

복합생균제 첨가가 버섯부산물의 화학적 성분 변화와 발효 저장성에 미치는 영향

김영일 · 석준상 · 곽완섭

건국대학교 자연과학대학 생명자원환경과학부 축산학전공

Effect of Mixed Microbes Addition on Chemical Change and Silage Storage of Spent Mushroom Substrates

Young Il Kim, Joon Sang Seok and Wan Sup Kwak

Animal Science, School of Life Resource and Environmental Sciences, College of Natural Sciences, Konkuk University, Danwol-dong 322, Chung-Ju, Chung-Buk, 380-701, Korea

ABSTRACT

This study was conducted to evaluate effects of mixed microbes addition on physico-chemical, fermentative and microbial parameters of sawdust-based spent mushroom substrates (SMS). The SMS was inoculated with mixed microbes (*Enterobacter ludwigii*, *Bacillus cereus*, 2 strains of *Bacillus subtilis*, *Saccharomyces cerevisiae* and *Lactobacillus plantarum*) at 1% level (wet basis) and anaerobically fermented during the different periods (up to 8th week). Compared with the SMS before ensiling, the ensiled one had higher CP, NDF and ADF percentages and lower DM and NFC percentages. However, levels of change were very low. The *in situ* ruminal disappearance of SMS DM and NDF decreased with the ensiling period prolonged. For fermentative parameters, pH reduced and lactic acid contents increased after ensiling, compared with those after ensiling. At 8th week of ensiling, pH increased and lactic acid contents reduced again, compared with those at 4th week of ensiling; however, the silage still showed favorable fermentation status. Lactic acid bacteria counts did not change throughout 8 weeks of ensiling. Counts of total microbes and yeast reduced after 4th week of ensiling period. Counts of lactic acid bacteria and yeast at 8th week of ensiling were in the levels of 10⁸ cfu/g. These results indicate that anaerobic fermentation with microbial addition could be an effective way for the long term (8 weeks) storage of the SMS.

(Key words : Spent mushroom substrate, Spent mushroom compost, Silage, Storage, Feed)

I. 서 론

우리나라 버섯부산물 발생량은 연간 최소 167만 M/T 정도이며, 이 중 약 58%인 97만 M/T 정도는 가축사료로의 이용이 가능한 것으로 보고되었다(김 등, 2007a). 이 중 병재배 방식에 의해 발생하는 버섯부산물은 68%로서 가

장 많은 비율을 차지한다.

배출되는 버섯부산물은 수분 함량이 60% 이상으로 매우 높아 곰팡이 및 세균에 의해 쉽게 오염된다(김 등, 2007a). 버섯부산물은 보통 퇴적 저장할 경우 2~3일 후에는 부패하기 시작하며, 1주일 후에는 해로운 푸른곰팡이가 많이 발생하게 된다(Kwak 등, 2008). 이와 같이 부

본 연구는 2007년도 건국대학교 학술진흥연구비 지원에 의한 논문임.

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

폐가 쉬운 버섯부산물을 가축 사료로 효과적으로 활용하기 위해서는 저장성 증진 방안이 필수적으로 모색되어야 한다.

전통적으로 발효는 유기물의 부패를 방지하고, 경제적으로도 유용한 영양물질로 전환시켜 준다. 버섯부산물을 혐기발효 시키면 발효 3주 경과 시에도 곰팡이 발생이 억제되었다고 보고 (Kwak 등, 2008)한 바 있다.

반추동물 사료에 direct-fed microbials (DFM 또는 probiotics)의 첨가 시 이로온 효과는 Krehbiel 등 (2003)의 review 논문에도 잘 나타나 있다. 또한 DFM 접종은 질류의 사일리지 특성 향상에 효과 있는 것으로 보고되었다 (Gao 등, 2008). 정 등 (2003), 양 등 (2001)은 xylanase와 CMCase (carboxymethyl cellulase, Endo- β -1,4-glucanase)의 활력이 높은 균주를 이용하여 probiotics로 활용하면 효과가 있다고 하였다. 김 등 (2007c)은 CMCase와 xylanase의 활력이 높은 균주를 버섯부산물에서 분리 동정하여 버섯부산물에 재접종 후 퇴적발효 시켜 면양에게 급여하였을 때 영양소 소화율 개선 효과가 있다고 하였다.

