

버섯의 봉지재배 및 병재배 시 재배단계별 배지의 사료영양적 성분, 독성중금속 및 잔류농약 모니터링

김영일* · 배지선* · 허정원** · 곽완섭*

건국대학교 자연과학대학 생명자원환경과학부 축산학전공*, 경기도 보건환경연구원**

Monitoring of Feed-Nutritional Components, Toxic Heavy Metals and Pesticide Residues in Mushroom Substrates According to Bottle Type and Vinyl Bag Type Cultivation

Y. I. Kim*, J. S. Bae*, J. W. Huh** and W. S. 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*,
Kyonggi-do Institute of Health & Environment**

ABSTRACT

This study was carried out to monitor feed-nutritional components, toxic heavy metals (Cd, Pb and As) and pesticide residues through three cultivation stages (1st initial culture stage, 2nd mycelial growth stage, and 3rd fruit body-harvested stage) of king oyster mushroom (*Pleurotus eryngii*) produced by bottle type cultivation and oyster mushroom (*Pleurotus osteratus*) produced by vinyl bag type cultivation. For both cultivation types, compared with the initial culture, the weight reduction rate in spent mushroom substrates (SMS) after fruit body harvest was 29% for total wet mass, 21~25% for dry and organic matters and 19~22% for neutral detergent fiber. Two thirds to 3/4 of organic matter degraded and utilized by mycelia and fruit bodies was originated from fiber, of which the primary source (50~70%) was hemicellulose. The effect of mycelial growth stage on chemical compositional change in culture was little (P>0.05) for bottle type cultivation of king oyster mushroom but considerable (P<0.05) for vinyl type cultivation of oyster mushroom. Culture nutrients uptake by fruit bodies was very active for the bottle type cultivation. Compared with SMS, harvested fruit bodies (mushrooms) contained higher (P<0.05) crude protein, non-fibrous carbohydrate, and crude ash and lower (P<0.05) neutral detergent fiber. Regardless of stages, no culture samples were contaminated with toxic heavy metals and pesticide residues. In conclusion, the increase of fiber (neutral and acid detergent fibers) and indigestible protein contents and the decrease of true protein content in SMS indicated that the feed-nutritional value of SMS was significantly reduced compared with that of the initial culture and they were safe from toxic heavy metals and pesticide residues.

(Key words : Spent mushroom substrate, Spent mushroom compost, Mushroom, Byproduct, Recycling, Feed)

I. 서 론

배지로서 재배방식, 배지조성 및 버섯의 종류에 따라 성상이 다양하게 배출된다. 김 등 (2007)의 연구에서 버섯폐배지는 2004년에 167 버섯 폐배지는 버섯을 생산하고 남은 버섯의

*본 연구는 2006년도 건국대학교 학술진흥연구비 지원에 의한 논문임.

Corresponding author : 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

만 MT이 발생되었고 이 중 58% 정도가 느타리, 팽이, 새송이버섯에 의해 발생이 되며, 이들 폐배지는 가축에의 사료적 가치가 상대적으로 다른 버섯의 폐배지에 비해 높을 것으로 보고하였다.

버섯균의 성장은 버섯의 형태로 변화하기 이전의 단계인 균사체(mycelium) 단계와 버섯의 형태로 성장하는 자실체(fruit body) 단계로 구분된다. 버섯 재배 후 발생하는 폐배지의 사료화에 대한 연구는 국외적으로 지속적으로 수행되어 왔다. 특히 버섯의 일종인 백색부후균(white rot fungi)에 의한 lignocellulose의 분해에 관한 외국의 많은 연구(Mark 등, 1984; Manuel 등, 1990; Kannan와 Oblisami, 1990; Hadar 등, 1993; Andrew와 Anita, 1995; Tuomela 등, 2000; Makela 등, 2002)가 있었으며, 국내 연구에서도 균사체 배양 과정에서 균사체는 lignin과 cellulose 결합을 분해할 수 있다는 연구 보고(김과 김, 1993)와 톱밥에 표고버섯균 처리시 약 50% 정도의 lignin 분해 효과가 있었다는 연구 보고(윤, 1996) 등이 있었다. 뿐만 아니라 폐배지 단계에서는 버섯배지 단계에 비해 유리당과 단백질 함량이 증가하며, cellulose, lignin, ash의 함량은 감소한다는 보고(Rajathan과 Bano, 1989)를 고려하면 폐배지는 난분해성 물질들이 이미 분해되어 반추동물 사료로의 이용성 또한 버섯 배양전과 비교해서 증가하였을 것으로 판단할 수 있다. 저자들의 전 실험에서 균사체 및 자실체의 생육과정에서 배지내의 수용성 또는 분해성 물질들이 우선적으로 이용되어 상대적으로 난분해성인 물질들의 비율이 폐배지에 높아질 가능성이 관찰되었다. 따라서 이러한 논란에 대한 정확한 과학적 사실구명이 요구된다.

버섯폐배지의 가축사료로의 효과적 이용을 위해서는 사료안전성에 대한 평가가 우선적으로 요구된다. 최근에 _배지에 잔류 가능한 농약의 균사체에 의한 분해에 관한 연구(Baskaran 등, 1996; Mashphy 등, 1996; Kuo와 Regan, 1998; Ehlers 와 Rose, 2004) 버섯균에 의한 폐놀류의 분해에 관한 연구 보고(Semple 등, 1995; Martirani 등, 1996; Semple 등, 1998; Fermor 등, 2000; Staments 2001) 등에 의하면 버섯배지내

의 여러 유해물질들이 효과적으로 재배과정에서 분해되는 것으로 나타나고 있다. 그러나 우리나라에서는 이에 관한 연구 또한 미미한 실정이다. 이와 같이 버섯 재배방식별, 재배단계별로 배지의 화학 성분의 흐름(flow)을 추적하여 그 변화 양상을 정확히 구명하고, 사료 안전성을 평가함으로써 버섯폐배지의 가축 사료로의 효율적 이용을 증진시킬 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 새송이버섯 병재배방식과 느타리버섯 봉지재배방식의 재배단계별로 배지의 화학 성분의 흐름(flow)을 추적 구명하고, 배지에 잔존 가능한 독성 중금속과 잔류 농약으로부터의 안전성을 평가하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 실험설계 및 시료채취

