어려워 또 다른 해결방안이 요구되고 있다. 따라서 논을 다른 용도로 활용하면서 비상시 식량생산을 위해 활용할 가장 적합한 방안으로 사료용 벼가 다시 대두되고 있다(Kim et al., 2008b). 우리나라와 유사 상황인 일본의 경우에도 1970년경부터 재고미 처분을 위한 쌀의 사료가치 평가 및 생산량 조정을 시작했다. 또한, 청예벼의 사료이용에 대한 연구가 진행되어 다수의 사료용 벼 전용 품종이 개발되었다(Masao and Takeshi, 1990; Sakai, 2003).

최근 국내에서 사료용 벼 및 사료용 벼의 사일리지에 대한 연구는 최적의 수확시기, 품질 및 생산성 향상 등 여러 분야에서 진행되었다(Kim et al, 2007; 2008b). 또한 일부 사료가치 평가를 실시한 보고가 있지만, 생체 사료가치 평가가 아닌 주로 사료

*Corresponding author: Chae Hwa Ryu, National Institute of Animal Science, RDA, Wanju county 55365, Korea, Tel: +82-238-7467, Fax: +82-238-7453, E-mail: chryu0629@korea.kr

원 자체의 성분 분석으로 수행되었다(Kim et al., 2008b; 2009). 또한 국내에서 생산된 벼, 현미 및 백미에 대한 사료가치 연구는 이루어졌으나 중소가축인 면양을 이용한 것이고 대가축인 한우를 대상으로 한 사료용 벼 사일리지의 생체 사료가치 평가는 Choi et al.(2010)이 수행한 *in situ* 연구정도에 그치고 있다. 따라서 국내에서 사료용 벼를 반추동물의 사료로 사용하기엔 가축 체내 이용율에 대한 연구가 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 사료용 벼 사일리지의 사료가치를 평가하고 영양소별 소화율을 예측한 후 사료용 벼 사일리지와 배합사료 비율에 따른 반추위 발효성상 및 한우의 영양소 소화율을 비교하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 공시재료 및 화학적 분석

본 연구는 최근 육성 및 등록된 사료용 벼 품종인 조농을 이용하였다. 공시재료인 사료용 벼는 중부 평야에서 2019년 6월 초순에 미스트기를 이용해 산파하였다. 산파는 표준 파종량에 맞추어 10a당 6kg 수준으로 진행하였고, 9월 초순에 수확하여 시험에 사용하였다. 시비는 사료용 벼 표준인 보통기 다비재배로 사용하였고, 기타 재배관리는 농촌진흥청 표준재배법에 준하였다. 사료용 벼는 사일리지로 제작하여 120일 발효 후 개봉하였으며, 사일리지 제조시 별도의 첨가제는 사용하지 않았다. 시험사료의 배합비 및 화학적 성분은 Table 1과 같다. 시료는 60℃에서 48시간 건조한 후, cyclone mill을 이용하여 1 mm screen에 통과하도록 분쇄하여 화학분석을 실시하였다. 화학성분은 AOAC(2019)에 따라서 건물(dry mater, DM; #930.15) 및 회분(ash, #942.05), 리그

Table 1. Formula and chemical composition of experimental diets

Items	Whole crop rice silage	Concentrate
Ingredients(%)		
ground corn	-	40.66
corn gluten feed	-	20.75
wheat bran	-	13.34
soybean meal	-	9.82
coconut meal	-	4.14
rapeseed meal	-	4.14
palm meal	-	4.14
limestone	-	1.77
NaCl	-	0.48
baking soda	-	0.48
vitamin-mineral premix	-	0.28
Total	-	100.00
Chemical composition		
Dry matter (DM), %	37.51	91.53
Crude protein (CP), %DM	12.29	18.99
Ether extract, %DM	1.67	3.35
Neutral detergent fiber, %DM	59.79	25.90
Acid detergent fiber, %DM	36.88	9.13
Non-fiber carbohydrate, %DM	20.62	47.41
Acid detergent lignin, %DM	7.24	0.79
Crude ash, %DM	9.93	7.96
Neutral detergent insoluble CP, %DM	4.27	3.61
Acid detergent insoluble CP, %DM	2.22	0.69

닌(acid detergent lignin, ADL; #973.19) 분석을 실시하였으며 조단백질은(crude protein, CP)는 Dumas 방법으로 활용하였으며, 기기는 vario MAX CN 장비 (Elementar Analysensysteme GmbH, Germany; #990.03)를 이용하여 분석하였다.

