

균상재배 느타리버섯부산물 생균발효사료의 반추동물 조사료원으로서의 가치 평가

김영일 · 석준상 · 곽완섭*

건국대학교 자연과학대학 생명자원환경과학부 축산학전공

Evaluation of Microbially Ensiled Spent Mushroom (*Pleurotus osteratus*) Substrates (Bed-Type Cultivation) as a Roughage for Ruminants

Young Il Kim, Jun Sang Seok and Wan Sup Kwak*

Animal Science, School of Life Resource and Environmental Sciences, College of Natural Sciences, Konkuk University

ABSTRACT

An *in situ* ruminal disappearance trial and an *in vivo* sheep metabolism trial were conducted to evaluate the nutritional value of spent mushroom substrate (SMS, originated from *Pleurotus osteratus* bed-type cultivation). The raw SMS was ensiled (ESMS) for 30 days with 5% (w/w, DM basis) molasses, 0.5% (v/w) yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) and 0.5% (v/w) lactic acid bacteria (*Lactobacillus plantarum*). Two ruminally cannulated Holsteins (average BW 620 kg) were used to evaluate *in situ* disappearance. Six sheeps (average BW 48 kg) were fed, in 3 × 3 Latin square design, rice straw alone (Control), 25% (ESMS-25) and 50% (ESMS-50) of rice straw were replaced with ensiled SMS. For an *in situ* trial, ruminal DM and neutral detergent fiber (NDF) disappearance of SMS were increased after ensiling (P<0.05). For a sheep trial, protein and fiber (NDF, acid detergent fiber, crude fiber) digestibilities were decreased (P<0.05), crude ash digestibility was increased (P<0.001), and nitrogen retention was not affected (P>0.05) as rice straw was replaced with ensiled SMS. Ruminating time was decreased by an average of 28% by feeding ensiled SMS (P<0.05). Ensiled SMS (Bed-type cultivation) had 76% of energy value of rice straw. Consequently, ensiled SMS (Bed-type cultivation, 100% cotton waste) could be used as a roughage source appropriate for maintenance type rations for ruminants.

(Key words : Spent mushroom substrate, Spent mushroom compost, By-products, Ensiling, Roughage, Ruminant)

서 론

균상재배 느타리버섯부산물은 폐면을 이용하여 느타리버섯을 생산한 후 발생하는 부산물로서, 국내에서 연간 약 19만톤(M/T)이 발생된다(김 등, 2007). 균상재배 버섯부산물의 화학적 성상은 neutral detergent fiber (NDF) 76.1%, acid detergent fiber (ADF) 65.4%, crude protein (CP) 11.5%, ether extract (EE) 0.4%, non-fibrous carbohydrate (NFC) 5.7%, ash 6.3%로 섬유소 함량이 높고 비소화성 단백질 함량이 높은 특징이 있어 영양적 가치 개선이 필요하다(김 등, 2007; Kwak 등, 2009). 균상재배 느타리버섯부산물은 수분 함량이 64% 수준으로서(김 등, 2007) 변패가 매우 빠르게 진행되기 때문에 저장성을 개선해야 동물사료로의 효과적 이용이 가능할 것이다(Kwak 등, 2009).

유산균을 이용한 혐기발효는 발효성상을 좋게 하여 저장성을 향상시킬 수 있으며, 기호성과 영양적 가치를 개선할 수 있는 방법이

될 수 있다(Yang 등, 2006; Gao 등, 2008). 효모는 통성혐기성의 특성을 가지며, lactic acid 및 유기산들을 기질로 이용 할 수 있기 때문에 유산균의 성장에 도움이 된다(Yang 등, 2006). 균상재배 느타리버섯부산물은 NFC의 함량이 낮으므로, 미생물이 쉽게 이용 가능한 탄수화물 함량이 높은 당밀을 첨가하는 것은 유산균 및 효모의 성장에 도움이 되어(Weinberg, 2008), 발효성상을 좋게 한다. 저자들의 선행된 연구(Kwak 등, 2009)에서 균상재배 느타리버섯부산물에 유산균 (*Lactobacillus plantarum*), 효모 (*Saccharomyces cerevisiae*) 그리고 당밀을 첨가하여 혐기발효 한 결과 대조구에 비해 pH가 감소하고 lactic acid 생성량이 증가하며, 유산균과 효모수가 증가하는 효과가 있었다. 결과적으로, 발효성상을 좋게 하여 저장성이 향상되고 영양적 가치를 개선하는 것으로 나타났다. Krehbiel 등(2003)은 유산균과 효모를 Direct-fed microbials (DFM)의 형태로 반추동물에 급여 시 소화율, 면역력 및 사료효율이 개선된다고 보고하였다. 현재까지 고섬유소의 균상

이 논문은 2009년도 건국대학교 학술진흥연구비 지원에 의한 논문임

* Corresponding author : Ph. D. Wan Sup Kwak, School of Life Resource and Environmental Sciences, College of Natural Sciences, Konkuk University, Chung-Ju, Chung-Buk, 380-701, Korea. Tel: 82-43-840-3521, Fax: 82-43-851-8675, E-mail: wsk@kku.ac.kr

재배 느타리버섯부산물에의 생균발효처리에 따른 조사료적 가치 평가에 대한 연구는 미미하다.