본 실험은 재배방식별로 병재배방식은 충주시 노은면에 위치한 새송이버섯농장에서, 봉지재배방식은 충북 충주시 신니면에 위치한 느타리버섯농장에서 각각 50일과 31일의 재배기간 동안 시료채취를 실시하였다. 재배단계는 1단계 최초배지 혼합 후, 2단계 균사체 배양완료 후(병재배는 30일, 봉지재배는 25일), 3단계 자실체 생산 후(각각 병재배는 50일, 봉지재배는 31일)로 구성되었다. 최초배지의 원료 혼합비는 새송이버섯 병재배의 경우 톱밥 50%, 미강 20%, 콘코프 20%, 소맥피 10%였으며, 느타리버섯 봉지재배의 경우는 톱밥 39%, 면실피 37%, 면실파 12%, 비트펄프 12%였다. 재배방식별, 재배단계별 화학성분의 정확한 monitoring을 위하여 최초배지 제조 후 배지를 담은 용기에 배지 제조일자를 표기해두어 단계1, 2, 3 별로 같은 날짜에 제조된 배지가 채취되도록 하였다. 시료채취 시 재배단계별로 병(850cc들이) 또는 봉지(약 800cc들이)를 5반복으로 채취하여 아이스박스에 담아 실험실로 운반하였다. 운반된 배지는 병 및 봉지를 제거하여 순수한 배지의 무게만을 측정 후 분석 시까지 냉동보관 하였다. 새송이버섯 병재배의 배지 평균 무게는 단계 1, 2, 3 별로 각각 525.7, 530.8, 371.2 g 이었다.

느타리버섯 봉지재배의 배지 평균 무게는 단계 1, 2, 3 별로 각각 609.6, 610.4, 435.0 g 이었다. 자실체 생산 후의 시료 채취는 자실체를 생산하지 않은 상태로 실험실로 운반하여 자실체를 분리하여 폐배지와 자실체의 무게를 각각 측정 한 후 배지성분의 자실체로의 이행 정도를 정확히 monitoring 하고자 하였다. 새송이버섯 병재배의 자실체는 평균 78.4 g 이었으며, 느타리버섯 봉지배지의 자실체는 평균 136.2 g 이었다. 각 재배단계별 5개의 시료를 채취하여 30개의 단계별 시료와 10개의 자실체 시료를 채취하여 총 40개의 시료를 채취하여 분석에 이용하였다.

2. 화학분석

화학분석 시 시료는 105℃에서 24시간 건조 후 Sample Mill(Cemotec, Tecator, Sweden)을 이용하여 1 mm 크기로 분쇄하여 분석에 이용하였다. 건물, 조단백질(N×6.25), 조지방은 AOAC (1990)의 방법에 따라, neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber(ADF)는 Van Soest 등(1991)의 방법에 따라 분석하였다. 유기물은 100-조회분 값으로, hemicellulose는 NDF-ADF 값으로, 비섬유성탄수화물은 100-(NDF% + 조단백질% + 조지방% + 조회분%)의 공식에 의해 구하였다. 비소화성단백질(ADF-CP)은 산세제용액을 처리한 후 여과물의 조단백질을 측정하여 구하였다. 순수단백질은 5% trichloroacetic acid 용액에서 침전되는 양으로, non-protein nitrogen (NPN)은 조단백질에서 순수단백질을 뺀 양으로 구하였다. Lignin은 Van Soest 등(1991)의 방법에 따라 산세제용액 처리한 후 72% 농축 황산을 처리하여 회화과정을 통해 측정하였다.

광물질과 독성 중금속(Pb, Cd, As) 분석의 경우, 광물질과 Pb는 염산으로, Cd은 질산과 염산으로, As는 질산 및 황산으로 산처리 하여 Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer (ICP-OES 5300DV, Perkin Elmer, USA)를 이용하여 분석하였다.

동시다중분석법으로 실시된 잔류농약의 경우, 유기염소계 물질은 BHC, heptachlor, aldrin,

captan, endosulfan sulfate, dieldrin, endrin, captafol, tetradifon, cyhalothrin, permethrin, penconazole, cypermethrin, fenvalerate, tralomethrin, chlorothalonil, dicofol, folpet, DDD, DDT, bifenthrin, cyfluthrin, flucythrinate, fluvalinate, deltamethrin 등 총 30종을, 인계 물질은 methamidophos, acephate, ethoprophos, terbufos, etrimfos, chlorpyrifos-methyl, fenthion, chlorfenvinphos, vamidothion, carbophenothion, fensulfothion, phosmet, phorate, chlorpyrifos, parathion-methyl, fenitrothion, phenthoate, fenamiphos, ethion, edifenphos, dichlorvos, diazinon, omethoate, dimethoate, pirimiphos-methyl, malathion, parathion, isofenphos, methidathion, EPN 등 총 30종을, carbamate계 물질은 oxamyl, methomyl, aldicarb, propoxur, carbofuran, carbaryl, ethiofencarb, bendiocarb, methiocarb 등 총 9종을 분석하였고, 기타 ethylene dibromide계 물질과 thiabendazole계 물질을 분석하였다. 유기염소계, 인계, ethylene dibromide계 물질은 Gas Chromatography(6890 series, Hewlett Packard, USA)와 2종의 detector (ECD와 NPD, HP, USA)를 이용하여, carbamate와 thiabendazole계 물질은 High Performance Liquid Chromatography (Model 2475, Waters, USA)와 2종의 detector(2475와 2996, Waters, USA)를 이용하여 식약청의 식품공전(2001)에 제시된 방법에 따라 분석하였다. 검출 민감도는 유기염소계의 경우 0.1~0.5 ppb, 인계, carbamate와 ethylene dibromide계의 경우 1~10 ppb 범위에 속하였고, 회수율은 75~114% 범위에 속하였다.

