

버섯재배용 배지재료의 성분분석

김선영¹ · 정민화² · 김민근¹ · 임착한¹ · 김경희¹ · 김태성¹ · 김동성¹ · 정종천³ · 홍기성⁴ · 류재산^{1*}

¹경상남도농업기술원 친환경연구과, ²한국메디아, ³국립원예특작과학원, ⁴그린피스

Composition analysis of raw material constituting the medium for mushroom cultivation

Sun Young Kim¹, Min Hwa Jeong², Min-Keun Kim¹, Chak Han Im¹, Kyung-Hee Kim¹,
Tae Sung Kim¹, Dong Sung Kim¹, Jong-Chun Cheong³, Ki Sung Hong⁴ and Jae-San Ryu^{1*}

¹Eco-friendliness Research Department, Gyeongsangnam-do Agricultural Research and Extension Services, Jinju 660-360, Korea

²Hankook media LTD. CO., Hapchun, 678-831, Korea

³National Institute of Horticultural and Herbal Science, Rural Development Administration, Eumsung, 369-873, Korea

⁴Greenpeace Mushroom Co., Gyeongbuk, 714-853, Korea

(Received December 4, 2013 / Revised December 23, 2013 / Accepted December 27, 2013)

ABSTRACT – The contents of raw materials which are components of mixed substrate for mushroom cultivation were analyzed to optimize the composition. The pure protein(amino acid) level of soybean meal was the highest, 44.02% followed by those of soybean curd residue(31.5%) and cotton seeds meal(30.6%). The non protein nitrogen(NPN) contents in crude protein of main nitrogen materials were 2.4% for soybean meal and 5.6% for dried soybean curd residue, while those of wheat bran and rice bran used as the carbon source were relatively higher, 17.6% compared to that of nitrogen supplying media. Crude protein content per price was 6.0 for rapeseed meal, indicating that it is high crude protein content per price. Nitrogen-free extract(NFE) considering as an ingredient for mycelial growth were high in alphacorn(72.9%) and wheat bran B(57.2%). Acid detergent fiber(ADF) was high in corncob, 51.88%, its use for cultivation of brown rot fungi including *Lentinus lepideus* should pay attention because the fungi lack complete lignin degradation activity.

KEYWORDS – ADF, Mushroom cultivation media, NDF, NFE

서 론

버섯균은 엽록소가 없어서 이산화탄소를 동화시키지 못하는 타가영양체이기 때문에 외부로부터 필요한 영양원을 흡수해야 한다. 균사의 생장이나 자실체의 생육에 필요한 영양성분은 탄소원, 질소원, 무기성분 및 비타민류 등인데, 그 중 가장 중요한 것은 탄소원과 질소원이다(Chang 등, 1993). 일반적으로 재배되는 식용버섯은 주로 백색부후균에 속하고 잣버섯은 예외적으로 갈색부후균에 속한다(박과 이, 2005). 백색부후균은 목재의 성분을 이용하기 위하여 다양한 종류의 효소를 분비하는데, 초기에는 분해가 비교적 쉬운 유리당이나 저장형 탄수화물을 이용하고 다음에는 자일란과 아라비노스 등이 포함된 헤미셀룰로스, 이후 셀룰로스를 분해하고 최종적으로 분해가

어려운 리그닌도 분해하여 이용한다. 반면에 갈색부후균은 리그닌을 분해하는 효소가 거의 없으므로 갈색의 리그닌성분을 남긴다(Baldrian 등, 2006). 따라서 버섯을 재배하기 위한 배지의 성분 중 헤미셀룰로스, 셀룰로스, 리그닌 성분의 분포가 중요하기 때문에 분석의 필요성이 제기된다.