따라서 본 연구에서는 균상재배 느타리버섯부산물의 반추동물 조사료원으로서의 가치를 알아보기 위하여 발효 전 후의 *in situ* 반추위 소실을 및 면양을 이용하여 영양소 소화율, 체내 질소이용성 및 섭취행동을 벗짚과 비교 평가하였다.

재료 및 방법

1. 발효사료 제조

실험에 사용된 버섯부산물 (spent mushroom substrates, SMS) 은 충주시에 위치한 느타리버섯 균상재배농가에서 폐상 직후 수거하여 실험에 활용하였다. 버섯부산물은 100% 폐면으로 조성되었다. *In situ* 및 면양대사실험을 위한 발효사료 (ensiled spent mushroom substrates, ESMS) 제조를 위해 버섯부산물에 당밀 5% (w/w), *Saccharomyces cerevisiae* 0.5% (w/v), *Lactobacillus plantarum* 0.5% (w/v)를 첨가하였다. 당밀은 건물 기준으로, 유산균과 효모는 원물기준으로 첨가하였다. *Saccharomyces cerevisiae* 는 YM broth (271120, Difco, USA)를 이용하여 30°C에서 48시간, *Lactobacillus plantarum*은 MRS broth (288130, Difco, USA)를 이용하여 36°C에서 24시간 사전 배양하여 버섯 부산물에 접종하였다. 접종 후 소규모 전기 혼합기 (Akita, Italia)를 이용하여 10분 이상 혼합하여 완전히 혼합되도록 한 후 두 겹의 비닐로 밀봉하여 80ℓ 용기 내에 넣어서 30일간 혐기 발효 시켰다. 발효 전과 후의 시료를 채취 하였으며, 발효 전 시료는 채취 후 -20°C 냉동실에서 저장, 보관 후 발효 후의 시료와 함께 분석에 사용하였다.

2. *In situ* 반추위 소실율

균상재배 느타리버섯부산물의 혐기발효 전 후의 *in situ* 소실을 비교평가를 위하여 실험동물로 cannula가 장착된 평균 체중 620 kg의 홀스타인 육우 2두를 이용하여 2회 시행하였으며, 처리당 4 반복으로 실시하였다. 실험 5일전부터 배합사료 4 kg과 rye grass straw 2 kg을 실험동물에 급여하였으며, 물은 자유 섭취하도록 하였다. *In situ* 실험은 Ørskov 등 (1980)의 방법에 의해 실시하였다.

사료입자는 Wiley mill (Thomas Scientific, Model4, New Jersey, U.S.A)로 분쇄한 후 실험용체 (체경 100 μ m, 2 mm)을 이용하여 100 μ m~2mm의 입자를 선별하여 실험에 사용하였다. 시료 10g을 pore size가 50 \pm 15 μ m인 10 × 25cm 크기의 dacron bag (R1020, Ankom Technology, Fairport, NY)에 넣었다. 시료무게 대 dacron bag 면적 비율은 20 mg/cm²으로 Nocek (1985)이 권장하는 적정 범위에 속하였다. 사료 급여 2시간 후에 반추위 복강 부위에 bag을 넣고 0, 24, 48, 72시간 동안 배양하였다. 배양이 완료된 bag을 꺼내어 흐르는 찬물에서 맑은 물이 나올 때 까지 24시간 세척 후 60°C drying oven에서 48시간 건조하여 DM, NDF, CP

를 분석하였다. DM은 water-soluble (45 μ m filterable), insoluble degradable 및 non-degradable 분획으로 분류하였다 (Smith 등, 1971). NDF는 72시간에 분해가 완료됨을 가정하였다 (Smith 등, 1971). NDF 소화율 측정은 배양 72시간에 남아있는 부분을 non-digestible 분획으로 하였다. CP는 water-soluble (45 μ m filterable), insoluble degradable 및 non-degradable 분획으로 분류하였다.