3. 통계분석

통계 분석을 위하여 General Linear Model Procedure(SAS, 2002)를 이용하였으며, 버섯재배 단계별 평균간 비교를 위하여 Tukey's multiple range test를 이용하였다(SAS, 2002).

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 버섯 재배 단계별 화학성분의 flow

새송이버섯 병재배 방식의 재배단계별 화학

성분의 양적 변화는 Table 1에 제시되어져 있다. 균사체 배양 후의 배지(stage 2)는 최초 배지(stage 1)와 비교해서 화학 성분상 함량의 차이는 별로 없었고($P>0.05$), lignin과 조지방 함량만이 감소하였다($P<0.05$). 이는 새송이버섯 균사체는 배지의 섬유소(NDF, ADF) 분해에 별다른 영향을 미치지 않았음을 의미한다. 그러나 자실체 수확 후의 배지(stage 3)는 최초 배지와 비교해서 NPN 성분을 제외한 모든 화학 성분(유기물과 무기물)이 양적으로 현저히 감소하였다($P<0.05$). 이는 자실체인 새송이버섯이 성장과정에서 배지에 있는 영양성분을 활발히 분해 흡수하였음을 의미한다. 그리고 분해 흡수된 유기물량의 2/3는 섬유소(NDF)였으며, 이중 반 정도는 hemicellulose가 분해 이용된 것으로 나타났다. 또한 순수단백질은 분해되어 NPN 성분으로 유의적으로($P<0.05$) 전환된 것으로 나타났

다. 최초배지와 비교한 자실체 수확 후의 배지의 양적 감소 정도는 총무게는 29.4%, 건물은 24.6%, 유기물은 25.1%, NDF는 21.6%, ADF는 15.2%, hemicellulose는 38.2%, 비섬유성탄수화물은 33.4%, 조단백질 28.0%, 조지방 57.0%, 조회분은 11.7% 수준이었다. 따라서 성분상의 감소 정도는 조지방 > hemicellulose > 비섬유성탄수화물 > 조단백질 > 유기물 > 건물 > NDF > ADF > 조회분의 순으로 높았으며, 양적으로 가장 많이 분해 이용된 물질은 hemicellulose였다.

Lignin은 균사체 단계에서 36%, 자실체 단계에서 3%가 분해되었으며, 다른 연구에서도 백색부후균인 버섯균에 의해 lignocellulose가 분해된다고 보고한 바 있다(Hadar, 1993; Andrew와 Anita, 1995; Tuomela 등, 2000; Makela 등, 2002). 참고로, 버섯배지의 원료로 새송이버섯 병재배에 사용된 톱밥은 NDF 98.8, 조회분 3.0, 조단백질

Table 1. Change in chemical components(g) of mushroom(*Pleurotus eryngii*) substrates according to the stage of bottle type cultivation^{1), 2)}

Item	Mushroom cultivation stage			SE	Weight loss
	Stage 1 ³⁾	Stage 2 ⁴⁾	Stage 3 ⁵⁾		
 g				
Wet weight	525.7 ^a	530.8 ^a	371.2 ^b	25.8	154.5
Dry weight	188.2 ^a	178.3 ^a	141.9 ^b	8.1	46.3
Organic matter	180.5 ^a	170.9 ^a	135.1 ^b	7.8	45.4
Neutral detergent fiber	136.8 ^a	134.6 ^a	107.3 ^b	6.1	29.5
Acid detergent fiber	99.3 ^a	99.7 ^a	84.2 ^b	4.0	15.1
Hemicellulose	37.4 ^a	35.0 ^a	23.1 ^b	2.9	14.3
Lignin	49.3 ^a	31.3 ^b	30.0 ^b	4.8	19.3
Nonfibrous carbohydrate	21.6 ^a	19.6 ^a	14.4 ^b	1.8	7.2
Crude protein	13.6 ^a	12.6 ^a	9.8 ^b	0.7	3.8
True protein/CP	10.3 ^a	9.8 ^a	5.2 ^b	0.9	5.1
Non-protein N/CP	3.3 ^b	2.8 ^b	4.6 ^a	0.6	-1.3
ADF-CP/CP	5.1 ^a	5.2 ^a	4.2 ^b	0.3	0.9
Ether extract	8.6 ^a	4.0 ^b	3.7 ^b	0.8	4.9
Crude ash	7.7 ^a	7.4 ^{ab}	6.8 ^b	0.4	0.9

¹⁾ Means of 5 observations.

²⁾ Dry basis except for wet weight.

³⁾ Mushroom substrates mixture at the initial stage.

⁴⁾ Mushroom substrates mixture at the end of mycelial stage(30th day after incubation).

⁵⁾ Spent mushroom substrates after the yield of fruit bodies(50th day after incubation).

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

1.9, 조지방 2.7% 수준, 미강은 NDF 30.1, 조회분 8.6, 조단백질 14.9, 조지방 17.2% 수준, 콘코프는 NDF 87.7, 조회분 3.2, 조단백질 2.4, 조지방 0.5% 수준, 밀기울은 NDF 52.4, 조회분 4.9, 조단백질 16.8, 조지방 2.7% 수준이었다 (Table 미제시). 버섯배지 원료로 느타리버섯 봉지재배에 사용된 면실피는 조섬유 40.2, 조회

분 2.9, 조단백질 3.8, 조지방 0.9% 수준, 면실피는 조섬유 19.0, 조회분 7.5, 조단백질 35.5, 조지방 3.5% 수준, 비트펄프는 조섬유 19.6, 조회분 5.8, 조단백질 12.6, 조지방 1.2% 수준이었다(한국표준사료성분표, 2000).