따라서 본 연구에서는 병재배 방식에서 발생되는 톱밥주원료의 버섯부산물의 저장성 향상을 목적으로 복합생균제를 버섯부산물에 접종하여 현장규모로 혐기발효 시 발효기간에 따른 물리화학적 성분, 발효 및 미생물 성장 등의 변화를 구명하고자 실시하였다.

II. 재료 및 방법

1. 발효사료 제조

실험에 사용된 버섯부산물은 새송이버섯 병재배 과정에서 발생된 부산물로서 톱밥 49%, 미강 32%, 옥공이 (corn cob) 19%로 조성되었다. 1톤 트럭으로 운송된 버섯부산물은 가로, 세로 각 20 mm의 체를 이용하여 자실체부산물 (버섯뿌리부분)을 제거한 후 실험에 사용하였다. 버섯부산물로부터 CMCase 및 xylanase의 활력이 높아 분리 동정한 4균주인 *Enterobacter ludwigii* KU201-3, *Bacillus cereus* KU206-3,

Bacillus subtilis KU3, *Bacillus subtilis* KU201-7 (김 등, 2007c)와 *Saccharomyces cerevisiae*, *Lactobacillus plantarum*을 사전 배양하여 버섯부산물 (1 톤 규모)의 1% 수준 (원물기준)에서 접종하였다. 이때 *Enterobacter*와 *Bacillus*는 12시간 배양하였으며, *Lactobacillus*는 24시간, *Saccharomyces*는 48시간 배양하여 최적의 활력을 보일 때 접종하였다. 접종이 완료된 버섯부산물을 24시간 퇴적 저장하였으며, 퇴적 저장 전·후로 시료를 5반복으로 채취하였다. 퇴적 저장 후 버섯부산물은 비닐로 이중 포장하여 25 kg들이 배합사료 종이포대 내에 밀봉하였다. 이때 대표적 시료 채취를 위하여 철저히 혼합된 부산물을 dacron bag (가로 10 cm × 세로 23 cm, 45 μ m pore size)에 담은 후 nylon bag (가로 28 cm × 세로 66 cm, 1 mm² pore size)에 5개씩 (5반복) 넣어 중앙부위에 삽입 후 밀봉하였다. 3일, 1주차, 2주차, 4주차, 8주차별로 채취된 시료는 아이스박스에 넣어 신속하게 실험실로 운송 후 미생물 수 및 pH를 측정하였다. 또한 시료 채취 시 외관적 색, 냄새, 곰팡이 발생정도 등을 관찰 기록하였다. 향후 화학적 성분, 발효 성상을 분석하기 위하여 -20 $^{\circ}$ C 냉동실에 저장, 보관 하였다.

2. 물리 화학적 성분 분석

분석을 위하여 시료는 해동하여 65 $^{\circ}$ C dry oven에서 48시간 건조 후 Sample Mill (Cemotec, Tecator, Sweden)을 이용하여 1 mm 크기로 분쇄하여 분석에 이용하였다. 건물, 조단백질, 조지방은 AOAC (1990)의 방법에 따라, 중성세제불용성섬유소, 산세제불용성섬유소는 Van Soest 등 (1991)의 방법에 따라 분석하였다. 비섬유성 탄수화물은 100-(중성세제불용성섬유소% + 조단백질% + 조지방% + 조회분%) 공식에 의해 구했다. 순단백질은 5% trichloroacetic acid 용액에서 침전되는 양으로, 비단백태질소화합물은 조단백질에서 순단백질을 뺀 양으로 구하였다.