질소원은 버섯의 품질, 저장성에 많은 영향을 미치는 것으로 알려져 있고(류 등, 2013), 혼합배지를 구성하는 원료 중 가장 비용이 많이 소요되는 영양원이다. 조질소의 성분함량에 따라 질소원재료의 가격이 결정되는 경향이 있는데, 조질소는 전질소에 단백질계수를 곱하여 나온 값이기 때문에 정확도가 떨어지는 단점이 있다. 이렇듯 간접적으로 질소를 분석하기 때문에 비단백질질소화합물(NPN)이 높은 재료의 품질을 판단하는데 어려움이 있다. 이를 해결하기 위해

*Corresponding author: coolmush88@gmail.com

서는 재료의 직접적인 아미노산성분을 분석하면 해결가능한데, 이를 통해 실제 아미노산함량과 조단백질량의 비단백질태질소화합물(NPN)의 비율을 분석하여 조질소의 품질을 측정할 수 있다.

버섯균이 목재 등의 기질을 분해할 때 분비되는 효소 중 많은 부분에서 무기질 성분을 보결인자로 함유하고 있는데, 리그닌을 분해하는데 관여하는 laccase 한분자당 구리 1-3분자가 함유되어 있으며, lignin peroxidase와 Mn peroxidase는 철분자를 포함한다(Baldrian 등, 2006). 또한 망간이나 구리의 첨가로 Mn peroxidase와 laccase의 활성이 증가된다는 보고가 있으므로(Swamy and Ramsay, 1999; Palmieri *et al.*, 2000; Mikiashvili *et al.* 2006), 배지의 성분 중 이러한 성분의 함량이 배지의 분해 효율성과 관련이 깊을 것으로 추정된다. 하지만, 이제까지의 버섯배지 성분은 주로 총탄소, 총질소 CaO, P₂O₅ 등 주로 식물영양을 진단할 때 사용되는 항목에 한정되어 있어서 버섯의 생리와 영양에 영향을 미치는 성분의 버섯배지내 함량의 분석이 필요한 시점이다.

현재는 많은 병버섯재배농가들이 각각의 재료를 구매하여 사용하기 보다는 대형 혼합배지업체에서 제조된 혼합배지를 사용하고 있는데, 이에 따라 본 시험에서는 혼합배지에 포함되어 있는 각 배지재료의 일반성분, 아미노산성분, 화학성분을 배지의 분해이용효율성의 관점으로 분석하였다. 이 결과를 버섯의 실제재배에 활용하면 효율적이고 경제적인 배지혼합비를 도출하는데 유용할 것으로 사료된다.

재료 및 방법

버섯배지

본 실험에 사용한 배지는 H사(경남 합천소재)에서 버섯재배용으로 사용하고 있는 대두박(미국산), 탈지강(국내산), 단백질(미국산), 알파콘(미국산), 건비지(미국산), 비트펄프(중국산), 면실박(중국산), 채종박(중국산), 소맥피A(미국산, 호주산), 소맥피B(미국산, 호주산), 대두피(미국산), 콘콕(중국산), 미강(국내산)을 구매하여 분석하였으며, 포플러는 Y사(전남 남원소재)를 구매하여 사용하였다. 가격은 2013년 표준도매가격을 기준으로 하였다.

아미노산성분분석

산에 안정한 아미노산(라이신 등), 황포함 아미노산(메티오닌, 시스테인), 트립토판그룹으로 나누어 Ninhydrin 법(사료공정서 사료표준분석방법)에 따라 이온교환크로

마토그래피(아미노산분석기, S433-DSYKAM GMBH)를 사용하여 분석하였다. 시료를 6N 염산으로 분해시키는데, 황함유 아미노산(시스테인, 메티오닌)은 파괴되므로 산가수분해전에 과개미산 처리로 일단 안정상태인 Cysteic acid와 Methionine sulfone으로 변화시킨 후 가수분해시킨 후 분석하였다. 트립토판은 4.2N-NaOH를 가하고 산소를 제거하기 위해 질소가스를 주입한 후 마개를 막고 110°C에서 20시간 가수분해시킨 후 분석하였다. 별도의 표기가 없는 시약은 GR급을 사용하였다.