화학 성분의 양적 변화 차이에 의해 좌우되는 성분비(%) 변화는 Table 2에 제시되어져

Table 2. Change in chemical composition(%) of mushroom(*Pleurotus eryngii*) substrates according to the stage of bottle type cultivation^{1), 2)}

Item	Mushroom cultivation stage			SE
	Stage 1 ³⁾	Stage 2 ⁴⁾	Stage 3 ⁵⁾	
 %			
Dry matter	35.8 ^b	33.6 ^c	38.3 ^a	1.0
Neutral detergent fiber	72.6 ^b	75.5 ^a	75.7 ^a	1.0
Acid detergent fiber	52.8 ^b	55.9 ^b	59.5 ^a	1.5
Hemicellulose	19.9 ^a	19.6 ^a	16.2 ^b	1.1
Lignin	26.2 ^a	17.6 ^b	21.2 ^b	2.7
Nonfibrous carbohydrate	11.5	11.0	10.1	1.0
Crude protein	7.2	7.1	6.9	0.3
True protein/CP	75.5 ^a	78.0 ^a	52.5 ^b	6.2
Non-protein N/CP	24.5 ^b	22.0 ^b	47.5 ^a	6.2
ADF-CP/CP	37.3 ^b	41.8 ^{ab}	43.3 ^a	3.3
Ether extract	4.6 ^a	2.3 ^b	2.6 ^b	0.8
Crude ash	4.1 ^b	4.2 ^b	4.8 ^a	0.1
Minerals				
Ca	0.09	0.09	0.09	0.01
P	0.54	0.58	0.51	0.06
Mg	0.12	0.12	0.12	0.01
K	0.72	0.78	0.76	0.04
Cu (ppm)	0.7 ^b	1.0 ^a	0.2 ^c	0.1
Fe (ppm)	63.3 ^b	64.2 ^b	151.3 ^a	21.1
Mn (ppm)	56.7	60.8	62.4	4.9
Zn (ppm)	18.8	18.1	19.7	3.1
Na (ppm)	53.9 ^{ab}	46.0 ^b	60.2 ^a	6.0

¹⁾ Means of 5 observations.

²⁾ Dry basis.

³⁾ Mushroom substrates mixture at the initial stage.

⁴⁾ Mushroom substrates mixture at the end of mycelial stage(30th day after incubation).

⁵⁾ Spent mushroom substrates after the yield of fruit bodies(50th day after incubation).

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

다. 최초 배지와 비교해서 자실체 수확후의 폐배지는 hemicellulose, lignin, 순수단백질/조단백질, 조지방 성분은 감소하였고($P<0.05$), NDF, ADF, NPN/조단백질, ADF-CP/조단백질, 조회분 성분은 증가하였으며($P<0.05$), 비섬유성탄수화물과 조단백질 성분은 차이가 없었다($P>0.05$). 미네랄 성분도 전반적으로 별다른 차이가 없었으나($P>0.05$), 철분은 폐배지에서 증가한 것으로 나타났다($P<0.05$).

느타리버섯의 봉지재배 시 재배단계별 화학성분의 양적 변화는 Table 3에 제시되어져 있다. 최초 배지(stage 1)와 비교해서 느타리버섯 균사체 배양 후의 배지(stage 2)는 새송이버섯 균사체의 경우와는 달리 화학 성분에 현저한

영향을 미쳤다($P<0.05$). 구체적으로 건물, 유기물, NDF, hemicellulose, 비섬유성탄수화물, 조단백질, 조지방, 조회분 성분의 분해 소실 현상이 뚜렷하였고($P<0.05$), ADF와 lignin 성분은 차이가 없었다($P>0.05$). 그러나 자실체 성장의 영향은 전반적으로 미미하였는데($P>0.05$), 이는 아마도 비교적 짧은 자실체 생육 기간(6일) 때문인 것으로 판단되었다.

최초 배지와 비교해서 배양 31일째의 자실체 수확 후 폐배지의 양적 감소 정도는 총 무게는 28.6%, 건물은 20.6%, 유기물은 20.8%, NDF는 18.8%, hemicellulose는 48.2%, 비섬유성탄수화물은 32.6%, 조단백질은 23.4%, 조지방은 87.5%, 조회분은 14.5% 수준이었다. 따라서 성분상의

Table 3. Change in chemical components(g) of mushroom(*Pleurotus osteratus*) substrates according to the stage of vinyl bag type cultivation^{1), 2)}

Item	Mushroom cultivation stage			SE	Weight loss
	Stage 1 ³⁾	Stage 2 ⁴⁾	Stage 3 ⁵⁾		
 g				
Wet weight	609.6 ^a	610.4 ^a	435.0 ^b	40.2	174.6
Dry weight	207.2 ^a	171.4 ^b	164.6 ^b	12.9	42.6
Organic matter	198.2 ^a	163.7 ^b	157.0 ^b	12.2	41.2
Neutral detergent fiber	163.5 ^a	141.4 ^b	132.8 ^b	11.4	30.7
Acid detergent fiber	118.9	114.8	109.8	9.3	9.1
Hemicellulose	44.6 ^a	26.6 ^b	23.1 ^b	2.7	21.5
Lignin	36.7	41.8	41.1	4.7	-4.4
Nonfibrous carbohydrate	9.2 ^a	4.1 ^b	6.2 ^b	1.8	3.0
Crude protein	23.1 ^a	17.9 ^b	17.7 ^b	1.4	5.4
True protein/CP	21.3 ^a	15.7 ^b	14.8 ^b	1.2	6.5
Non-protein N/CP	1.9	2.3	2.9	0.7	-1.0
ADF-CP/CP	7.2 ^b	12.0 ^a	12.8 ^a	1.7	-5.6
Ether extract	2.4 ^a	0.3 ^b	0.3 ^b	0.1	2.1
Crude ash	9.0 ^a	7.7 ^b	7.7 ^b	0.7	1.3

¹⁾ Means of 5 observations.

²⁾ Dry basis except for wet weight.

³⁾ Mushroom substrates mixture at the initial stage.

⁴⁾ Mushroom substrates mixture at the end of mycelial stage(25th day after incubation).