3. 면양 대사실험

균상재배 느타리버섯부산물 발효사료의 면양 체내 이용성을 조사하고자 실시하였다. 시판되는 육성기용배합사료 (비육스타중송아지 P, 농협) 50%와 벗짚 50% (건물기준)를 면양에게 급여하였으며, 동일한 양의 배합사료를 급여하되 대조구 벗짚 급여량의 25% (ESMS-25) 또는 50% (ESMS-50)를 균상재배 느타리버섯부산물 발효사료 (ESMS)로 대체하여 급여하였다. ESMS는 추가적 발효를 방지하기 위하여 냉장저장하면서 급여하였다. 평균체중 48 kg의 숫면양 (Corriedale) 6두를 대조구, ESMS 급여구 (ESMS-25, ESMS-50)에 각각 2두씩 완전 임의로 할당된 후 특수제작된 대사틀에서 3회 시행하였다. 이때, 시행 간 동일 면양이 특정 처리구에 반복 이용되지 않도록 하였다. 면양에게 급여된 사료는 850g/일 (건물기준)이었으며, 면양의 영양소 요구량 (NRC, 1985)을 만족시키는 수준에서 공급하였다. 급여사료의 화학성분은 Table 1에 제시되어 있다. ESMS는 수분함량이 높은 사료이며, 벗짚과 비교해서 CP 함량은 1.9% 단위, crude ash 함량은 2.2% 단위 높았으며, NDF 함량은 9.2% 단위 낮았고, NDF의 대부분이 ADF로 구성되어 hemicellulose의 함량이 매우 낮은 특징이 있었다. 시험사료의 배합비와 화학성분은 Table 2에 제시되어 있다. ESMS를 급여함에 따라 CP, ash와 ADF 섭취량은 소폭 증가하고, NDF 섭취량

Table 1. Chemical composition of feedstuffs fed to sheep¹⁾

Item	Formulated feed	Rice straw	ESMS ²⁾
 %		
Dry matter	88.2	90.3	24.7
Organic matter	91.3	90.3	88.1
Ether extract	2.7	1.3	1.1
Crude protein	16.5	4.3	6.2
Neutral detergent fiber	34.3	75.5	66.3
Acid detergent fiber	17.6	49.3	64.0
Hemicellulose	16.6	26.2	2.3
Crude fiber	13.2	48.1	47.4
Nitrogen-free extracts	59.0	36.6	33.5
Crude ash	8.7	9.7	11.9

¹⁾ On a DM basis.

²⁾ Ensiled spent mushroom substrates (*Pleurotus osteratus*, bed-type cultivation).

Table 2. Ingredient and chemical composition of diets fed to sheep^{1),2)}

Item	Control	ESMS-25 ³⁾	ESMS-50 ⁴⁾
Ingredient composition (%)			
Formulated feed	50.0	50.0	50.0
Rice straw	50.0	37.5	25.0
ESMS		12.5	25.0
Chemical composition (%)			
Dry matter	89.3	81.1	72.9
Organic matter	90.8	90.5	90.3
Crude protein	10.4	10.6	10.9
Ether extract	2.0	1.9	1.9
Neutral detergent fiber	54.9	53.7	52.6
Acid detergent fiber	33.5	35.3	37.2
Hemicellulose	21.4	18.4	15.5
Crude fiber	30.7	30.6	30.5
Nitrogen-free extracts	47.8	47.4	47.0
Crude ash	9.2	9.5	9.7

¹⁾ On a DM basis.

²⁾ ESMS=ensiled spent mushroom substrate.

³⁾ 25% of rice straw was replaced with ESMS.

⁴⁾ 50% of rice straw was replaced with ESMS.

은 소폭 감소하였다.

각 시행은 대사를 적응기간 7일, 사료전환기 5일, 적응기간 14일, 시료채취기간 8일로 하였다. 시료채취 기간 동안에 사료급여량과 잔량을 기록하였으며, 분 및 뇨를 채취하였다. 24시간 간격으로 8일 동안 전량 채취한 분은 60℃ dry oven에서 48시간 건조 후 용기에 모아졌으며, 채취기간 종료 시에 철저히 혼합한 후 일정량을 채취하여 1mm 크기로 분쇄하여 분석에 이용하였다. 뇨는 24시간 간격으로 50% H₂SO₄ 15ml이 첨가된 플라스틱 용기 내에 수집하여, 총량을 측정 후 2% 해당량을 8일 동안 별도의 플라스틱 용기에 누적 채취하여 향후 분석을 위해 냉동 보관하였다. 채취된 고형 시료들은 밀봉 후 -20℃ 냉동 보관하였다.

면양의 행동 양상을 분석하기 위해서 각 시행의 시료채취기간에 24시간 동안 비디오(SCR-450, Samsung, Korea) 녹화를 하였다. 비디오 분석을 통하여 섭취시간(배합사료 + 조사료), 음수시간, 반추시간, 저작시간(섭취시간 + 반추시간), 휴식시간(앉아서 휴식 + 서서 휴식 + 수면) 등을 판독 하였다.