중성세제불용성섬유(neutral detergent fiber, NDF)와 산성세제불용성섬유(acid detergent fiber, ADF)는 ANKOM²⁰⁰⁰ fiber analyzer(ANKOM Technology Corporation, Macedon NY, U.S.A.)를 이용하여 분석하였고, 중성세제불용조단백질(neutral detergent insoluble crude protein, NDICP)과 산성세제불용조단백질(acid detergent insoluble crude protein, ADICP)은 Licitra et al.(1996)의 방법으로 측정하였다. 연소열기는 bomb calorimeter(Model 6400 calorimeter, Parr instrument, Molinim IL, U.S.A.)로 측정하였으며, 비섬유소탄수화물(nonfiber carbohydrate, NFC)는 $100 - (CP\% + EE\% - Ash\% - NDFn\%)$ 의 수식으로 산출하였다.

2. 영양소 분석 결과를 이용한 총가소화영양소(total digestible nutrient, TDN) 예측

시료의 TDN 예측은 NRC(2001)에서 제시한 공식에 따라 실시하였으며, 그 공식은 다음과 같다. 아래의 식에서 각 성분 함량은 건물을 기준으로 한다.

$$\begin{aligned} \text{Truly digestible NFC(tdNFC)} &= 0.98 \times \{100 - [(NDF - NDICP) + CP + EE + Ash]\} \times \text{PAF} \\ \text{Truly digestible CP for forages(tdCPf)} &= CP \times \exp[-1.2 \times (ADICP/CP)] \\ \text{Truly digestible FA(tdFA)} &= EE - 1 \\ \text{Truly digestible NDF(tdNDF)} &= 0.75 \times [(NDF - NDICP) - ADL] \times \{1 - [ADL / (NDF - NDICP)]^{0.667}\} \\ \text{TDN}_{1x}(\%) &= \text{tdNFC} + \text{tdCP} + (\text{tdFA} \times 2.25) + \text{tdNDF} - 7 \end{aligned}$$

진정가소화비섬유소탄수화물(truly digestible nonfiber carbohydrate, tdNFC)을 구하는 가공보정계수(processing adjustment factor, PAF)는 기본값인 1.00을 적용하였다.

3. 위액채취 및 반추위 *in vitro* 발효성상 분석

농촌진흥청 국립축산과학원에서 반추위 누관이 장착된 한우 거세우(체중 655±70.7kg) 2두를 이용하여 반추위액을 채취하였다. 볏짚 2kg과 비육전기 배합사료 5kg을 하루에 2회(07:00 및 16:00)에 나누어 급여하였고, 물과 미네랄 블록은 무제한 급여하였다. 실험 설계는 사료용 벼 사일리지(whole crop rice silage, WCRS)와 배합 사료의 비율에 따라 총 6개로 구성되었다 : T1(100:0), T2(60:40), T3(40:60), T4(20:80), T5(10:90) 및 T6(0:100). 채취된 위액은 4

겹의 cheese cloth로 여과 후 O₂-free CO₂가 충전된 2 L, flask (39℃)에 head space가 없도록 하고 산소의 침입을 차단하여 혐기 조건을 유지하였다. 실험 배양개시 30분 전 반추위액을 O₂-free CO₂로 bubbling 하여 pH를 6.5로 보정하고 NaHCO₃ 9.8 g, Na₂HPO₄·2H₂O 4.62 g, KCl 0.57 g, NaCl 0.47 g, MgSO₄·7H₂O 0.12 g, CaCl₂(CaCl₂·2H₂O)/100 mL 4(5.3) g로 구성된 McDougall's buffer solution(Troelsen and Hanel, 1966)과 반추위액을 4:1로 혼합하여 rumen inoculum으로 사용하였다. 또한 위액의 희석 및 여과 과정 동안 O₂-free CO₂를 분사하여 위액이 산소에 노출되지 않도록 혐기상태를 유지하였으며 Tilley and Terry(1963)의 방법에 따라 3반복하여 실시하였다. 총 가스 생성량은 실험용 유리 주사기를 이용하여 배양병에 있는 총 가스를 측정하였다. 반추 위액의 pH는 발효가 종료된 배양병을 개봉한 후 pH meter (S20 Seven Easy™, Mettler-Toledo)를 이용하여 측정하였다. 암모니아태 질소 함량은 Chaney and Marbach(1962)의 방법에 따라 진행되었으며, 16,000 rpm으로 15분간 원심 분리하여 사료입자가 제거된 반추위액의 상등액 20 uL에 phenol color reagent 1 mL 및 alkali hypochlorite reagent 1 mL를 완전히 혼합하여 37℃에서 20분간 반응 후 spectrophotometer (Optizen UV2120, Mecasis, Korea)를 이용하여 흡광도 630 nm에서 측정하였다. 휘발성 지방산은 Erwin et al.(1961)의 방법에 따라 실시되었다. 사료입자가 제거된 반추위액의 상등액 1 mL에 metaphosphoric acid 200 uL를 첨가하여 30분 동안 정치 후, 13,000 rpm에서 원심분리 하는 전처리 과정을 거친 시료를 Nukol™, fused silica capillary column (0.25 mm I.d. × 30 m length, SUPELCO, USA)이 장착된 gas chromatography (HP4890, Agilent, CA, USA)로 분석하였다(oven = 180℃, injector = 220℃ 및 detector = 200℃).