3. In situ darcon bag 실험

In situ 실험은 반추위 cannula가 장착된 평균

체중 626 kg의 홀스타인 젖소 2두를 이용하여 실시하였다. 실험동물에게는 일일 배합사료 4 kg과 라이짚(Perennial ryegrass, straw) 5 kg을 각각 급여하였으며, 물은 자유 섭취하도록 하였다. 시료는 Thomas Whitley Mill (Thomas Scientific, Model4, New Jersey, USA)로 분쇄한 후 실험용 체(체경 100 μm)로 체질한 후 100 μm 이상의 입자도를 가진 시료를 분석에 활용하였다. 시료는 공시축 당 2반복으로 총 4반복을 준비하였다. 실험용 dacron bag은 가로 세로 10 × 25 cm 크기였으며, 체경(pore size)은 45 μm 이었다. Nocek (1985)이 제시한 시료밀도 26 mg/cm² (wet basis)에 준하는 약 10 g을 dacron bag에 넣은 후 사료 급여 2시간 후 반추위 복방 부위에 bag을 넣고 72시간 동안 배양하였다. 배양이 완료된 bag을 꺼내어 흐르는 물에 24시간 동안 세척 후 60°C dry oven에서 48시간 건조하여 DM과 NDF를 분석하였다. 시료의 DM은 water soluble (45 μm filterable), insoluble digestible과 non-digestible 분획(fraction)으로 분류하였다(Armentano 등, 1986). NDF는 digestible과 non-digestible 분획(fraction)으로 분류하였다(Smith 등, 1971).

4. 발효 성상 분석

발효 성상의 지표로서 pH는 pH meter (HI 9321, Hanna Instrument, Portugal) 상에서 측정하였으며 Lactic acid는 Barker와 Summerson (1941)의 방법에 따라, water soluble carbohydrate (WSC)는 Dubois 등(1956)의 방법에 따라 UV spectrometer를 이용하여 측정하였다. 총 균수는 각각의 처리구별 시료를 15 g씩을 칭량하여 30 ml의 멸균수를 첨가하고 분쇄(Homogenizer, Heidolph diax 900) 하여 3배의 희석액을 제조하고 serial dilution 방식으로 10⁷까지 희석하였다. 희석 배수별 희석액을 0.1 ml씩 PCA (plate count agar), MRS (*Lactobacilli* agar), YM (yeast malt) 배지에 각각 접종 후 삼각병으로 골고루 spreading 하였다. 도말된 배지는 36°C에서 12시간 incubator (HK-IB157, 한국종합기기제작소, 한국)에서 배양하여 균수를 측정하였다.

5. 통계처리

통계분석을 위하여 General Linear Model Procedure (SAS, 1990)를 이용하였으며, 저장기간별 성분들의 평균값 비교를 위하여 Tukey's multiple range test (SAS, 1990)를 이용하였다. 모든 유의성은 P<0.05 수준에서 검정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 저장기간 중 물리, 화학적 성분 변화

원료로 이용된 버섯부산물은 톱밥과 같은 갈색을 띠고, 자실체 부산물을 일부 포함하고 있었으며, 버섯 특유의 향이 났다. 하루 동안의 퇴적 저장과정에서 내부온도는 46°C까지 상승하였다. 이때 백색부후균인 버섯균의 균사체가 퇴적물 표면에 약간 성장하는 것을 관찰할 수 있었으며, 회색곰팡이가 퇴적물 표면에 일부 발생하였다. 혐기저장 과정에서 비닐로 밀봉된 버섯부산물 상층부에 약간의 흰색곰팡이가 일부 발생 되었으나 이는 혐기포장과정에서 산소가 완전하게 제거되지 않아 초기에 약간의 버섯균이 성장한 것으로 사료된다. Caswell (1990)은 백색부후균인 버섯균사체는 단백질원이 될 수 있다고 하였다. 혐기저장과정에서 외형적 성상에는 큰 변화는 없었으나 저장기간이 늘어남에 따라 부산물의 색깔은 진갈색으로 변하였다.