4. 물리 화학적 성분 분석

화학분석 시 시료는 65℃에서 48시간 건조 후 Sample Mill (Cemotec, Tecator, Sweden)을 이용하여 1 mm 크기로 분쇄하여 분석에 이용하였다. DM, CP (N × 6.25), EE, crude fiber (CF)는 AOAC(1990)의 방법에 따라, NDF와 ADF는 Van Soest 등 (1991)의 방법에 따라 분석하였다. Organic matter (OM)는 100-Ash 값으로, hemicellulose는 NDF-ADF 값으로, nitrogen-free

extract (NFE)는 100-(CF% + CP% + EE% + Ash%) 값으로 건물을 기준으로 하여 산출하였다. 면양대사실험에서 급여사료의 가소화영양소총량(TDN)은 [(가소화CP + 가소화EE × 2.25 + 가소화CF + 가소화NFE) / 건물섭취량 × 100] 값으로 하였다.

5. 통계 분석

모든 통계분석은 General Linear Model을 이용한 one way analysis of variance를 이용하여 실시되었다(Statistix7, 2000). *In situ* 반추위 소실율의 두 개 평균간 비교는 studentized-t test를 이용하여 분석하였다(Statistix7, 2000). *In vivo* 면양 대사실험의 평균간 비교는 orthogonal contrast를 실시하였으며(Statistix7, 2000), 비교는 대조구 대 ESMS-25와 ESMS-50; ESMS-25 대 ESMS-50으로 하였다.

결과 및 고찰

1. *In situ* DM, NDF 및 CP 소실율

균상재배 느타리버섯부산물 발효사료의 분획(fraction)별 *in situ* DM, NDF, CP 소실율은 Table 3에 제시되어져 있다. 발효 전 SMS의 수용성 DM 분획은 생균발효처리를 함에 따라 12.2% 증가(P<0.001) 되었으며, NDF 분획의 경우 가소화성 NDF 분획은 12.3% 증가되었다(P<0.001). 이는 생균발효과정에서 당밀 5%(건물기준), 유산균과 효모 0.5%(원물기준)를 첨가하여 자체적인 수용성 DM이 높아진 점과 혐기발효 과정에서 생성된 유기산(Kwak, 2009)과 발효균들에 의해 세포벽물질이 연화 혹은 파괴되어 반추위 미생물에 의해 이용성이 높아진 것(이 등, 2003) 때문으로 판단된다. Nsereko 등(2008)과 Aksu 등(2004)은 silage 제조과정에서 유산균을 접종하게 되면, 세포벽 구성물질 분해에 관련된 ferulate esterase와 같은 효소들이 분비되어 발효물의 *in situ* NDF 소화율이 개선된다고 보고한 바 있다.

단백질분획의 경우 수용성 분획은 생균발효처리에 의해 감소하였으며(P<0.05), 상대적으로 비수용성이면서 분해가 가능한 단백질 분획이 증가한 것으로 나타났다.

균상재배 느타리버섯부산물발효사료의 시간대별 *in situ* DM, NDF, CP 소실율은 Table 4에 제시되어져 있다. 생균발효처리되는 DM과 NDF의 모든 시간대별 소실율을 향상시켰다(P<0.05). 생균 발효과정에서 당밀첨가가 SMS DM 중 수용성 분획의 비율을 높게 하였으며(P<0.005), 이로 인해 배양 0시간에서 높은 소실율을 보였고, 지속적으로 모든 배양시간에서 소실율이 높게 나타났다. 반추위 배양 24시간에서의 NDF 소실율은 ESMS가 높았고(P<0.05), 배양 48, 72시간에서도 지속적으로 ESMS가 높았다(P<0.05). 시간대별 SMS와 ESMS의 NDF 소실율 차이 또한 5.7~8.2% 포인트 범위였다. 이는 생균발효처리에 의해 배양 24시간 이전에서의 NDF 소실율이 개선되는 것으로 판단된다. CP 소

Table 3. Effect of the microbial ensiling on *in situ* fractions of DM, NDF and CP in spent mushroom substrates¹⁾

Item	SMS ²⁾		SE	P value
	Raw	Ensiled		
Dry matter fractions(%)				
Water-soluble and 45µm filterable	37.6	42.2	1.0	0.0002
Insoluble degradable	30.7	31.9	1.4	0.4514
Non-degradable	31.6	25.9	0.6	0.0001
NDF fractions(%)				
Digestible	60.8	68.3	0.5	0.0001
Non-digestible	39.2	31.7	0.5	0.0001
CP fractions(%)				
Water-soluble and 45µm filterable	54.3	50.2	0.7	0.0486
Insoluble degradable	9.8	12.2	2.0	0.3251
Non-degradable	36.0	37.6	0.8	0.1038

¹⁾ Least square means of 4 observations.