4. 영양소 소화율 분석

한우 거세우 6두(체중 634±77.4 kg)를 실험동물로 사용하였으며, 실험은 농촌진흥청 국립축산과학원 가축대사연구실에서 two 3×3 balanced latin square design으로 수행하였다. 실험사료는 사료용 벼 사일리지와 배합사료를 사용하였으며, 사료급여는 절식 체중(Shrunken body weight)의 1.0% 수준을 하루에 2회(7:00시 및 16:00시) 나누어 급여하였다. 절식체중은 생체중을 기반으로 Nutrient Requirement of Beef Cattle(BCNRM, 2016)에 의거하여 산출하였다. 급여 비율에 따른 사료용 벼 사일리지의 소화율 및 TDN을 평가하기 위해 T1(40:60), T2(20:80) 및 T3(10:90)의 총 3개의 처리구로 구성하였다. 공시축은 사료 및 대사를 적응기간을 10일 적용한 후 4일 동안 전분을 채취하여 영양소 소화율 분석에 사용하였다. 본 연구는 국립축산과학원 동물실험윤리위원회의 승인 하에 수행되었다(승인번호 NIAS 2019-357).

5. 통계분석

연구의 통계 분석은 SPSS 프로그램(Version 26, IBM, NewYork, USA)을 이용하여 분산분석을 실시하였고, 5%의 유의수준에서 유의성을 검정하였다. 각 평균간 유의성 검정은 Duncan의 다중 검정법(multiple range test)을 이용하여 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

본 연구에서 사용된 조농 품종은 조생 사료용 벼로 적응지역은 중부 및 남부 평야지이며, 정조수량 및 초기 신장성이 양호하고 줄무늬잎마름병에 강한 특성이 있다. 이에 따라 본 연구에서도 중부평야지에서 6월부터 9월까지 약 70일 재배된 유숙기의 사료용 벼로 사일리지를 제작하여 사용하여 조단백질, 조지방, NDF은 각각 12.29%, 1.67% 및 59.79%로 측정되었다(Table 1). 선행 연구결과에서는 사료용 벼 사일리지의 조단백질 7.0 ~ 10.9% 및 NDF 64.6 ~ 70.8%로 나타났으며(Kim et al., 2008a), Sung et al.(2004)의 연구에서도 조단백질의 경우 5.78 ~ 9.01%, 조지방 1.53 ~ 3.23%로 연구된 바 있다. 사료용 벼 사일리지 내 조지방 및 NDF에서도 차이가 있었으나, 조단백질은 본 연구와 선행 연구가 큰 차이를 보여 수확시기에 따라 영향을 받았을 것으로 생각된다. 사료용 벼의 단백질 함량은 품종에 따라 차이가 있으나 수확시기 빨라질수록 단백질 함량은 증가한다고 보고된 바 있다(Kim et al., 2008a). 또한, 선행연구에서 수확시기에 따라 영양성분을 다르게 제시하고 있으며 특히 조단백질은 최소 3.3%에서 최대 19.5%로 다른 영양성분에 비해 큰 차이가 나타났다. 따라서 본 연구에서 사용된 사료용 벼의 영양성분은 충분하다고 판단되나 품종 및 재배시기에 따라 차이가 있을 것으로 생각된다.

영양소 분석 결과를 바탕으로 NRC(2001) 공식에 따라 사료용 벼 사일리지의 영양소별 진정소화율 및 TDN을 예측하였다(Table 2). 조단백질 및 NDF 소화율은 80.51%, 59.70%로 예측되었으며, 소화량은 각각 조단백질 9.89%, 조지방 0.67% 및 NDF 33.15%로 산출되었다. 국내 조사료의 TDN 측정에는 ADF 추정식(TDN = 88.7-(ADF×0.79))을 주로 활용하고 있으며, 이를 적용하였을 때 사료용 벼 사일리지의 TDN은 60.17%이다. TDN 추정식 모델은 여러 모델이 있으나 기존에 이용하던 ADF를 이용한 TDN 추정식 모델은 섬유소 함량(CF, NDF, ADF)과 이용 가능한 에너지의 부(-)의 상관관계를 통해 회귀모델이 개발되어 산출된 TDN이 가축 체내 이용율과는 다소 차이가 있다(Fonnesbeck et al., 1984; Minson, 1982; Abrams, 1988). 또한 ADF를 이용한 TDN 추정식 모델은 알팔파, 오차드그라스, 리드카나리그라스, 톨페스 큐 등 주로 화본과 조사료의 건물소화율과 ADF 함량을 이용해 회귀모델을 개발하여(Rohweder, 1978), 곡류인 사료용 벼의 TDN