일반성분 분석

일반성분은 사료공정서 별표5 사료표준분석방법(농림축산식품부, <http://www.mafra.go.kr/>)에 준하여 실시하였다. 수분은 5g의 시료를 Forced Convection Oven(JSOF-150, 제오오텍, 한국)을 이용하여 135°C에서 2시간건조 후 증발한 수분량을 시료의 중량백분율로 구하였다. 조단백질은 켈달(Kjeldahl) 법으로 protein analyzer(Kjectec 8400 Auto System FOSS Analytical)를 이용하여 분석하였고, 조지방은 Soxtec system(Soxtec 2050, FOSS Analytical), 조섬유는 Fiber analyzer(Fibertec 2010 FOSS Analytical), 조회분은 Electric muffle furnace(WiseTherm, Top Science)을 이용하여 분석하였다.

세포막구성물질 분석

사료공정서 별표5 사료표준분석방법에 근거하여 NDF(Neutral detergent fiber)와 ADF(Acid detergent fiber)를 분석하였다. NDF는 배지원료 1g을 500ml 튜비어기에 취하고 중성 Detergent 용액 100ml와 Decalin 2ml, Sodium Sulfite 0.5g을 가해 조섬유 정량용 자비기에서 1시간 끓인 다음 유리여과기(1G2)를 사용하여 흡인여과하고 뜨거운 물과 아세톤으로 씻어주고 풍건 후 105°C 건조기내에서 4시간 건조하여 무게를 달고 계산하였다. ADF는 산성 detergent 용액에 녹이고 남은 물질의 질량을 측정하여 구하였다. 가용성무질소물(NFE)은 시료 전체함량에서 수분, 조단백질, 조지방, 조섬유 및 조회분을 빼서 구하였다.

무기성분분석

구리, 철 등의 무기성분은 사료공정서 별표5 사료표준분석방법에 근거하여 시료 약 2g을 농질산에 넣은 후 190°C에서 20분 분해 후 30분 방냉한 후 유도결합 플라즈마 발광분광분석기(CEM 927060)/MARS Xpress, USA)를 사용하여 분석하였다.

Table 1. Amino acid contents of of raw materials for mushroom cultivation media (unit: %)