²⁾ Spent mushroom substrate (*Pleurotus osteratus*, bed-type cultivation).

Table 4. Effect of the microbial ensiling on *in situ* ruminal disappearances of spent mushroom substrates^{1),2)}

Incubation time, hr	SMS ³⁾		SE	P value
	Raw	Ensiled		
DMD (%)				
0	37.6	42.2	1.0	0.0035
24	56.4	62.4	0.7	0.0017
48	65.9	69.3	0.8	0.0041
72	68.4	74.1	0.6	0.0002
NDFD (%)				
24	46.9	55.1	2.4	0.0399
48	58.2	63.9	1.2	0.0028
72	60.8	68.3	0.5	0.0001
CPD (%)				
0	54.3	50.2	1.7	0.0486
24	59.3	59.0	1.1	0.8297
48	63.0	58.8	1.5	0.0327
72	64.0	62.4	0.8	0.1038

¹⁾ Means of 4 observations.

²⁾ DMD = dry matter disappearance; NDFD = neutral detergent fiber disappearance; CPD = crude protein disappearance.

³⁾ Spent mushroom substrate (*Pleurotus osteratus*, bed type cultivation).

실율은 배양 0시간에서 ESMS가 낮았으나(P<0.05), 배양 72시간에서는 유의적 차이가 없었다. 이는 전술한 바와 같이 생균발효과정에서 당밀 첨가 및 미생물작용에 의해 수용성분획이 감소하고 비수용성이면서 분해가 가능한 단백질 분획이 증가하였기 때문이다 (Table 3 참조).

2. 면양체내 영양소 소화율

처리구별 영양소 소화율은 Table 5에 제시되어져 있다. 볏짚을 ESMS로 대체하여 급여한 처리구의 조단백질과 섬유소(NDF, ADF, CF)의 소화율은 감소하였다(P<0.05). 이는 ESMS의 조단

Table 5. Apparent nutrient digestibility of the different diets fed to sheep¹⁾

Item	Control (A)	ESMS-25 (B)	ESMS-50 (C)	SE	Significance of contrast	
					A vs. (B+C)	B vs. C
Apparent digestibility (%)						
Dry matter	58.4	58.1	56.6	1.0	0.2370	0.1467
Organic matter	63.6	63.0	60.9	1.0	0.0842	0.0607
Crude protein	64.4 ^a	60.2 ^b	55.5 ^c	1.4	0.0001	0.0047
Ether extract	83.3	83.2	83.8	1.8	0.9270	0.7527
Neutral detergent fiber	56.9 ^a	54.5 ^b	52.1 ^b	1.4	0.0088	0.1033
Acid detergent fiber	53.7 ^a	50.0 ^b	47.4 ^b	1.5	0.0014	0.0910
Hemicellulose	62.1	62.7	63.5	1.5	0.4480	0.5989
Crude fiber	59.3 ^a	56.4 ^b	55.4 ^b	1.7	0.0324	0.5426
Nitrogen free extracts	66.8	67.0	64.7	1.8	0.5459	0.2272
Crude ash	7.6 ^a	11.2 ^b	16.7 ^c	1.7	0.0006	0.0058
TDN ²⁾ (%)	60.4 ^a	58.7 ^b	56.9 ^b	1.1	0.0163	0.1221

¹⁾ Means of 6 observations.

²⁾ Total digestible nutrients.

^{a,b,c} Means with different superscripts within the same row are significantly different ($P < 0.05$).