측정에 적용하기에 적절하지 않다. 반면에 NRC(2001) 모델은 사료 내 영양소를 가축소화시스템에 기반한 모델에 적용하여 ADF를 이용한 TDN 추정식 모델보다 사료용 벼의 TDN 예측에 보다 정확하다고 생각된다. 따라서 NRC(2001) 모델을 이용하여 사료용 벼 사일리지의 TDN을 예측한 결과 51.49%로 나타났고, 이는 ADF를 이용한 TDN 추정식 모델의 결과보다 낮았으나 반추동물용 조사료로서 사용하기에 무리가 없는 에너지 수준으로 생각된다. 또한 사료용 벼 사일리지의 가소화에너지는 2.29 Mcal/kg으로 산출되어 사료로서의 가치를 예측해 볼 수 있었다.

사료용 벼 사일리지는 반추위 발효 및 소화에 시간이 필요한 조사료원으로 급여 비율이 높아질수록 초기 소화율이 낮을 것으로 예상되었다. 연구결과에서는 반추위액의 pH는 T4, T5 및 T6에서 유의적으로 낮은 pH를 보였고($p < 0.05$, Table 3~5), 이는 사료용 벼 사일리지의 함량이 낮았던 시험구에서 소화속도가 빨라지며 동시에 반추위내 pH가 낮아진 것으로 보인다. 그러나 전 시험구의 pH가 적정범위인 5.8 ~ 7.2에 속해 반추위 발효에 부(-)의 영향이 없었다고 생각된다(Hiltner and Dehority, 1983). 총 가스 생성량에서는 T1이 유의적으로 낮게 나타났고($p < 0.05$), T4, T5 및 T6에서 유의적으로 높았다($p < 0.05$). T1은 사료용 벼 사일리지를 100% 사용해 다른 시험구보다 NDF 함량이 높아 반추위 발효가 낮게 나타났다고 생각된다. David et al.(2012)에 따르면 조사료 비율이 높은 시험구보다 배합사료가 높은 시험구에서 총 가스 및 휘발성지방산 생성량 등의 반추위 발효성상이 높게 나타

Table 2. Amount of digestible nutrients and estimated true nutrients digestibility and energy value of Whole crop rice silage based on NRC(2001) equations

Items	Whole crop rice silage
Estimated true digestibility of nutrients, %DM	
Crude protein(tdCP)	80.51
Fatty acid(FA)	40.12
NDF(tdNDF)	48.46
Non-fiber carbohydrate(tdNFC)	98.00
Digestible nutrients, %DM	
Crude protein(tdCP)	9.89
Fatty acid(FA)	0.67
NDF(tdNDF)	33.15
Non-fiber carbohydrate(tdNFC)	20.18
Energy value	
Digestible energy(DE ¹), Mcal/kg	2.29
Total digestible nutrient, %	51.49

¹DE_{ix}(Mcal/kg)=(tdNDF/100)×4.2+(tdNDF/100)×4.2+(tdCP/100)×5.6+(FA/100)×9.4

Table 3. Effect of WCRS:concentrate ratio on *in vitro* rumen fermentation at 6 hour

Items	T1	T2	T3	T4	T5	T6	SEM	P-value
pH	6.87 ^d	6.92 ^d	6.79 ^c	6.66 ^b	6.58 ^a	6.69 ^b	0.030	<0.05
Total gas, mL	41.67 ^a	55.33 ^b	56.67 ^b	60.00 ^b	63.33 ^b	60.00 ^b	1.919	<0.05
NH ₃ -N, mg/dL	4.85	3.61	4.44	4.51	4.91	4.70	0.177	0.322
TVFA, mM	22.80 ^a	27.04 ^b	28.76 ^{bc}	29.83 ^{bc}	30.89 ^c	30.21 ^c	0.733	<0.05
Acetate, %	66.74 ^b	65.67 ^{ab}	66.69 ^b	64.76 ^a	64.69 ^a	64.05 ^a	0.310	<0.05
Propionate, %	18.25 ^a	19.51 ^b	19.56 ^b	20.79 ^c	21.18 ^{cd}	21.67 ^d	0.290	<0.05
Butyrate, %	12.28	12.16	11.36	11.83	11.56	11.64	0.124	0.221
Valerate, %	2.74	2.66	2.40	2.63	2.57	2.63	0.040	0.229
AP ratio	3.66 ^c	3.37 ^b	3.41 ^b	3.12 ^a	3.06 ^a	2.95 ^a	0.061	<0.05

T1, 100:0; T2, 60:40; T3, 40:60; T4, 20:80; T5, 10:90; T6, 0:100.