⁵⁾ Spent mushroom substrates after the yield of fruit bodies(31st day after incubation).

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

감소 정도는 조지방 > hemicellulose > 비섬유성탄수화물 > 조단백질 > 유기물 > 건물 > NDF > 조회분의 순으로 높았으며, 이러한 양상은 새송이버섯 병재배 시와 거의 정확하게 일치하였다. 또한 재배단계에서 분해 이용된 유기물 량의 3/4은 섬유소(NDF) 였으며, 섬유소 중 70% 정도는 hemicellulose가 분해 이용된 것으로 나타났다. 따라서 버섯의 주된 이용 영양물질은 섬

유소, 특히 hemicellulose인 것으로 사료되었다. Adamovic 등(1998)의 연구에도 hemicellulose는 NDF, ADF, lignin 보다 균사체에 의해 분해되는 비율이 가장 높다(0.902, % day⁻¹) 보고한 바 있다.

느타리버섯 병지재배 단계별 화학 성분비(%) 변화는 Table 4에 제시되어져 있다. 화학 성분비의 변화는 균사체 배양 단계에서 대부분 유

Table 4. Change in chemical composition(%) and minerals of mushroom(*Pleurotus osteratus*) substrates according to the stage of vinyl bag type cultivation^{1), 2)}

Item	Mushroom cultivation stage			SE
	Stage 1 ³⁾	Stage 2 ⁴⁾	Stage 3 ⁵⁾	
 %			
Dry matter	34.0 ^b	28.1 ^c	38.0 ^a	2.2
Neutral detergent fiber	78.9 ^c	82.4 ^a	80.7 ^b	0.9
Acid detergent fiber	57.4 ^b	66.9 ^a	66.7 ^a	1.0
Hemicellulose	21.5 ^a	15.6 ^b	14.0 ^b	0.9
Lignin	17.7 ^b	24.3 ^a	25.0 ^a	1.7
Nonfibrous carbohydrate	4.4 ^a	2.5 ^b	3.8 ^{ab}	1.0
Crude protein	11.2	10.5	10.7	0.4
True protein/CP	92.0 ^a	87.4 ^{ab}	83.7 ^b	2.9
Non-protein N/CP	8.0 ^b	12.6 ^{ab}	16.3 ^a	2.9
ADF-CP/CP	31.0 ^b	67.1 ^a	72.4 ^a	6.6
Ether extract	1.1 ^a	0.2 ^b	0.2 ^b	0.1
Crude ash	4.3 ^b	4.5 ^{ab}	4.7 ^a	0.2
Minerals				
Ca	0.50 ^a	0.24 ^b	0.28 ^b	0.06
P	0.17 ^a	0.13 ^b	0.10 ^c	0.01
Mg	0.10 ^a	0.08 ^b	0.10 ^{ab}	0.01
K	0.76	0.80	0.72	0.05
Cu (ppm)	2.00 ^a	0.03 ^b	0.17 ^b	0.08
Fe (ppm)	359.5	321.6	397.0	81.3
Mn (ppm)	24.2	19.3	23.7	3.7
Zn (ppm)	18.8	7.9	10.9	9.4
Na (ppm)	276.8	244.5	259.9	22.2

¹⁾ Means of 5 observations.

²⁾ Dry basis.

³⁾ Mushroom substrates mixture at the initial stage.

⁴⁾ Mushroom substrates mixture at the end of mycelial stage(25th day after incubation).

⁵⁾ Spent mushroom substrates after the yield of fruit bodies(31st day after incubation).

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

의적으로 나타났으며($P<0.05$), 최초 배지와 비교해서 자실체 수확 후의 폐배지는 조지방, hemicellulose, 순수단백질/조단백질은 감소하였고($P<0.05$), NDF, ADF, lignin, NPN/조단백질, ADF-CP/조단백질, 조회분 성분은 증가하였으며($P<0.05$), 조단백질 성분은 차이가 없었다($P>0.05$). 자실체 수확 후 배지의 경우 미네랄 성분 중 Ca, P, Cu는 유의적으로 감소하였다($P<0.05$). 이는 자실체에 의한 배지내의 이들 광물질의 선별적 흡수에 기인하는 것으로 판단되었다.

결과적으로 양 재배방식 공히 최초 배지와 비교해서 폐배지는 NDF 성분은 2~3% 단위, ADF 성분은 7~9% 단위 증가하였고, 비섬유성 탄수화물 성분은 0.6~1.4% 단위 감소하였으며, 조단백질 중 순수단백질이 줄고, 비소화성 단백질(ADF-CP)이 느는 등 사료영양적 가치는 오히려 하락하는 것으로 나타났다. Adamovic 등(1998)의 연구에도 사료적 가치가 감소하는 것으로 보고하였다. 그러나 배지의 주성분이 섬유소인 점과 조단백질 함량이 매우 낮은 점들을 감안하면 영양소의 질적인 하락 폭은 그다지 크지는 않은 것으로 판단되었다.

본 연구에서 느타리버섯 봉지재배의 폐배지 NDF 함량은 김 등(2007)의 연구에서 봉지재배에 의해 발생하는 폐배지의 76.1%와 비교하였을 때 약 5% 정도 높은 수준이었다. Lignin 함량은 새송이버섯 병재배에서는 유의적으로 감소하였으며($P<0.05$), Andrew와 Anita(1995), Tuomela 등(2000)이 보고한 백색부후균의 lignocellulose의 분해능력 때문인 것으로 사료된다. 느타리버섯 봉지재배의 경우에는 반대로 증가하였다($P<0.05$). 이런 상반된 결과는 버섯의 종류가 다른 점, 사용된 배지가 다른 점, 재배방식이 상이하여 버섯균을 배양한 기간이 다르다는 점에 원인이 있는 것으로 추측된다. 조회분 함량은 새송이버섯 병재배와 느타리버섯 봉지재배에서 공히 증가($P<0.05$) 하였으며, 이는 광물질 및 silica로 구성되는 조회분은 배양과정에 따라서 분해율이 낮음으로 해서 다른 성분들에 비해 상대적으로 증가한 때문이었다. 다른 연구에서도 일률적으로 조회분은 폐배지에서 증가하였다

(Bakshi 등, 1985; Calzada 등, 1987; Adamovic 등, 1998).