백질과 섬유소의 소화율이 볏짚보다 떨어지는 것에 기인한다. 특히, 조단백질소화율의 경우, 볏짚 25% 및 50%를 ESMS로 대체함에 따라 대조군 보다 각각 6.5%, 13.8% 감소하였다. 전술한 *in situ* 반추위 소실을 실험에서, SMS를 생균발효처리함에 따라 DM 및 NDF 소실이 높아져 ($P < 0.01$) 사료적 가치가 개선되었으나, *in vivo* 면양 대사실험에서 사료의 가소화영양소총량(TDN)은 볏짚을 ESMS로 대체함에 따라 유의적으로 감소하였다 ($P < 0.05$). 따라서 버섯 폐배지에 생균발효처리를 함으로써 사료적 가치를 개선할 수는 있었으나, 볏짚 이상으로 개선시키지는 못하였다. 한편, ESMS를 급여함에 따라, 조희분 소화율은 증가되는 것으로 나타났다 ($P < 0.01$). Ashmead (1993)은 무기태 보다 유기태 광물질의 체내 흡수율이 높다고 하였고, Suhajda 등 (2000)은 yeast 생산용 배지에 무기태 광물질을 첨가하면 yeast 체내로 흡수되어 이용성이 높은 유기태 광물질로 전환될 수 있다고 하였다. Weinberg 등(2008)은 당밀이 yeast의 성장에 도움이 된다고 하였다. Suhajda 등 (2000)과 Ashmead (1993) 그리고 Weinberg 등 (2008)의 연구를 종합해보면, ESMS의 무기태 광물질들은 30일 동안의 혐기발효과정에서 상당부분 유기태로 전환되어 면양체내 이용성이 개선된 것으로 추측된다. 면양에게 급여된 배합사료의 TDN을 77%라고 가정하였을 때, 볏짚은 41%, ESMS는 31%로 산출되어 ESMS는 볏짚 대비 76% 수준의 에너지를 가지고 있는 것으로 계산된다. 에너지원 보다는 조사료원으로서 기존 조사료를 일부 대체 하는 목적으로 이용되어야 할 것이다.

3. 면양 체내 nitrogen balance

ESMS 급여에 따른 체내 질소 균형은 Table 6에 제시되어져 있다. 질소 섭취량은 ESMS 급여비율이 높아질수록 많아졌다. 전술한 바와 같이, ESMS의 조단백질 소화율이 볏짚에 비해 낮음으로 분뇨로의 질소 배출량은 ESMS 급여 비율이 높아질수록 많아졌으며 ($P < 0.01$), 체내 흡수량은 줄어들었다. 이는 고 등 (1996)과 곽 등(2004)의 연구에서 질소의 섭취량이 증가하게 되면 질소 흡수량 또는 분뇨로의 질소 배출량이 증가한다는 보고와 일치한다. ESMS 급여에 따라 면양체내 질소 축적율은 차이가 없었는데, ESMS를 급여함에 따라 질소 섭취량은 증가한 반면 질소 소화율은 감소되었기 때문으로 판단된다. 결과적으로, 볏짚을 ESMS로 25~50% 대체하여 급여 시 체내 질소축적율에는 별다른 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

4. 면양의 일일 행동 양상

면양의 일일 행동 양상은 Table 7에 제시되어져 있다. 볏짚을 ESMS로 대체하여 급여함에 따라 반추시간은 감소하고 ($P < 0.01$), 휴식 특히 수면시간은 증가하였다 ($P < 0.02$). 볏짚 대체 비율이 25%에서 50%로 증가하여도 섭취, 반추, 휴식 등 행동패턴에는 유의한 영향을 미치지 않았다 ($P > 0.05$). Erdman (1988)과 Mertens (1997)은 저작 및 반추시간은 사료의 입자도에 영향을 받는다고 하였으며, 비육우 NRC (2000)에서는 건물대비 유효섬유소 (eNDF)

Table 6. Nitrogen balance of sheep fed the different diet¹⁾

Item	Control (A)	ESMS-25 (B)	ESMS-50 (C)	SE	Significance of contrast	
					A vs. (B+C)	B vs. C
Intake, g/d	14.2 ^a	14.5 ^b	14.8 ^c	0.1	0.0001	0.0001
Excretion, g/d						
Fecal	5.2 ^a	6.0 ^b	6.6 ^c	0.2	0.0001	0.0040
Urinary	6.5	5.6	5.8	0.5	0.0780	0.7090
Total	11.7	11.7	12.4	0.4	0.3440	0.1148
Absorption, g/d	9.0 ^a	8.4 ^b	8.2 ^b	0.2	0.0003	0.1628
Retention						
g/d	2.5	2.8	2.4	0.4	0.7842	0.3543
% intake	17.7	19.5	16.3	3.0	0.9511	0.2976
% absorbed	28.0	33.5	29.3	5.2	0.4664	0.4270

¹⁾ Means of 6 observations.

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

Table 7. Behavior pattern of sheep fed the different diets¹⁾

Item	Control (A)	ESMS-25 (B)	ESMS-50 (C)	SE	Significance of contrast	
					A vs. (B+C)	B vs. C
..... min/day						
Eating time	71.0	66.0	53.0	8.3	0.1455	0.1532
Ruminating time	358.8 ^a	234.8 ^b	276.5 ^b	37.1	0.0106	0.2891
Stand	35.5	18.0	18.0	10.4	0.0838	1.0000
Sit	323.3 ^a	216.8 ^b	258.5 ^b	32.3	0.0135	0.2279
Drinking time	2.3	1.8	6.8	2.7	0.4163	0.0982
Resting time	1,008.0 ^a	1,137.5 ^b	1,103.8 ^b	39.9	0.0099	0.4201
Stand	249.8	223.8	267.3	32.7	0.8842	0.2167
Sit	370.5	419.8	413.0	31.7	0.1292	0.8362
Sleeping	387.8 ^a	494.0 ^b	423.5 ^b	26.7	0.0134	0.0270
Chewing time	788.5 ^a	535.5 ^b	606.0 ^b	76.0	0.0090	0.3766

¹⁾ Means of 4 observations.