병재배 버섯부산물의 저장기간별 화학성분 변화는 Table 1에 제시되어져 있다. 퇴적 및 혐기과정에서 저장기간이 늘어남에 따라 건물 함량은 감소하였고, 단백질 함량은 증가하였다. 발효에 따라 NPN의 비율은 증가하였는데 이는 발효미생물에 의한 단백질 분해 작용에 의한 것으로 판단되었다. NDF와 ADF는 혐기저장과정에서 소폭이지만 유의적으로 상승하였으며, 그 정도는 김 등 (2007a)이 보고한 수치와 비슷하였다. NFC와 같이 미생물에 의해 쉽게 이용되는 물질들은 발효저장과정에서 감소하였으며 (P<0.05), 난분해성물질들이 남아 상대적으로 NDF와 ADF의 비율이 증가된 것으로 판단된

Table 1. Changes in chemical composition of spent mushroom substrates according to the storage periods^{1),2)}

Item	Initial	Deep Stacked ³⁾	Ensiled					SE
			3d	1wk	2wk	4wk	8wk	
..... %								
Dry matter	35.1 ^a	34.6 ^{ab}	34.4 ^{bc}	34.2 ^{bc}	34.0 ^{bc}	34.2 ^{bc}	33.8 ^c	0.3
Crude ash	4.3	4.5	4.4	4.3	4.6	4.5	4.4	0.2
Organic matter	95.7	95.6	95.6	95.7	95.4	95.5	95.6	0.2
Crude protein(CP)	10.0 ^{cd}	10.0 ^{cd}	9.9 ^d	10.6 ^{bc}	10.5 ^{bcd}	10.9 ^{ab}	11.4 ^a	0.4
True Protein	76.1 ^a	66.9 ^b	66.8 ^b	54.5 ^c	58.5 ^{bc}	61.2 ^{bc}	57.4 ^c	4.3
Non-protein nitrogen	23.9 ^c	33.1 ^b	33.2 ^b	45.5 ^a	41.5 ^{ab}	38.8 ^{ab}	42.6 ^a	4.3
Ether extract	0.3 ^a	0.3 ^{ab}	0.2 ^b	0.2 ^{ab}	0.3 ^{ab}	0.2 ^b	0.3 ^{ab}	0.1
Neutral detergent fiber	78.2 ^c	77.8 ^c	80.7 ^{ab}	79.1 ^{bc}	80.6 ^{ab}	79.6 ^{abc}	81.6 ^a	1.1
Acid detergent fiber	63.3 ^b	66.6 ^a	66.5 ^a	67.0 ^a	66.0 ^{ab}	66.0 ^{ab}	68.6 ^a	1.4
Hemicellulose	14.9 ^a	11.2 ^b	14.3 ^{ab}	12.1 ^{ab}	14.6 ^a	13.6 ^{ab}	13.3 ^{ab}	1.7
Nonfibrous carbohydrate	7.2 ^{ab}	7.5 ^a	4.8 ^{bcd}	5.8 ^{abc}	4.1 ^{cd}	4.8 ^{bcd}	2.3 ^d	1.3

¹⁾ Dry matter basis.

²⁾ Means of 5 observations.

³⁾ Deepstacked for 1 day.

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

다. 김 등 (2007b)의 연구와 Adamovic 등 (1998)의 연구에서 버섯부산물의 섬유소 (NDF, ADF) 함량은 버섯 배양 전에 비해 난분해성 물질들의 비율이 상대적으로 증가하였다고 보고한 바 있다. 전반적으로 섬유소와 단백질 함량은 상승하였으나 ($P<0.05$), 그 변화폭은 크지 않았다. 폐면주원료의 버섯부산물을 미생물 처리한 후 1개월 동안 혐기발효시켰을 때도 화학성분의 변화폭은 매우 적었다 (Kwak 등, 2009).

