慶北大農學誌(Agric. Res. Bull. Kyungpook Natl. Univ.) 20(2002. 12) 49～54.

버섯 폐상퇴비의 이화학성과 미생물 조사

주길재 · 우철주 · 이인구*

경북대 농업과학기술연구소, *농화학과

Physicochemical Properties and Microorganisms on the Waste Composts of Mushroom

Gil Jae JOO · Cheol Joo WOO and In Koo RHEE*

*Institute of Agricultural Science and Technology, *Dept. of Agricultural Chemistry, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea*

Abstract

This study was conducted to investigate physicochemical and microbiological properties on waste composts of mushroom. The waste compost of mushroom consisted of 43.29% organic matter(O.M.), 27.0 O.M./Nitrogen, 1.60% total nitrogen, 46.48% water content, 0.64% salt content, 1.32% P_2O_5, 1.18% K_2O and dry base. The microorganisms in the waste compost of mushroom were counted 1.6 x 10^{10} cfu/g. The main population of aerobic bacteria were *Bacillus lentimobus, B. coagulans, B. brevis, Clostridium thermocellum, Escherichia coli, Streptomyces thermovulgaris, S. thermofuscus, Micropolyspora faeni, Aspergillus* sp. and *Penicillum* sp..

Key words : Compost, mushroom waste, microorganisms

서 언

퇴비화는 거의 모든 종류의 생분해성 폐기물 처리에 유용한 방법이 되고 있으며 도시고형폐기물, 슬러지, 농업 부산물, 축산폐기물, 음식쓰레기 등이 효율적인 퇴비화 기술로 발전되고 있다[9].

기능성식품이 국민 경제성장과 생활수준의 향상으로 수요가 증가하고 있음에 따라 각종 유용 버섯류의 소비도 증가되어 현재 식용 및 약용 버섯의 인공재배를 위해 병배지 재배도 현저히 증가하고 있으며, 국내에서는 팽이, 영지, 버들송이 등 8종의 병재배 생산에 따라 버섯 폐배지의 발생량도 국내 90여개 농가에서 매일 100여톤 정도로 발생하고 있다. 이들 폐배지는 유용한 식물영양원을 함유하고 있으나 분해되기 쉬운 유기물을 다량으로 함유하고 있어 토양중에 그대

로 사용하면 급격히 분해되어 토양환경을 악화시킬 뿐아니라 작물에 장해를 일으키므로 폐배지는 적절히 부숙시키지 않으면 곤란하다. 이러한 문제점을 개선하기 위한 수단으로 병재배 폐배지를 이용하여 양송이 복토재료로 활용하거나 또는 효모생산에 이용하는 연구[10]가 진행되고 있으나 대부분 관용적으로 유기질퇴비 재료로 사용하고 있는 실정이다.

버섯 폐배지를 이용한 폐상퇴비는 세균에 대한 방선균의 비율이 높고 영양적으로 보다 부패성이 적은 안정화된 퇴비를 제공한다고 알려져 있다[2].

우리나라 현행 법규상 최종 부산물 비료 퇴비는 유기물, 유기물대 질소비, 구리 크롬, 비소, 납, 카드뮴, 수은 등 특정 유해성분에 대해 일정 수준의 기준치만 만족하면 유기질 비료 생산이 가능하기 때문에 대개의 경우 비과학적 방식에 의해 퇴비가 제조 유용되고 있다[11]. 그러나 퇴비화 이후 미생물상을 분석해 보면 각종 유해 병원미생물이 다량 검출되는 경우도 있으나 이를 규제할 법적 대안이 없는 상태이며 다기능 우량균주를 이용한 퇴비화 방안을 모색하거나 퇴비화 했을 때 병해 미생물들이 사멸되는지 퇴비화 후 길항균, 환경호르몬 분해균 등 유용미생물을 첨가하여 기능성을 증가시키는 등에 관한 연구가 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구는 기능성 미생물퇴비를 생산하기 위한 목적의 일환으로 유용미생물인 방선균이 서식하기 좋은 환경의 퇴비재료인 팽이버섯 폐배지와 축산폐기물을 혼합하여 폐상퇴비를 제조한 후 이들의 이화학적 성분과 미생물상을 분석하여 보고하는 바이다.

재료 및 방법

1. 퇴비의 재료

본 연구에 사용된 퇴비는 팽이버섯(*Flammulina velutipes*)의 병재배용 폐배지(톱밥 40%, 미강 30%, 밀기울 20%, 옥수수심 10%), 일반 축산폐기물(톱밥 18%, 우분 20%, 돈분 48%, 커피박 12%, 미강 2%) 및 버섯 폐배지와 축산폐기물을 1:2로 섞은 폐상퇴비 등 3종류의 퇴비를 제조에 이용하였다. Table 1에서와 같이 축산폐기물 퇴비화 재료의 이화학적 성질은 총질소 2.94%, 인산 4.32%, 수분함량 76.9%, 탄질율 14%로 구성되어 있었고, 버섯 폐배지는 총질소 0.36%, 인산 0.05%, 수분함량 60.4%, 탄질율 265로 다소 낮게 나타나 있었다.