Amino acid	Soybean meal	Defatted rice bran	Corn gluten feed	Alpha corn	Dried soybean curd residue	Beet pulp	Cottonseed meal	Rapeseed meal	Wheat branA	Wheat branB	Soybean hull	Corn cob	Rice bran	Popular*
Thr	1.73	0.56	0.68	0.26	1.43	0.43	1.05	1.35	0.44	0.43	0.40	0.13	0.48	199.27
Ser	2.20	0.64	0.77	0.33	1.69	0.45	1.40	1.38	0.57	0.55	0.63	0.13	0.56	282.69
Pro	2.37	0.62	1.55	0.47	1.68	0.37	1.14	1.98	0.79	0.82	0.45	0.15	0.43	286.27
Val	2.19	0.80	0.89	0.33	1.77	0.53	1.43	1.63	0.63	0.63	0.51	0.15	0.60	56.45
Ile	2.04	0.51	0.54	0.17	1.48	0.32	1.00	1.23	0.38	0.42	0.40	0.09	0.44	49.92
Leu	3.49	1.06	1.62	0.84	2.69	0.57	1.92	2.28	0.79	0.84	0.68	0.17	0.89	113.18
Tyr	1.65	0.48	0.59	0.28	1.19	0.39	0.91	0.91	0.37	0.36	0.49	0.09	0.32	28.46
Lys	2.78	0.74	0.63	0.21	1.96	0.58	1.44	1.51	0.56	0.53	0.71	0.09	0.66	177.58
Gly	1.89	0.79	0.84	0.27	1.37	0.42	1.33	1.68	0.74	0.71	0.95	0.18	0.62	193.27
Ala	1.85	0.81	1.33	0.48	1.43	0.41	1.26	1.34	0.61	0.59	0.48	0.15	0.58	201.38
Arg	3.32	1.13	0.76	0.33	2.25	0.38	4.16	2.19	0.91	0.86	0.54	0.10	1.00	61.17
Glu	8.01	1.86	2.64	1.28	5.19	0.78	6.35	6.01	2.37	2.57	1.22	0.24	1.66	514.26
Asp	5.15	1.39	1.02	0.46	3.63	0.66	3.15	2.15	0.94	0.91	1.05	0.25	1.20	459.49
His	1.18	0.40	0.60	0.18	0.88	0.27	0.84	0.93	0.34	0.31	0.27	0.02	0.32	71.41
Phe	2.38	0.70	0.65	0.36	1.83	0.32	1.79	1.38	0.52	0.54	0.43	0.12	0.24	214.28
Met	0.61	0.33	0.31	0.15	0.33	0.10	0.49	0.60	0.21	0.20	0.12	0.03	0.32	126.76
Cys	0.64	0.36	0.45	0.13	0.34	0.09	0.58	1.00	0.28	0.30	0.13	0.05	0.33	212.05
Trp	0.54	0.19	0.10	0.05	0.34	0.07	0.33	0.40	0.22	0.20	0.12	0.02	0.14	99.84
Total	44.02	13.37	15.97	6.58	31.48	7.14	30.57	29.95	11.67	11.77	9.58	2.16	10.79	3347.73
CP	45.08	15.80	19.00	7.14	33.34	9.51	37.32	35.70	14.17	13.37	11.39	2.67	13.09	5200.00
NPN	1.06	2.43	3.03	0.56	1.86	2.37	6.75	5.75	2.50	1.60	1.81	0.51	2.30	1852.27
CP/ price (won)	5.5	3.3	4.3	1.6	5.7	1.5	5.5	6.0	3.6	3.7	2.6	0.7	3.1	-

* Unit : (unit: mg kg⁻¹), NPN : nonprotein nitrogen, CP : crude protein

결과 및 고찰

버섯의 품질과 저장성은 배지원료의 성분에 따라 크게 영향을 받는 것으로 알려졌다(류 등, 2013). 하지만, 어떤 성분이 구체적으로 영향을 미치는지에 대해선 연구가 필요한 실정이고, 이러한 실험을 뒷받침하기 위해서 버섯의 영양과 생리에 대한 연구와 함께 버섯배지 원료의 일반성분과 아미노산 등을 포함한 정밀성분 분석을 실시하였다.

배섯배지원료의 아미노산성분

아미노산의 성분은 20가지 구성아미노산 중 18가지를 분석하였다. 직접적인 산 가수분해로 성분이 변하는 시스틴, 메티오닌과 트립토판은 별도의 전처리를 하여 분석하였다. 분석항목에 없는 두 개의 아미

노산도 총량에는 포함되어 있다. 아미노산의 총량은 대두박이 44.02%로 가장 많이 함유되어 있었다. 다음으로는 건비지 31.5, 면실박이 30.6, 채종박이 30.0%로 뒤를 이었다(Table 1). 미강은 10.7%, 밀기울은 11.7%였다. 조단백질의 질소와 순단백질의 질소의 차이를 비단백태 질소화합물(NPN)이라고 하는데, 이의 함량이 조단백질에서 차지하는 비율이 가장 큰 재료는 19.1%를 기록한 콘코프이지만, 단백질함량이 2.16%로 탄소원으로 분류되어 의미가 미미한 것으로 사료된다. 질소원 중에는 면실박과 채종박이 18.1과 16.1%로 비단백태질소화합물(NPN)의 비율이 높았다. 이는 조단백질함량내에 순단백질외의 다른 질소화합물이 높다는 의미이므로 이들 재료는 고급질소원이라고 간주하기 어려운 것으로 사료된다. NPN은 단백질 이외의 화합물에 포함된 질소의 총칭이며 대표

Table 2. Physicochemical properties of raw materials for mushroom cultivation media (unit: %)