2. *In situ* DM, NDF 소실율

버섯부산물의 DM 및 NDF fraction과 반추위 소실율은 Table 2에 제시되어져 있다. 혐기저장 기간에 따라 건물의 수용성 분획과 비수용성 분해성 분획은 유의적으로 감소하고 ($P<0.05$), 비 분해성 분획은 증가하였다 ($P<0.05$). NDF 또한 발효와 더불어 비 분해성 분획의 비율이 증가($P<0.05$) 하였다.

저장기간에 따른 건물 소실율(disappearance)

은 퇴적저장 및 혐기발효 시킴에 따라 유의적으로 감소하였다($P<0.05$). 이는 발효와 더불어 미생물에 의한 이용 가능한 영양소의 우선적 분해 현상에 기인하는 것으로 판단되었다. NDF 소실율은 퇴적 저장에 따른 차이는 보이지 않았으나($P>0.05$), 혐기저장 2주차에서는 유의적으로 감소하였다($P<0.05$). 이는 Table 1에서 제시한 바와 같이 저장기간에 따라 난분해성인 NDF와 ADF의 함량이 증가했으며($P<0.05$), 비교적 분해가 쉽게 되는 hemicellulose와 NFC 함량은 유의적으로 감소($P<0.05$) 함에 따른 예상된 결과였다. 배 등(2006)의 연구에서, 톱밥주원료 버섯부산물의 *in situ* 건물, NDF 소실율은 각각 24.9, 24.7%로 건물소실율은 본 연구와 비슷하였으나, NDF 소실율은 본 연구에서 훨씬 낮았다.

3. 발효성상 변화

병재배 버섯부산물 저장기간 중 발효성상 변화는 Table 3에 제시하였다. pH는 최초 4.7에서

Table 2. *In situ* fractions and ruminal disappearance of DM and NDF in spent mushroom substrates according to the storage periods¹⁾

	Initial	Deep stacked ²⁾	Ensiled					SE
			3d	1wk	2wk	4wk	8wk	
..... %								
Dry matter fractions								
Water solubles and 45 μ m filterable	13.3 ^a	11.7 ^b	10.7 ^{bc}	9.7 ^c	10.8 ^{bc}	10.3 ^{bc}	10.0 ^c	0.6
Insoluble digestible	10.1 ^a	9.4 ^{ab}	9.9 ^{ab}	7.5 ^{cd}	6.8 ^d	8.8 ^{abc}	8.2 ^{bcd}	0.7
Non-digestible	76.6 ^c	78.9 ^{bc}	79.4 ^b	82.8 ^a	82.4 ^a	80.9 ^{ab}	81.8 ^a	1.0
NDF fractions								
Digestible	17.0 ^a	15.1 ^{ab}	15.4 ^{ab}	12.5 ^{ab}	11.0 ^b	13.5 ^{ab}	13.3 ^{ab}	2.3
Non-digestible	83.0 ^b	84.9 ^{ab}	84.6 ^{ab}	87.5 ^{ab}	89.0 ^a	86.5 ^{ab}	86.7 ^{ab}	2.3
Disappearance								
DM	23.4 ^a	21.1 ^b	20.6 ^b	17.5 ^c	17.6 ^c	19.1 ^{bc}	18.2 ^c	1.0
NDF	17.0 ^a	15.1 ^{ab}	15.4 ^{ab}	12.5 ^{ab}	11.0 ^b	13.5 ^{ab}	13.3 ^{ab}	2.3

¹⁾ Least square means of 4 observations.

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

Table 3. Fermentation parameters of spent mushroom substrate according to the storage periods¹⁾

Item	Initial	Deep Stacked ²⁾	Ensiled					SE
			3d	1wk	2wk	4wk	8wk	
pH	4.73 ^a	4.29 ^d	4.47 ^c	4.58 ^b	4.47 ^c	4.53 ^{bc}	4.77 ^a	0.04
Lactic acid (%)	0.15 ^c	0.20 ^c	0.40 ^{ab}	0.44 ^a	0.44 ^a	0.35 ^{ab}	0.33 ^b	0.05
WSC (%)	0.60 ^a	0.55 ^a	0.54 ^{ab}	0.35 ^c	0.37 ^{bc}	0.69 ^a	0.67 ^a	0.09

¹⁾ Least square means of 5 observations.