^{a,b} Means with different superscripts within the same row are significantly different (P<0.05).

의 비율이 20% 이하가 되면 반추위 미생물 성장 및 섬유소 소화율이 직선으로 감소한다고 하였으며, eNDF의 비율을 25% 이상으로 유지하는 것이 이상적이라고 하였다. 본 면양대사실험에서 볏짚으로부터 섭취한 건물대비 eNDF 섭취량은 대조구, ESMS-25, ESMS-50구가 각각 37.8%, 28.3%, 18.9%이었다. ESMS의 입자도는 0.6 mm 수준으로 Sniffen 등(1992)이 제시한 eNDF 기준인 1.18 mm 보다 작아 면양에게 볏짚을 대체하여 급여하였을 때, 반추시간은 감소되었다(P<0.05). ESMS는 면양의 반추행동을 유발하는 효과는 볏짚보다 낮은 것으로 나타났다. ESMS를 반추동물의 사료로 활용 시 전체 사료의 eNDF 수준을 NRC (2000)에서 권장

하는 적정 범위로 하여 ESMS의 급여비율을 산출하는 것이 필요하다.

결론

균상재배 느타리버섯부산물은 볏짚과 비교해서 단백질 함량은 높고, NDF 함량은 낮으며, 체내 단백질 소화율과 섬유소 소화율은 낮은 특징이 있었다. 버섯부산물에 생균발효처리를 함에 따라 DM과 NDF의 동물체내 이용성은 뚜렷하게 향상되었다. 균상재배 느타리버섯부산물은 에너지원(TDN) 기준으로 볏짚의 76%에 해당

하는 사료적 가치를 가지고 있었다. 따라서 볏짚 대체 급여량이 증가 할수록 동물 생산성은 줄어들 것으로 예측되며, 유지목적의 반추동물(특히 번식 성숙)의 조사료원으로서 적합할 것으로 사료된다. 향후 반추동물 사양실험을 통하여 기호성 평가와 동물생산성 평가에 대한 추가 연구가 필요하다.

요 약

본 연구는 균상재배 느타리버섯부산물(SMS)의 반추동물 조사료원으로서의 가치를 평가하기 위하여 *in situ* 반추위 소실을 및 면양을 이용한 *in vivo* 영양소 소화율, 체내 질소이용성 및 섭취행동 패턴을 평가하였다. SMS에 당밀 5%(w/w, 건물기준), 유산균(*Lactobacillus plantarum*) 0.5%(v/w) 그리고 효모(*Saccharomyces cerevisiae*) 0.5% (v/w)를 첨가하여 30일간 혐기발효 시킨 후 반추위캐놀라가 장착된 평균체중 620 kg Holstein 육우 2두를 이용하여 *in situ* 소실율을 평가하였다. 면양대사실험은 평균체중 48kg의 숫 면양 6두 이용하여 3×3 라틴방각법으로 하였다. 대조구는 볏짚 100%를, 처리구는 볏짚의 25%와 50%를 생균발효 SMS로 각각 대체 급여하였다. 균상재배 버섯부산물의 반추위 *in situ* DM 및 NDF 이용성은 생균발효처리에 의해 개선되었다(P<0.001). 생균발효 SMS를 볏짚의 25% 및 50% 대체하여 면양에게 급여하였을 때, 단백질과 섬유소(NDF, ADF, CF) 소화율은 감소하였으나(P<0.05), 조회분 소화율은 증가하였으며(P<0.001), 면양체내 단백질 축적량은 차이가 없었다(P>0.05). 볏짚을 생균발효 SMS로 대체 급여함에 따라 면양의 반추시간은 평균 28% 감소하였다(P<0.05). 생균발효 SMS는 볏짚의 76% 수준의 에너지를 보였다. 결과적으로, 균상재배 느타리버섯부산물은 유지목적의 반추동물 조사료원으로서 보다 적합한 것으로 사료되었다.

인 용 문 헌

Aksu, T. E. and Bolat, B. D. 2004. Effects of a bacterial silage inoculant on corn silage fermentation and nutrient digestibility. *Small Ruminant Research* 55(1-3):249-252.