2. 버섯과 폐배지의 화학성분상의 차이

배지 화학성분의 수확한 자실체로의 이행 정도를 정확히 monitoring 하기 위하여 버섯의 총량과 건물의 양을 분석한 결과, 버섯배양과정에서 분해 소실된 건물 함량은 새송이버섯 병재배가 25% 정도였으며, 이중 20% 정도가 자실체로 이행된 것으로 나타났으며, 느타리버섯 봉지재배의 경우에는 21%가 분해 소실되어 이중 40% 정도가 자실체로 이행된 것으로 나타났다(data 미제시). 이행되지 않은 부분은 분해 및 합성과정에서 H_2O 및 CO_2 등의 형태로 소실된 것으로 판단되었다.

각기 다른 방식으로 재배된 새송이버섯과 느타리버섯을 남은 폐배지의 화학성분과 비교해 보았을 때(Fig. 1), 양 재배방식에서 공통적으로 버섯은 더 높은($P<0.05$) 함량의 조단백질, 비섬유성탄수화물, 조회분을 함유하였으며, 섬유소(NDF) 함량은 훨씬 낮았고($P<0.05$), 조지방 함량은 높거나, 낮았다($P<0.05$). 폐배지에서와 마찬가지로 버섯의 주성분은 섬유소이었다. 이와 같이 버섯자체의 영양 성분 분해 흡수 양상은 가축사료로서의 폐배지의 사료영양적 성분 조성에 긍정적이지 못한 영향을 미치는 것으로 사료되었다. 그러나 최초배지와 비교해서 폐배지의 섬유소 함량은 유의하게 증가하였으나, 이들 섬유소의 동물체내에서의 이용율에 있어서의 질적 향상 여부는 향후 연구 수행되어야 할 것으로 사료된다.

3. 버섯 재배 단계별 독성 중금속 및 잔류농약물질의 flow

재배 단계별 배지내의 독성 중금속의 함량 변화를 살펴보면(Table 5), Cd과 Pb는 이용된 배지내에서 전혀 검출되지 않았다. 새송이버섯의 병재배 방식에서 1단계(최초 배지), 2단계(균사체 배양 단계) 공히 각각 5개 배지 시료 중 2개 시료에서 As이 검출(농도 0.26~0.52 ppm)

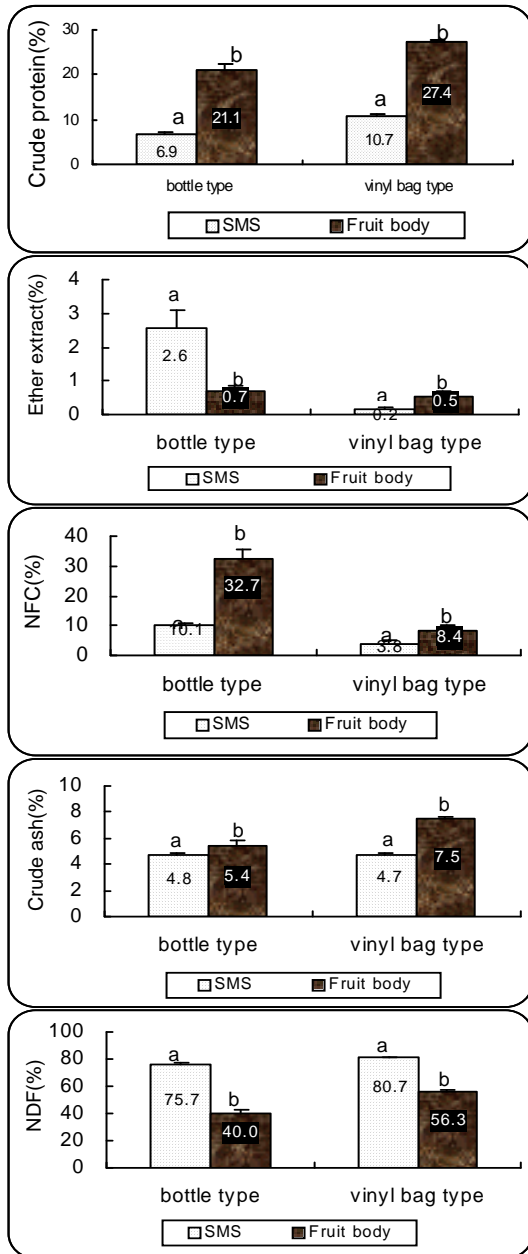


Fig. 1. Chemical compositional differences between spent mushroom substrates and mushroom fruit bodies according to bottle type and vinyl bag type cultivation[SMS = Spent mushroom substrate, NFC = Non-fibrous carbohydrate, NDF = Neutral detergent fiber; ^{a,b} Means with different letters within the same cultivation type are significantly different (P<0.05)].

Table 5. Change in toxic heavy metal according to the stage of bottle type and vinyl bag type cultivation^{1), 2)}

Cultivation	Mushroom cultivation stage			SE
	Stage 1 ³⁾	Stage 2 ⁴⁾	Stage 3 ⁵⁾	
 ppm			
Bottle type				
Cd	ND	ND	ND	
Pb	ND	ND	ND	
As	0.11	0.19	ND	0.18
Vinyl bag type				
Cd	ND	ND	ND	
Pb	ND	ND	ND	
As	0.40 ^a	ND ^b	0.07 ^b	0.18

¹⁾ Means of 5 observations.

²⁾ Dry basis.

³⁾ Mushroom substrates mixture at the initial stage.

⁴⁾ Mushroom substrates mixture at the end of mycelial stage.

⁵⁾ Spent mushroom substrates after the yield of fruit bodies.