²⁾ Deepstacked for 1 day.

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

혐기발효와 더불어 4.3~4.6 범위로 감소하였다 ($P < 0.05$), 8주째에는 4.8까지 재상승 하였다. pH 재상승은 발효 4주 이후부터는 유기산의 생성이 다소 둔화되었음을 의미한다. 유산은 최초 0.15%에서 발효와 함께 증가하여 ($P < 0.05$), 혐기발효 2주째에는 최초 보다 3배 정도 증가 하였다가, 이후 8주까지 서서히 하락하였다 ($P < 0.05$). WSC는 발효 1, 2주경과 시에 최초로 떨어졌다가 ($P < 0.05$), 이후 다시 최초 수준 이상으로 증가하였다 ($P < 0.05$). 이는 발효 초기에는 WSC 흡수 이용으로 발효미생물의 성장이 왕성

하였다가 발효 2주 이후부터 8주경과 시까지는 발효미생물에 의한 영양소 분해 작용이 더 활발하였음을 증명해주고 있다.

결과적으로 버섯부산물의 혐기 저장 시 발효 성상은 4주경과 시에도 유의적 차이가 없었고, 8주경과 시에는 유산 생성량의 감소 현상과 더불어 pH가 유의적으로 재상승 하였으나 여전히 5 이하 수준으로서 저장 상태는 양호한 편이었다. 일반적으로 발효사료의 적정 pH는 4~5 수준이며, pH 4 이하에서는 가축에 의한 발효 사료 섭취량이 감소하게 되고, pH 5 이상에서

Table 4. Change in microbial counts of spent mushroom substrate according to the storage periods¹⁾

Item	Initial	Deep Stacked ²⁾	Ensiled					SE
			3d	1wk	2wk	4wk	8wk	
..... Log ₁₀ cfu/g ³								
Total microbes	9.04 ^{ab}	8.38 ^{bc}	9.61 ^a	9.05 ^{ab}	8.67 ^{bc}	8.22 ^c	8.28 ^c	0.34
Lactic acid bacteria	8.97 ^a	8.52 ^{ab}	9.08 ^a	9.15 ^a	8.72 ^{ab}	8.10 ^b	8.67 ^{ab}	0.31
Yeast	8.96 ^{ab}	8.30 ^b	9.41 ^a	9.07 ^{ab}	8.99 ^{abc}	8.36 ^b	8.36 ^b	0.41

¹⁾ Least square means of 5 observations.

²⁾ Deepstacked for 1 day.

³⁾ Colony-forming unit per gram of wet sample.

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

는 병원성미생물에 의한 오염 가능성이 높아진다고 하였다(Lee 등, 2004). 비슷한 연구(Kwak 등, 2009)에서 폐면주원료 버섯부산물의 혐기발효 시 당밀과 미생물 접종은 발효특성을 향상시켰다는 보고는 본 연구 결과와 비슷하였다.

4. 균수변화

버섯부산물 저장기간 중 균수변화는 Table 4에 제시되어져 있다. 총균수, 유산균수 및 효모수는 퇴적 저장 과정에서는 발생하는 고온(평균 46°C)에 의해 급격하게 줄어들었다. 혐기저장이 시작되면서 총균수와 효모수는 혐기저장 3일차까지 유의적으로 상승하여 (P<0.05) 발효 전보다 높은 수치를 보였다. 유산균은 혐기저장 1주경과 시 10⁹ cfu/g 수준까지 가장 활발하게 성장하였으며, 이후 8주경과 시까지 유의적 차이는 없었다. 효모수는 혐기저장 4주경과 시에 유의적으로 감소하였다. 전반적으로 혐기저장 8주경과 시에도 유산균과 효모수는 모두 10⁸ cfu/g 수준으로서 여전히 양호한 수치를 보였다. 효모는 임의혐기성 (facultative anaerobic) 미생물이며, 생성된 유산과 유기산 활용 (Yang 등, 2006) 및 산소 소비 (Yoon과 Stern, 1995)를 통해 유산균의 성장에 이로운 환경을 제공해 준다는 점은 본 발효사료의 양호한 발효성상을 설명해줄 수 있을 것이다.