NH₃-N, ammonia nitrogen; TVFA, total volatile fatty acid; AP ratio, acetate to propionate ratio.

Table 4. Effect of WCRS:concentrate ratio on *in vitro* rumen fermentation at 12 hour

Items	T1	T2	T3	T4	T5	T6	SEM	P-value
pH	6.86 ^{cd}	6.94 ^d	6.83 ^c	6.64 ^{ab}	6.54 ^a	6.71 ^b	0.035	<0.05
Total gas, mL	55.67 ^a	76.67 ^b	84.00 ^c	95.00 ^d	95.00 ^d	97.33 ^d	3.555	<0.05
NH ₃ -N, mg/dL	5.17	4.93	3.47	4.15	4.20	4.58	0.246	0.437
TVFA, mM	31.65 ^a	42.89 ^b	45.01 ^{bc}	49.66 ^d	50.16 ^d	48.26 ^{cd}	1.613	<0.05
Acetate, %	67.02 ^d	64.98 ^c	64.29 ^c	62.82 ^b	62.45 ^{ab}	61.33 ^a	0.473	<0.05
Propionate, %	17.73 ^a	19.41 ^b	20.23 ^c	21.31 ^d	21.84 ^d	22.71 ^e	0.405	<0.05
Butyrate, %	12.68	13.03	12.96	13.26	13.07	13.26	0.083	0.382
Valerate, %	2.57	2.58	2.52	2.63	2.65	2.70	0.022	0.257
AP ratio	3.78 ^c	3.35 ^d	3.18 ^c	2.95 ^b	2.86 ^b	2.70 ^a	0.088	<0.05

T1, 100:0; T2, 60:40; T3, 40:60; T4, 20:80; T5, 10:90; T6, 0:100.

NH₃-N, ammonia nitrogen; TVFA, total volatile fatty acid; AP ratio, acetate to propionate ratio.

Table 5. Effect of WCRS:concentrate ratio on *in vitro* rumen fermentation at 24 hour

Items	T1	T2	T3	T4	T5	T6	SEM	P-value
pH	6.86 ^d	6.84 ^d	6.78 ^c	6.80 ^c	6.52 ^a	6.70 ^b	0.028	<0.05
Total gas, mL	71.67 ^a	103.33 ^b	120.00 ^c	131.67 ^d	136.67 ^d	135.00 ^d	5.671	<0.05
NH ₃ -N, mg/dL	11.44 ^b	11.53 ^b	8.13 ^a	8.98 ^a	8.91 ^a	8.52 ^a	0.420	<0.05
TVFA, mM	43.72 ^a	51.12 ^{ab}	59.49 ^{bc}	63.20 ^c	67.43 ^c	66.52 ^c	2.940	<0.05
Acetate, %	63.74 ^b	55.78 ^a	56.11 ^a	55.78 ^a	54.84 ^a	54.81 ^a	0.912	<0.05
Propionate, %	19.78 ^a	23.28 ^b	23.64 ^b	23.95 ^{bc}	24.55 ^{bc}	25.61 ^c	0.531	<0.05
Butyrate, %	12.99 ^a	16.66 ^c	16.28 ^{bc}	16.34 ^{bc}	16.50 ^{bc}	15.80 ^b	0.349	<0.05
Valerate, %	3.50 ^a	4.28 ^d	3.97 ^{bc}	3.95 ^{bc}	4.12 ^{cd}	3.78 ^b	0.081	<0.05
AP ratio	3.02 ^{ab}	2.40 ^{ab}	2.37 ^{ab}	2.83 ^{ab}	2.23 ^{ab}	2.14 ^a	0.113	0.145

T1, 100:0; T2, 60:40; T3, 40:60; T4, 20:80; T5, 10:90; T6, 0:100.

NH₃-N, ammonia nitrogen; TVFA, total volatile fatty acid; AP ratio, acetate to propionate ratio.