Component	Soybean meal	Defatted rice bran	Corn gluten feed	Alpha corn	Dried soybean curd residue	Beet pulp	Cottonseed meal	Rapeseed meal	Wheat branA	Wheat branB	Soybean hull	Corn cob	Rice bran	Popular
Moisture	12.88	12.62	8.23	12.77	5.26	11.85	12.63	9.64	13.58	11.59	11.46	10.16	11.48	9.89
Crude protein	45.08	15.80	19.00	7.14	33.34	9.51	37.32	35.70	14.17	13.37	11.39	2.67	13.09	0.52
Crude fat	2.00	6.93	4.05	3.53	14.55	0.59	0.67	1.03	2.98	2.47	2.10	0.44	16.11	0.35
Crude fiber	5.34	8.59	8.70	2.22	11.37	21.44	12.03	9.32	11.84	10.60	35.06	36.03	6.72	62.50
Crude ash	6.21	9.94	5.06	1.42	4.16	3.56	6.17	12.93	5.21	4.77	4.35	2.87	8.11	0.64
ADF	8.67	10.25	10.12	2.89	13.70	28.86	24.32	22.38	14.33	12.80	44.96	51.88	8.47	71.70
NDF	14.00	27.48	36.99	8.45	31.89	52.69	36.30	28.67	49.32	42.69	62.11	86.45	20.23	89.83
NFE	28.49	46.12	54.96	72.92	31.32	53.05	31.18	31.38	52.22	57.2	35.64	47.83	44.49	26.1

ADF : Acid detergent fiber, NDF : Neutral detergent fiber, NFE: Nitrogen-free extract

적인 것으로 식물성식품에 많이 함유되는 것에 아미드, 질산태질소가 있으며, 또한 효모 등 미생물인 경우는 뉴클레오티드, 동물성 식품에는 올리고펩티드, 뉴클레오티드, 크레아틴, 안세린, 카르노신, 생체의 대사물로는 요소, 요산을 들 수 있다. 비단백태 질소 화합물은 일반적인 식품과 사료에서는 전체 질소(총 질소)의 7~20%를 차지하고 그 물질로는 요소, 디우레이드이소부탄 등이 있는데, 축산사료의 경우 동물이 이를 섭취하였을 경우 소화장애를 일으키기 때문에 6개월령 이하의 배합사료에는 0.09% 이하로 제한된다(사료공정서). 비록 완효성비료의 첨가가 느타리 버섯의 수량증가와 초발이소요일수 단축효과가 있었지만, 그 최적비율이 0.1%로 낮았으며(류 등, 2000), 비단백태질소화합물의 대표물질인 요소의 첨가가 양송이버섯의 수량감소(대조구의 88.6%) 효과를 보여줘서(Bahl, 1991), 비단백태질소화합물이 버섯의 생장이나 수량이 부정적인 영향을 줄것으로 보인다. 따라서 버섯의 수량과 실제 단백질을 구성하는 아미노산과의 차이를 알려주는 것으로써 NPN의 비중이 높아지면 고급 영양원이라고 할 수 없다. 면실박은 가격은 건비지와 비슷하지만, 건비지의 NPN은 1.86%로 조단백질의 5.6%에 불과하여 우수한 질소원이라 할 수 있다. 가격이 비싼 대두박의 NPN은 1.06%로 조단백질의 2.4%에 그쳐서 우수한 질소원이라고 할 수 있다. 미강, 밀기울의 NPN의 비중은 조단백질의 17.6%로써 건비지나 대두박보다 높은 수치를 보였다. 극히 일부의 경우 조단백질의 함량을 늘리기 위하여 값싼 요소나 비료를 첨가하거나 버섯균이 사용하기

어려운 멜라민 등을 첨가하는 경우가 있는데, 이를 순단백질인 아미노산 분석으로 품질을 조사할 필요성이 있는 결과로 사료된다. 조단백질함량/가격(원)은 얼마나 경제적으로 조단백질을 구매할 수 있는지 나타내는 수치인데, 채종박이 가장 높은 6.0, 다음이 건비지 5.7, 대두박, 면실박과 대두박이 5.5순이었다.