IV. 결 론

전반적으로 생균처리한 버섯부산물은 혐기발효에 따른 화학성분에 미치는 영향은 크지 않았다. 발효초기에 왕성한 미생물 성장 및 활동으로 쉽게 발효되는 물질 (readily fermentable materials)의 우선적 분해 작용이 일어나고, 그 결과 상대적으로 난분해성 물질의 비율이 증가하였다. 이러한 화학적 성분 변화는 발효 저장기간이 길어질수록 *in situ* 건물 및 NDF 반추위 소실율의 감소현상을 설명해주고 있다. 버섯부산물만을 영양원으로 하여 8주간 혐기저장하였을 때 유산균, 효모 등의 미생물수가 여전히 10⁸ cfu/g 수준을 보였음은 버섯부산물의 값싼 생균배지 (부형제)로의 이용가능성을 시사해주고 있다. 결과적으로 복합생균을 접종한 톱밥주원료 버섯부산물의 혐기발효는 장기간 (8주)의 저장을 가능하게 하였다.

V. 요 약

본 연구에서는 병재배 방식에서 발생하는 톱밥주원료 버섯부산물의 저장성 향상을 목적으로 복합생균제를 버섯부산물 (1톤 규모)에 접종하여 현장 혐기발효하였을 때 저장기간에 따른 물리화학적, 발효 및 미생물 성상에 미치는 변화를 추적하고자 하였다. 복합생균제 (*Enterobacter ludwigii* KU201-3, *Bacillus cereus*

KU206-3, *Bacillus subtilis* KU3, *Bacillus subtilis* KU201-7, *Saccharomyces cerevisiae*, *Lactobacillus plantarum*)를 버섯 부산물의 1% 수준(원물기준)에서 첨가하여 1일간 퇴적 저장 후 3일, 1주, 2주, 4주 그리고 8주간 혐기발효 시켰다. 버섯부산물은 혐기저장과정에서 CP, NDF, ADF 함량은 증가하였으며($P<0.05$), DM과 NFC의 함량은 감소하였으나($P<0.05$), 그 변화폭은 적은 편이었다. *In situ* 건물 및 NDF 반추위 소실율은 버섯부산물의 발효저장 기간이 길어짐에 따라 감소하였다. 발효성상에 있어서 발효 전과 비교해서 발효 후에는 pH가 감소하고, 유산 생성량은 2배 이상 증가하였다. 그러나, 4주경과 시와 비교해서 8주경과 시에는 pH가 다시 증가하였으나, 여전히 양호한 발효상태를 보여주었다. 유산균수는 발효 8주경과 시까지 유의적 차이가 없었고, 총세균수와 효모수는 4주째부터 감소하였다. 8주경과 시의 유산균과 효모수는 모두 10^8 cfu/g 수준이었다. 이러한 결과는 혐기발효와 복합생균제 처리는 버섯부산물의 장기간(8주) 저장에 도움이 되었음을 시사해 주고 있다.