Table 6. Effect of WCRS:concentrate ratio on apparent total tract digestibility of nutrients in Hanwoo steers

Items	W40	W20	W10	SEM	P-value
Dry matter, %	62.77 ^a	68.46 ^b	69.72 ^b	0.886	<0.05
..... % dry matter basis.....					
Crude protein (CP)	68.86 ^a	72.13 ^b	73.22 ^b	0.655	<0.05
Ether extract	72.38	79.49	80.29	1.571	0.069
Neutral detergent fiber	45.37	48.36	48.01	1.001	0.440
Non-fiber carbohydrate	89.06	88.80	87.66	0.698	0.711
Energy	66.42 ^a	70.69 ^b	71.29 ^b	0.758	<0.05
Total digestible nutrient	66.17 ^a	71.26 ^b	72.43 ^b	0.836	<0.05

¹Whole crop rice silage:concentrate ratio; W40, 40:60; W20, 20:80; W10, 10:90.

났으며, 본 연구의 결과 또한 사료용 벼 사일리지의 비율이 낮아질수록 총 가스생성량이 높게 나타났다. 반추위 발효에서 암모니아태 질소생성량은 미생물의 소화 및 흡수가 원활히 이루어졌는지 예측하는 지표이다. 암모니아태 질소함량은 안정화된 반추위에서 최소 5~8 mg/dL에서 최대 29 mg/dL이 생성된다고 보고된 바 있다(Stile et al., 1970). 본 연구에서는 모든 시험구에서 3.61 ~ 11.53 mg/dL로 적정 범위 안에 속했으며, 시험구 간 유의적인 차이가 없었다($p < 0.05$). 총 휘발성지방산 생성량에서는 T5와 T6에서 유의적으로 높았고 T1에서 유의적으로 낮은 결과를 나타냈다($p < 0.05$). 이는 총 가스생성량과 유사한 경향을 보였으며, 가스생성량과 마찬가지로 사료용 벼 사일리지의 비율에 영향을 받은 것으로 생각된다.

사료용 벼 사일리지에서는 다소 높은 수치의 ADICP가 나타났는데(Table 1), 섬유소와 결합된 단백질인 ADICP가 높은 사료를 사용할 경우 가축 체내 이용성을 감소시킨다고 보고된 바 있다(Boucher et al., 2009). 본 연구결과에서도 사료용 벼 사일리지의 비율이 높을수록 휘발성지방산 생성량이 낮게 나타나, 반추위 발효에 부(-)의 영향이 있었다고 판단된다. 초산에서는 발효 시간별 차이가 있었으나 T1에서 유의적으로 높은 비율을 나타냈고($p < 0.05$), T6로 갈수록 낮은 비율을 보였다. 프로피온산 및 낙산에서는 T1에서 유의적으로 낮았으며 T5 및 T6에서 유의적으로 높은 결과를 보였다($p < 0.05$). 초산과 프로피온산 비율(acetate to propionate ratio, AP ratio)에서는 T1이 높고 T4, T5 및 T6에서 유의적으로 낮은 결과를 나타냈다. 반추위 발효는 David et al.(2012)의 결과와 마찬가지로 조사료 급여시 초산 생성량이 높았으며, 배합사료 급여시 프로피온산 생성량이 높게 나타났다. 따라서 배합사료의 함량이 높아질수록 프로피온산의 비율이 높아져, AP ratio에 영향을 미친 것으로 사료된다.

농후사료와 사료용 벼 사일리지의 비율에 따른 영양소별 외관상 소화율과 에너지는 Table 6과 같다. 건물 및 조단백 소화율은 W40에서 유의적으로 낮게 나타났고($p < 0.05$), W20 및 W10은

유의적 차이가 없었다. 일반적으로 건물 소화율은 ADF와 부(-)의 상관관계를 가진다고 알려져 있으며(Kim et al., 1989), 섬유소와 결합된 단백질인 ADICP가 높을수록 단백질소화율이 저하될 수 있다(Boucher et al., 2009). 본 연구에서는 사료용 벼 사일리지 급여비율이 높아질수록 사료 내 ADF와 ADICP 수준이 높아져 건물 및 조단백질 소화율이 낮아진 것으로 사료된다. 조지방, NDF 및 NFC 소화율은 시험구간 유의적인 차이가 없었다. 에너지 및 TDN에서도 W40에서 유의적으로 낮게 나타나($p < 0.05$), 건물소화율과 유사한 경향을 나타냈다.