^{a,b} Means with different superscripts within the same row are significantly different(P<0.05), ND=not detected.

되었으며, 3단계(폐배지)에서는 전혀 검출되지 않았다. 느타리버섯의 봉지 재배 경우에도 최초 배지 시료 5개에서는 모두 As이 검출(0.12~0.75 ppm) 되었으나, 단계 2에서는 전혀 검출되지 않았고, 폐배지에서는 2개 시료에서만 검출(0.16~0.20 ppm) 되었다. 이와 같이 균사체 또는 자실체 성장과 더불어 As 함량은 훨씬 줄어드는 양상을 보였으며, 이는 균사체 또는 자실체 성장 단계에서 As 같은 독성 중금속의 해독 작용 기작의 존재 가능성을 시사하고 있다. 또한 배지에 존재하는 As의 농도는 단미사료에서의 국내 허용기준치인 100 ppm(농림부, 2001) 또는 외국의 50 ppm (NRC, 1980) 보다 훨씬 낮은, 안전한 범위에 속하였다.

경기도보건환경연구원의 잔류농약검사팀이 분석한 재배단계별 배지의 잔류농약의 동시다중

분석결과, 30종의 유기염소계, 30종의 유기인계, 9종의 carbamate계, 기타 ethylene dibromide계 농약 잔류물질들은 버섯 재배단계별로 전혀 검출되지 않았다. 홍 등(2002)이 보고한 농산물에서 검출빈도가 높은 chlorothalonil, chlorpyrifos, fenvalerate는 본 연구에서 검출되지 않았다. 국제식품규격위원회(CODEX, 2006)에서 버섯에 허용치를 두고 있는 thiabendazole, chlorpyrifos-Methyl, cypermethrin, permethrin, deltamethrin과 미강에 허용치를 두고 있는 carbaryl, fenitrothion는 검출되지 않았다. 이와 같은 결과는 버섯 생산에 이용된 원료 배지에 있어서 농약의 오염이 전혀 없었기 때문인 것으로 판단되었다.

IV. 결 론

본 연구에서 이용된 새송이 및 느타리버섯 폐배지는 고섬유소(NDF 75.7~80.7%), 저단백질(CP 6.9~10.7%), 저광물질(ash 4.7~4.8%) 조사료원으로 분류되었다. 재배단계별 화학물질의 monitoring 결과 새송이 및 느타리 버섯의 주된 이용 영양물질은 섬유소 특히 hemicellulose였다. ADF의 성분인 lignin의 분해 정도는 버섯 균사체의 종류에 의해서 각기 다르게 나타나는 것으로 밝혀졌다. 배지 영양소의 주된 분해 시기는 버섯 종류와 재배 방식에 따라 달랐으며, 새송이버섯의 병재배 시에는 자실체 성장 단계가, 느타리버섯의 봉지재배 시에는 균사체 배양 단계가 영양소의 주된 분해 시기였다. 배지 영양소의 균사체와 자실체에 의한 분해 시 유기물 분해 정도보다 섬유소 분해 정도가 낮아서 폐배지의 NDF와 ADF 성분은 최초 배지와 비교해서 각각 2~3% 단위, 7~9% 단위 증가하는 것으로 나타났으나, 섬유소(NDF)의 증가 폭은 낮은 편이었다. 버섯폐배지 단백질은 양적 질적으로 매우 낮은 수준이며, 균사체 및 자실체 성장 단계에서 배지 단백질이 분해되는 과정에서 질적으로 하락하였다. 따라서 폐배지의 동물 급여 시 양질의 단백질 사료의 보충이 필수적으로 요구된다. 폐배지의 독성중금속 중

As는 균사체와 자실체의 성장 단계를 거치면서 농도가 뚜렷이 줄어드는 경향이 있어 이의 해독작용 기작의 존재 가능성을 시사하고 있으며, 기타 독성중금속(Pb, Cd)과 농약잔류물질이 전혀 검출되지 않아 향후 버섯 폐배지는 유기사료로의 이용 가능성도 신중히 고려할 수 있을 것이다.

V. 요 약

본 연구에서는 새송이버섯 병재배방식과 느타리버섯 봉지재배방식의 재배단계별(최초 배지 단계, 균사체 배양 후 배지 단계, 자실체 수확 후 폐배지 단계)로 배지의 화학 성분의 흐름을 추적 구명하고, 독성 중금속(Cd, Pb, As)과 잔류 농약으로부터의 안전성을 평가하였다. 양 재배방식 공히 최초 배지와 비교해서 자실체 수확 후의 영양소의 양적 감소 정도에 있어서 총무게는 평균 29%, 건물과 유기물은 공히 21~25%, 섬유소는 19~22% 감소하였다. 재배단계에서 분해 이용된 유기물 량의 2/3~3/4은 섬유소(NDF)였으며, 이용된 섬유소의 주된 성분(50~70%)은 hemicellulose이었다. 균사체 성장이 배지의 화학적 성분에 미치는 효과는 새송이버섯의 병재배 시에는 미미하였으나($P>0.05$), 느타리버섯의 봉지재배 시에는 ADF 성분을 제외한 거의 모든 유기물과 무기물이 분해 소실되는 것으로 나타났다($P<0.05$). 자실체는 봉지재배 시보다는 병재배 시에 배지내의 영양소를 매우 활발하게 흡수하였다($P<0.05$). 수확한 자실체는 폐배지보다 조단백질, 비섬유성탄수화물, 조회분 성분이 훨씬 높고($P<0.05$), NDF 성분은 훨씬 낮아서($P<0.05$), 폐배지의 화학적 조성에 바람직하지 못한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 폐배지는 독성 중금속과 잔류농약의 오염이 거의 없어 위생적으로 안전하였다. 결론적으로 최초 배지와 비교해서 폐배지는 난분해성 섬유소 성분이 증가하고, 조단백질 중 순수단백질이 줄고, 비소화성단백질이 느는 등 질적으로 떨어져서 사료영양적 가치는 상대적으로 하락하는 것으로 나타났다.