VI. 인 용 문 헌

- Adamovic, M., Grubi, G., Milenkovic, I., Jovanovi, R., Proti, R., Sretenovi, L. and Stoievi, L. 1998. The biodegradation of wheat straw by *Pleurotus ostreatus* mushrooms and its use in cattle feeding. *Animal Feed Science Technology* 71:357-362.
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis, 14th Ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, D. C., USA.
- Armentano, L. E., Herrington, T. A., Polan, C. E., Moe, A. J., Herbein J. H. and Umstadt, P. 1986. Ruminant degradation of dried brewers grains, wet brewers granins and soybean meal. *J. Dairy Sci.* 69:2124-2133.
- Barker, S. B. and Summerson, W. H. 1941. The colorimetric determination of lactic acid in biological material. *J. Biol. Chem.* 138:535-554.
- Caswell, L. E. 1990. Fungal additives. *Feed Management*. April. 41(4):9-13.
- Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A. and Smith, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.* 28:350-356.
- 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(8):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:E120-E132.
- Kwak, W. S., Jung, S. H. and Kim, Y. I. 2008. Broiler litter supplementation improves storage and feed-nutritional value of sawdust-based spent mushroom substrates. *Bioresou. Technol.* 99(8): 2947-2955.
- Kwak, W. S., Kim, Y. I., Seok, J. S., Oh, Y. L., and Lee, S. M. 2009. Molasses and microbial inoculants improve fermentability and silage quality of cotton waste-based spent mushroom substrate. *Bioresou. Technol.* 100(3):1471-1473.
- Lee, K. S., Lee, K. Y., Oh, C. S., Lee, D. G. and Kim, Y. J. 2004. Effect of aeration for the probiotic feed production from food wastes by *Lactobacillus acidophilus* and *Saccharomyces cerevisiae*. *J. KOWREC.* 11(4):114-119.
- Nocek, J. E. 1985. Evaluation of specific variable affecting *in situ* estimates of ruminal dry matter and protein digestion. *J. Anim. Sci.* 60:1347-1358.
- SAS Institute, Inc., 1990. SAS User's Guide, Version 6.08, Fourth Ed., SAS Inst., Inc., Cary, NC. USA.
- 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.
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B. and Lewis, B. A. 1991. Methods of dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3582-3597.

16. 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. *Bioresou. Technol.* 97:1858-1864.
 17. Yoon, I. K. and Stern, M. D. 1995. Influence of direct-fed microbials on ruminal microbial fermentation and performance of ruminants: a review. *Asian Aust. J. Anim. Sci.* 8(6):533-555.
 18. 김영일, 배지선, 정세형, 안문환, 곽완섭. 2007a. 버섯폐배지의 발생량 조사 및 새송이, 느타리, 팽이 버섯 폐배지의 버섯종류별과 재배방식별의 물리화학적 특성평가. *한국동물자원과학회지.* 49(1):79-88.
 19. 김영일, 배지선, 허정원, 곽완섭. 2007b. 버섯의 봉지재배 및 병재배 시 재배단계별 배지의 사료 영양적 성분, 독성중금속 및 잔류농약 모니터링. *한국동물자원과학회지.* 49(1):67-78.
 20. 김영일, 정세형, 양시용, 허정원, 곽완섭. 2007c. 버섯부산물 퇴적발효 시 섬유소 분해균 접종이 섬유소 분해성 효소 활력과 면양의 영양소 이용성에 미치는 영향. *한국동물자원과학회지.* 49(5): 667-676.
 21. 배지선, 김영일, 정세형, 오영균, 곽완섭. 2006. 느타리, 새송이, 팽이버섯 폐배지의 반추동물 조 사료원으로서의 사료 영양적 가치평가. *한국동물 자원과학회지.* 48(2):237-246.
 22. 양시용, 송민동, 김언현, 김창원. 2001. Probiotics 용 복합효소 분비 *Bacillus* sp.의 분리 및 원료사료를 이용한 균주 생산을 위한 배지 조건의 최적화. *한국미생물생명공학회지.* 29(2):110-114.
 23. 정원형, 양시용, 송민동, 허중규, 김창원. 2003. Xylanase, Cellulase의 생산성이 높은 *Bacillus* sp.의 분리 및 효소생산을 위한 배지조건의 최적화. *한국미생물생명공학회지.* 31(4):383-388.
- (접수일자 : 2008. 8. 19. / 수정일자 : 2008. 11. 25. / 채택일자 : 2008. 12. 3.)