일련의 연구결과, 사료용 벼 사일리지는 수입 조사료인 티모시와 유사한 수준의 조단백 함량을 나타냈고 TDN 예측에서도 51.49%로 나타나 반추동물 사료로서의 가치가 충분하다고 판단되었다. 사료용 벼 사일리지의 비율의 증가에 따라 반추위 발효성상 및 영양소 소화율이 감소하는 경향을 보였으나, 20:80과 10:90 비율에서는 차이가 없었다. 사료용 벼 사일리지의 비율이 20%와 10%는 반추위 발효 및 영양소 소화율에서 차이가 없어 증체에도 영향이 미치지 않을 것으로 생각되나, 일반적으로 사료용 벼 사일리지보다 배합사료의 가격이 높게 형성되어 있어 사료용 벼 사일리지 20% 급여시 10% 급여보다 농가의 사료비를 절감할 수 있다. 따라서 사료용 벼 사일리지는 사료로서의 가치는 충분하나 적절한 비율로 급여하는 것이 중요하다. 결론적으로 사료용 벼 사일리지와 배합사료의 비율을 20:80으로 급여하는 것은 반추위 발효 및 영양소 소화를 저해하지 않는 수준에서 반추위 안정에도 유리하고 실제 농가의 경제성에도 긍정적인 영향을 미칠 것으로 예상된다.

IV. 요약

본 연구는 사료용 벼 사일리지의 사료가치를 평가하고 반추위 발효성상을 이용하여 사료용 벼 사일리지와 배합사료의 적정 비율을 조사하고자 하였다. 사료가치 평가는 AOAC(2019)에 따라

분석하였고, 영양소 소화율 예측은 NRC(2001)의 수식을 기반으로 산출하였다. *In vitro* 반추위 발효시험은 총 6개의 시험구로 구성되었고, 반추위 pH, 가스생성량, 암모니아태 질소 및 휘발성 지방산을 측정하였다: T1(100:0), T2(60:40), T3(40:60), T4(20:80), T5(10:90), T6(0:100). 영양소 소화율 시험에서는 사료용 벼 사일리지 비율에 따라 40:60(W40), 20:80(W20) 및 10:90(W10)로 나누어 수행하였다. 사료용 벼 사일리지의 조단백질, 조지방 및 NDF 함량은 각각 12.29%, 1.67%, 59.79%로 측정되었다. 또한 NRC (2001)을 이용한 사료용 벼 사일리지의 TDN 예측 결과는 51.49%로 나타났다. 반추위 발효 *in vitro* 결과, 가스생성량과 총 휘발성 지방산생성량은 T4, T5 및 T6에서 다른 시험구보다 유의적으로 높았다($p<0.05$). 초산과 AP ratio도 T4, T5 및 T6에서 유의적으로 높게 나타났다($p<0.05$). 프로피온산 및 낙산에서는 사료용 벼 사일리지와 배합사료의 비율의 변화에 따라 유의적인 차이를 보였다($p<0.05$). 건물 및 조단백 소화율은 W40에서 유의적으로 낮은 결과를 보였으나($p<0.05$), W20 및 W10은 유의적 차이가 없었다. 따라서 사료용 벼 사일리지는 사료로서 가치가 있다고 판단된다. 또한, 사료용 벼 사일리지와 배합사료의 급여비율을 20:80 하는 것이 반추위 발효 및 영양소 소화를 저해하지 않는 수준에서 농가의 경제성에도 긍정적인 것으로 생각된다.

V. 사 사

본 성과물은(논문) 농촌진흥청 연구사업(세부과제명 : 사료용 벼와 동계 사료작물의 한우체내 이용성 평가, 세부과제번호: PJ01382303)의 지원에 의해 이루어진 것임.