일반성분 및 세포막 구성성분

배지의 일반성분은 이제까지 발표된 기존의 데이터와 유사하였다(정 등, 2010). 대부분의 재료들의 수분이 미생물이 번식하기 어려운 13%이하를 유지하였으나, 소맥피A는 13.6%를 기록하여 여름철 고습 고온기에 미생물에 의한 변화가 우려되었다(Table 2). 조단백질량은 아미노산의 총량과 비슷한 수치였고, 대두박이 45.1%로 가장 우수하였다. 버섯균이 쉽게 이용하는 탄소원인 가용성무질소물(NFE)은 알파콘이 72.9, 소맥피B가 57.2가 우수하였다. 미강은 44.5로 나타났는데, 조지방의 비율이 16.1%로 높게 나온 결과를 해석된다. 가용성무질소물은 전분담류, 텍스트린 등으로 되어 있고 식물성 사료에 함량이 높으며 비교적 값이 싸고 소화가 잘 된다. 가용성무질소물은 버섯균이 즉시 이용가능한 버섯의 기본적인 골격을 이루는데 사용되기 때문에 반드시 필요하지만, 과하면 버섯의 경도가 무르게 된다. 중성세제불용섬유는 재료에 들어 있는 섬유상의 물질로 헤미섬유소, 섬유소, 리그닌 등이 포함되어 있다. 그중 자일란이나 아라비노스가 포함된 헤미섬유소외는 버섯균이 소화하여 이용하는데 시간이 소요되는 물질이다. 콘코프가

Table 3. Mineral elements of of raw materials for mushroom cultivation media (unit: mg kg⁻¹)

Component	Soybean meal	Defatted rice bran	Corn gluten feed	Alpha corn	Dried soybean curd residue	Beet pulp	Cotton seed meal	Rape seed meal	Wheat bran A	Soybean hull	Corn cob	Rice bran	Popular
Mg	0.22	0.44	0.29	0.09	0.14	0.20	0.30	0.31	0.29	0.19	0.04	0.41	0.03
Mn	26.77	207.17	12.41	9.33	17.27	75.55	12.73	77.47	162.29	21.37	11.51	178.31	5.28
Cu	20.13	11.4	7.38	7.18	8.33	9.47	32.03	11.58	12.21	10.14	6.78	8.19	4.65
Fe	251.72	226.68	191.46	58.95	57.43	319.84	297.03	707.54	202.12	729.35	742.79	229.52	86.13

86.6%로 나타났고 대두피가 62.1%로 뒤를 이었다. 산성세제불용섬유는 중성세제불용섬유에서 헤미섬유 소만 제외된 것이다. 헤미섬유소는 섬유소나 리그닌에 비해 소화가 비교적 원활하게 되는 탄소원인데, 중성세제불용섬유함량에서 산성세제불용섬유함량을 제외해서 구할 수 있는데, 소맥피A가 35%, 콘코프가 34.6%로 나타났다. 산성세제불용섬유는 리그닌, 섬유소가 대부분을 이루는데, 잣버섯과 같은 갈색부후균은 이중 리그닌을 거의 분해하지 못하므로(Baldrian 등, 2006), 이들 함량이 높은 배지원료사용에 주의해야 한다. 배지원료의 생산지역별로 품질과 성분함량이 차이가 있는데, 지역별로 편차가 심하지 않은 소맥피도 제조회사마다(A, B) 다소간의 성분함량과 특징이 달랐다. 밀가루제조 회사별 차이로 인한 문제는 성분분석으로 보증을 실시하여 편차를 최소화 할 필요가 있는 것으로 사료된다.