VI. 인 용 문 헌

1. 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.
2. Andrew, S. B. and Anita, M. J. 1995. The recovery of lignocellulose-degrading enzymes from spent mushroom compost. *Bioresource Tech.* 54:311-314.
3. Bakshi, M. P. S., Gupta, V. K. and Langar, P. N. 1985. Acceptability and nutritive evaluation of *Pleurotus* harvested spent wheat straw in buffaloes. *Agricultural Wastes* 13:51-58.
4. Baskaran, S., Bolan, N. S., Rahmanm, A and Tillman, R. W. 1996. Effect of exogenous carbon on the sorption and movement of atrazine and 2,4-D by soils. *Australian Journal of Soil Research* 34(4):609-622.
5. Calzada, J. F., Franco, L. F., Arriola, M. C., Rolz, C. and Ortiz, M. A. 1987. Acceptability, body weight changes and digestibility of spent wheat straw after harvesting of *Pleurotus sajor-caju*. *Biological Wastes* 22:303-309.
6. CODEX. 2006. Draft And proposed draft maximum residue limites in foods and feeds at seep 7 and 4, including dried chili peppers at step 7.
7. Ehlers, G. A. and Rose, P. D. Immobilized white- rot fungla biodegradation of phenol and chlorinated phenol in trickling packed-bed reactors by employing sequencing batch operation. 2004, *Bioresource Tech* 96:1264-1275.
8. Fermor, T., Watts, N., Duncombe, T., Brooks, R., McCarthy, A., Semple, K. and Reid, B. 2000. Bioremediation: use of composts and composting echnologies. *Mushroom Science* 15:833-839.
9. Hadar, Y., Zohar, K. and Barbara, G. 1993. Biodegradation of lignocellulosic agrocultural wastes by *Pleurotus ostreatus*. *Journal of Biotechnology* 30:133-139.
10. Kannan, K. and Oblisami, G. 1990. Enzymology of ligno-cellulose degradation by *pleurotus sajor-caju* during geowth on paper-mill sludge. *Biological wastes* 33:1-8.
11. Kuo, W. S. and Regan, R. W. 1998. Aerobic carbamate bioremediation aided by compost residuals from the mushroom industry: Laboratory Studies. *Compost Science and Utilization* 6(1):19-29.
12. Makela, M., Galkin, S., Hatakka, A. and Lundell, T. 2002. Production of organic acids and oxalate decarboxylase in lignin-degrading white rot fungi. *Enzyme and Microbial Technology* 30:542-549.
13. Manuel, V., Gonzalo, A. and Angel, T. M. 1990. Substrate-dependent degradation patterns in the decay of wheat straw and veech wood by ligninolytic fungi. *Appl Microbiol Biotechnol* 33:481-484.
14. Mark, W. P., Hadar, Y. and Dan, C. 1984. Fungal activities involved in lignocellulose degradation by *pleurotus*. *Appl Microbial Biotechnol* 20:150-154.
15. Martirani, L., Giardina, P., Marzullo, L. and Sannia, G. 1996. Reduction of phenol content and toxicity in olive oil mill waste waters with the ligniolytic fungus *Pleurotus ostreatus*. *Water Research* 30(8): 1914-1918.
16. Mashphy, S., Levanon, D. and Henis, Y. 1996. Degradation of atrazine by the lignocellulolytic fungus *pleurotus pulmonarius* during solid-state fermentation. *Bioresource Tech* 56:207-214.
17. National Research Council. 1980. Mineral Tolerance of Domestic Animals. National Academy Press, Washington, DC, USA.
18. Rajathan, S. and Bano, Z., 1989. *Pleurotus* mushrooms. Biotransformations of natural lignocellulotic waste. *Critical Rev. Food Sci. Nutr.*, Vol. 28. Mysore, India, pp. 31-123.
19. Semple, K. T., Watts, N. U. and Fermor, T. R. 1998. Factors affecting the mineralization of (U14C) benzene in spent mushroom substrate. *FEMS Microbiology Letters* 164(2):317-321.
20. Semple, K. T. and Fermor, T. R. 1995. The

- bioremediation of enobiotic-contamination by composts and associated microflora. *Mushroom Science* 14(2): 917-924.
21. Staments, P. 2001. *Mycova : Helping the ecosystem through mushroom cultivation*. <http://www.fungi.com/bioremediation/index.html> (June 29, 2001).
22. Tuomela, M., Vikman, M., Hatakka, A. and Itavaara, M. 2000. Biodegradation of lignin in a compost enviroment:a review. *Bioresource Tech* 72:169-183.
23. 김영일, 배지선, 정세형, 안문환, 박완섭. 2007. 버섯폐배지의 발생량 조사 및 새송이, 느타리, 팽이 버섯 폐배지의 버섯종류별과 재배방식별의 물리화학적 특성 평가. *한국동물자원과학회지* 49(1):913-922.
24. 김용국, 김용인. 1993. Mycelium에 의한 Lignocellulose 물질로부터 양질의 발효사료 생산. *한국낙농학회지*. 15(4):251-260.
25. 농림부. 2001. 사료 내 위해물질과 잔류농약 범위 및 허용치. 농림부 고시 2001-61, 농림부, 대한민국.
26. 배지선. 2006. 버섯 폐배지의 반추동물 조사료원으로서의 사료 영양적 가치에 대한 기초 평가. 건국대학교 석사학위 논문.
27. 식약청. 2001. 식품공전(별책). 132-133, 258-263.
28. 윤승락. 1996. 표고버섯 재배 톱밥 폐배지의 가축 조사료 이용. 월간 축산인. 2월호 :124.
29. 홍무기, 원경풍, 황인균, 최동미, 이강봉, 오금순, 허수정. 2002. 식품중 잔류농약 모니터링. 식품의약품안전청연구보고서 제6권 *The Annual Report of KFDA*, Vol(6):67-75.

(접수일자 : 2006. 11. 28. / 채택일자 : 2007. 2. 5.)