VI. REFERENCES

- Abrams, S. 1988. Sources of error in predicting digestible dry matter from the acid-detergent fiber content of forages. *Animal Feed Science and Technology*. 21(2): 205-208.
- AOAC. 2019. Official methods of analysis, 21st edition (2019) - AOAC International. <https://www.aoac.org/official-methods-of-analysis-21st-edition-2019/>
- BCNRM. 2016. Beef cattle nutrient requirements model. National Academy Press. Washington, DC. p355
- Boucher, S. E., Calsamiglia, S., Parsons, C. M., Stein, H. H., Stern, M. D., Erickson, P. S., Utterback, P. L. and Schwab, C. G. 2009. Intestinal digestibility of amino acids in rumen-undegraded protein estimated using a precision-fed cecectomized rooster bioassay: II. Distillers dried grains with solubles and fish meal. *Journal of Dairy Science*. 92(12): 6056-6067
- Chaney, A. L. and Marbach, E. P. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clinical Chemistry*. 8(2): 130-132.
- Choi, C. W., Chung, E. S., Hong, S. K., Oh, Y. K., Kim, J. G. and Lee, S. C. 2010. Feed evaluation of whole crop rice silage harvested at different mature stages in Hanwoo steers using *in situ* technique. *Journal of the Korea Society of Grassland and Forage Science*. 30(2): 143-150.
- David T. M., Oh, S. J., Lee, A. R., Chae, J. I., Choi, C. W. and Choi, N. J. 2012. *In vitro* rumen fermentation patterns of environment friendly whole crop barley, italian ryegrass and rice straw silages. *Korean Journal of Organic Agriculture*. 20(2): 221-230
- Erwin, E. S., Marco, G. J. and Emery, E. M. 1961. Volatile fatty acid analyses of blood and rumen fluid by gas chromatography. *Journal of Dairy Science*. 44: 1768-1771.
- Fonnesbeck, P. V., Wardeh, M. F. and Harris, L. E. 1984. Mathematical models for estimating energy and protein utilization of feedstuffs. Utah Agricultural Experiment Station, Bulletin 508. Logan.
- Hiltner, P. and Dehority, B. 1983. Effect of soluble carbohydrates on digestion of cellulose by pure cultures of rumen bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*. 46: 642-648.
- Kim, D. J., Kim, Y. K. and Maeng, W. J. 1989. Study on the dry matter digestibility of domestic herbage by pepsin-cellulase technique, I; cell wall constituents and dry matter digestibility of wild grasses. *Korean Journal of Animal Sciences*. 31(5): 324-333.
- Kim, J. G., Chung, E. S., Ham, J. S., Seo, S., Kim, M. J., Yoon, S. H. and Lim, Y. C. 2007. Effect of growth stage and variety on the yield and quality of whole crop rice. *Journal of the Korea Society of Grassland and Forage Science*. 27(1): 1-8.
- Kim, J. G., Ham, J. S., Chung, E. S., Yoon, S. H., Kim, M. J., Park, H. S., Lim, Y. C. and Seo, S. 2008a. Evaluation of fermentation ability of microbes for whole crop rice silage inoculant. *Journal of the Korea Society of Grassland and Forage Science*. 28(3): 229-236.
- Kim, J. G., Chung, E. S., Seo, S., Kim, M. J., Lee, J. K., Yoon, S. H., Lim, Y. C. and Cho, Y. M. 2008b. Effect of growth stage and variety on the quality of whole crop rice silage. *Journal of the Korea Society of Grassland and Forage Science*. 28(1): 29-34.
- Kim, J. G., Chung, E. S., Lee, J. K., Lim, Y. C., Yoon, S. H. and Kim, M. J. 2009. Comparison of yield and quality of direct-seeded whole crop rice. *Journal of the Korea Society of Grassland and Forage Science*. 29(1): 25-30.
- KOSIS(Korean Statistical Information Service). 2020. Grain consumption survey of 2019. Available from: <http://kosis.kr>. Accessed October 22, 2020. Korean statistical information service.
- Licitra, G., Hernandez, T. M. and Van Soest, P. J. 1996. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology*. 57(4): 347-358.
- Tilley, J. M. A. and Terry, R. A. 1963. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *Grass and Forage Science : The Journal of the British Grassland Society*. 18(2): 104-111.
- Troelsen, J. E., and Hanel, D. J. 1966. Ruminant digestion *in vitro* as affected by inoculum donor, collection day, and fermentation time. *Canadian*

- Journal of Animal Science. 46(3): 149-156.
- Masao, O. and Takeshi, H. 1990. Effects of cropping season and soiling time and height on herbage and grain yield and feeding value. Japanese Journal of Crop Science. 59(3): 419-425.
- Minson, D. 1982. Effect of chemical composition on feed digestibility and metabolizable energy. Nutrition Abstracts and Reviews. pp.591-615.
- NRC(National Research Council). 2001. Nutrient Requirement of Dairy Cattle. 7th Revised Edition. National Academy Press. Washington, DC. pp.62-67.
- Rohweder, D., Barnes, R. F. and Jorgensen, N. 1978. Proposed hay grading standards based on laboratory analyses for evaluating quality. Journal of Animal Science. 47(3): 747-759.
- Sakai, M. 2003. New rice varieties for whole crop silage use in Japan. Breeding Science. 53(3): 271-276.
- Stiles, D., Bartley, E., Meyer, R. E., Deyoe, C. and Pfost, H. 1970. Feed processing. VII. Effect of an expansion-processed mixture of grain and urea (starea) on rumen metabolism in cattle and on urea toxicity. Journal of Dairy Science. 53(10): 1436-1447.
- Sung, K. I., S. M. Hong, and B. W. Kim.2004 Plant height, dry matter yield and forage quality at different maturity of whole crop rice. Journal of the Korea Society of Grassland and Forage Science. 24(1): 53-60.

(Received : October 23, 2020 | Revised : November 26, 2020 | Accepted : November 26, 2020)