버섯배지원료의 무기성분

무기성분은 버섯균이 영양원을 분해하는 효소에 필수적으로 들어가는 망간, 마그네슘, 구리, 철을 분석하였다. 망간, 구리 등은 섬유소, 리그닌, 난분해성 물질을 분해하는 산화환원효소에 들어 있다. 마그네슘은 탈지강이 0.44 ppm, 미강에 0.41 ppm이 들어 있었다(Table 3). 망간은 탈지강과 소맥피에 207.2 ppm, 162.3 ppm 함유되어 있다. 구리는 면실박에 가장 많이 함유되어 있고, 철은 대두피에 729.6 ppm 들어 있다.

적 요

버섯의 혼합배지에 사용되는 배지원료의 아미노산과 일반성분을 분석한 결과, 순단백질(아미노산) 함량은 대두박이 44.02%로 가장 높았고, 건비지가 31.5, 면실박이 30.6%로 나타났다. 주요 질소원 배지재료의 비단백태질소화합물(NPN)의 조단백질에 대한 비율은 대두박이 2.4%, 건비지는 5.6%였지만, 탄

소원 배지재료인 미강과 밀기울은 17.6%로써 높았다. 조단백질/가격(원)은 채종박이 6.0으로 가격대비 조단백질량이 높은 것을 알 수 있었다. 군사생장에 관여하는 가용성무질소물(NFE)는 알파콘이 72.9%, 소맥피B가 57.2%로 높았다. 산성세제불용섬유(ADF)는 콘코프가 51.88%로 높았는데, 잣버섯 등 갈색부후균이 이용하기 어려운 리그닌이 포함되어 있으므로 사용에 주의가 필요하다.

감사의 말씀

본 연구결과는 농림부 농수산식품기술기획평가원(IPET)의 버섯수출연구과제(과제번호608005-05-HD220)의 연구비지원의 일부결과이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- 류영현, 조우식, 김찬용, 윤재탁. 2000. 느타리버섯 재배시 원효성 비료원 첨가효과. 한국균학회지. **28** : 93-96.
- 류재산, 김선영, 임착한, 김경희, 김민근, 이창윤. 2013. 큰느타리(새송이) 버섯 저장성 강화 배지 개발. 한국균학회춘계 학술대회.
- 박완희, 이호득. 2005. 한국의 버섯. 교학사. pp. 56-57.
- 사료공정서. 별표5. 사료표준분석방법(농림축산식품부, <http://www.mafra.go.kr/>).
- 정종천, 전창성, 이찬중, 오진아. 2010. 버섯 병재배 배지재료의 이화학적활용. 한국균학회지. **38** : 136-141.
- Bahl, N. 1991. Supplementation of nitrogen in *Agaricus* compost by agro wastes. *Mushroom Science*. **12** : 201-203.
- Baldrian P, 2006. Fungal laccases-occurrence and properties. *FEMS Microbiol Rev* **30** : 215-242.
- Baldrian P, Valkov V. 2008. Degradation of cellulose by basidiomycetous fungi. *FEMS microbiol. review*. **32** : 501-521.
- Chang, S. T., Buswell, J. A., & Miles, P. G. (Eds.). 1993. Genetics and breeding of edible mushrooms. CRC Press. pp. 41-44.
- Mikiashvili, N., Wasser, S. P., Nevo, E., & Elisashvili, V. 2006. Effects of carbon and nitrogen sources on *Pleurotus*

- ostreatus* ligninolytic enzyme activity. World Journal of Microbiology and Biotechnology, **22** : 999-1002.
- Palmieri, G., Giardina, P., Bianco, C., Fontanella, B., & Sanna, G. 2000. Copper induction of laccase isoenzymes in the ligninolytic fungus *Pleurotus ostreatus*. Appl. Environ. Microbiol. **66** : 920-924.
- Swamy, J., Ramsay, J. A. 1999. Effects of Mn^{2+} and NH_4^+ concentrations on laccase and manganese peroxidase production and Amaranth decoloration by *Trametes versicolor*. Appl. Microbiol. Biotechnol. **51** : 391-396.