AOAC. 1990. Official Methods of Analysis, 14th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, D. C., USA.

Ashmead, H. D. 1993. The role of Amino Acids Chelates in Animal Nutrition. Noyes Publications. New Jersey.

Edrman, R. A. 1988. Dietary buffering requirements of the lactating dairy cow : a review. *J. Dairy Sci.* 71:3246-3266.

Gao, L., Yang, H., Wang, X., Huang, Z., Ishii, M., Igarashi, Y. and Cui, Z. 2008. Rice straw fermentation using lactic acid bacteria. *Bioresource Technology* 99:2742-2748.

Krehbiel, C. R., Rust, S. R., Zhang, G. and Gilliland, S. E. 2003. Bacterial direct-fed microbials in ruminant diets : performance responses and mode of action, *J. Anim. Sci.* 81(2):120-132.

Kwak, W. S., Kim, Y. I., Seok, J. S., Oh, Y. K. and Lee, S. M. 2009. Molasses and microbial inoculants improve fermentability and silage quality of cotton waste-based spent mushroom substrate. *Bioresource Technology* 100:1471-1473.

Mertens, D. R. 1997. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80:1463-1481.

National Research Council. 1985. Nutrient requirements of sheep. 6th rev. ed., National Academy Press, Washington, D. C., USA.

National Research Council. 2000. Nutrient requirements of beef cattle. 8th rev. ed., National Academy Press, Washington, D. C., USA.

Nocek, J. E. 1985. Evaluation of specific variables affecting *in situ* estimates of ruminal dry matter and protein digestion. *J. Anim. Sci.* 60:1347-1358.

Nsereko, V. L., Smiley, B. K., Rutherford, W. M., Spielbauer, A., Forrester, K. J., Hettlinger, G. H., Harman, E. K. and Harman, B. R. 2008. Influence of inoculating forage with lactic acid bacterial strains that produce ferulate esterase on ensilage and ruminal degradation of fiber. *Animal Feed Science and Technology* 145(1-4):122-135.

Ørskov, E. R., Hovell, F. D. and Mould, F. 1980. The use of the nylon bag technique for the evaluation of feedstuffs. *Tropical Animal Production* 5:195-213.

Smith, L. W., Goering, H. K., Waldo, D. R. and Gordon, C. H. 1971. *In vitro* digestion rate of forage cell wall components, *J. Dairy Sci.* 54:71-79.

Sniffen, C. J., O'Connor, J. D., Van Soest, P. J., Fox, D. G. and Russell, J. B. 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. II. Carbohydrate and protein availability. *J. Anim. Sci.* 70:3562.

Statistix7. 2000. User's Manual. Analytical Software, Tallahassee, FL, USA.

Suhajda, A., Hegóczki, J., Janzso, B., Pais, I. and Vereczkey, G. 2000. Preparation of selenium yeasts I. Preparation of selenium-enriched *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of Trace Elements in Experimental Medicine*, 14, 43-47.

Van Soest, P. J., Robertson, J. B. and Lewis, B. A. 1991. Methods of dietary fiber, neutral detergent fiber, nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3583.

Weinberg, Z. G., Chen, Y. and Weinberg, P. 2008. Ensiling olive cake with and without molasses for ruminant feeding, *Bioresource Technology* 99:1526-1529.

Yang, S. Y., Ji, K. S., Baik, Y. H., Kwak, W. S. and McCaskey, T. A. 2006. Lactic acid fermentation of food waste for swine feed. *Bioresource Technology* 97:1858-1864.

고영두, 류영우, 강한석, 김재황, 유성오, 강경록. 1996. 옥수수-산란계분 silage의 면양체내 소화율과 질소출납 및 반추위 성장에 관한 연구. *한*

- 국동물자원과학회지 20(5):453-458.
- 곽완섭, 백용현, 지경수. 2004. 퇴적발효 육계분의 조사료적 가치 평가. 한국동물자원과학회지 46(2):201-208.
- 김영일, 배지선, 정세형, 안문환, 곽완섭. 2007. 버섯폐배지의 발생량 조사 및 새송이, 느타리, 팽이 버섯 폐배지의 버섯종류별과 재배방식별의 물리화학적 특성평가. 한국동물자원과학회지 49(1):79-88.
- 이덕윤, 고종렬, 최낙진, 이상석, 송재용, 이세영, 박성호, 성하균, 하종규. 2003. 유형별 완전혼합사료 급여가 만추위내 발효성상 및 영양소 소화율에 미치는 영향. 한국동물자원과학회지 45(5):805-812.
- (접수일자 : 2010. 2. 17 / 수정일자: 2010. 4. 14 / 채택일자 : 2010. 4. 15)