Table 1. Physio-chemical propertices of compost ingredients used

	T-N	O.M	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	M.C	B.D.	CN[1]
			(%, dry base)				(%)	(kgm-3)	ratio
Livestock	2.94	80.9	4.32	2.04	3.80	1.46	76.9	984	14
Mushroom	0.36	92.4	0.05	0.24	0.16	0.06	60.4	167	265
Mixture(2:1)	1.28	90.1	2.37	1.62	2.09	1.12	70.8	103	70

M.C.: moisture content. B.D. : Bulk density

2. 퇴비화 방법

3종류의 퇴비화 원료를 잘 혼합하여 용량이 6 m^3(1.5m×2m×2m)인 블록으로 제조한 간이 퇴비장에 투입하였으며 초기 퇴비화가 진행되는 동안에는 1개월간 송풍형 고정더미 방식으로 강제송풍(Air pump, 10L/min)하며, 수분함량만 50-60%로 조절하고 부숙시키고 그 후 송풍형 연속이동방식으로 퇴비상 밑에 있는 배기관을 통하여 배출식으로 강제송풍하며 뒤집는 기계(turner)가 퇴비상을 천천히 주행하면서 퇴비더미를 뒤집어 하루에 60cm 씩 전방으로 이동하며 약 20일 후에는 1차 부숙이 끝난 상태가 되고 별도의 공간에서 2차 부식을 진행하며 상황에 따라 중장비로 뒤집기를 계속 실시해 주며 수분함량을 물공급으로 조절하였고 전체 6개월 동안 퇴비화를 실시하였다.

3. 이화학적 성분분석

시료는 원추4분법에 의거하여 채취하여 균일하게 혼합하고 음지에서 풍건한 후 1mm 체를 통과한 것만을 이화학성 분석에 사용하였다. 성분분석은 농촌진흥청 토양 식물체 분석법[6]에 준하여 수행하였으며, pH meter, EC meter, Salt meter는 1:10법, 총질소는 Kjeldahl법을 이용한 자동질소분석기(Tecator 사, Kjeltec auto sampler system 1035 analyzer, 스웨덴), 총탄소는 회화법 및 Tyurin법, 총인은 $HClO_4$로 분해한 후 원자흡광분광계로 분석하였고, 미량원소 및 중금속은 ICP (Inductivity Coupled Plasma, Thermo Jarrel Ash사, IRIS/AP, 미국)로 분석하였다.

4. 미생물의 분석

균수는 균원시료 1g을 0.85% NaCl 용액에서 삼단 희석하여 2가지 방법으로 계수한 후 그 평균값으로 나타내었다. 첫째, 각종 미생물분리용 배지에 상기 희석액을 0.1㎖ 도말하여 배양한 후 형성된 colony를 계수한 것, 둘째, 균수 측정 kit인 3M Co., Petrifilm™ plate를 이용하여 상기 희석액을 1㎖ 도말하여 배양한 후 계수한 것을 평균하여 cfu/㎖으로 나타내었다. 세균수 측정에 사용된 배지는 GY배지(glucose 1g, yeast extract 2.5g, peptone 5g, agar 15g, NaCl 0.5g, 증류수 1 ℓ, pH 7.0), 방선균 계수에는 SCA 배지(starch 10g, casein 1g, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 1.02g, K_2HPO_4 0.5g, agar 15g, 증류수 1 ℓ, pH 7.0), 사상균 계수에는 PDA 배지(potato 200g, glucose 20g, agar 15g, 증류수 1 ℓ, pH 7.0)을 각각 사용하여 세균은 37℃, 방선균은 30℃, 곰팡이는 28℃에서 배양하였다.

미생물의 동정은 세포벽의 지방산의 조성으로 자동 동정하는 Microbial ID Inc.의 Sherlock system (미생물동정장치, GC : HP Co., 6890 series)을 이용하였고, 곰팡이는 광학현미경으로 관찰하며 일반적인 동정법으로 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 버섯 폐상퇴비의 이화학적 성분 분석

팽이버섯의 병재배용 폐배지, 일반 축산폐기물 및 버섯 폐배지와 축산폐기물을 1:2로 섞은 폐상퇴비 등 3종류를 6개월간 부숙 시킨 후에 부산물 비료로서 공정규격 적합성을 검토한 결과, Table 2에서와 같이 유기물 함량은 각각 50.36, 41.37, 43.29%로 나타났고, 유기물함량/질소비는 37.86, 41.79, 27.00으로, 전질소함량은 1.33, 0.99, 1.60%로 나타났으며, 모든 시험구에서 유기물함량과 중금속함량이 부산물 품질기준에 적합하게 나타났다.

Table 2. Qualities of waste compost after composting for 6 months(dry basis)

	Standard	Livestock	Mushroom	Mixture(2:1)
O.M.(%)	over 25	50.36	41.37	43.29
C/N ratio	over 50	37.86	41.79	27.00
T-N(%)	-	1.33	0.99	1.60
P_2O_5(%)	-	1.02	1.71	1.32
K_2O(%)	-	0.96	0.58	1.18
W.C.(%)	below 50	38.32	49.07	46.48
S.C.(%)	below 1	0.80	0.11	0.64
pH	-	7.21	5.87	7.33
EC(mS/cm)	-	2.99	3.78	3.84
Pb(㎎/kg)	below 150	2.10	0.91	1.32
Cd(㎎/kg)	below 5	0.04	0.05	0.03
Cu(㎎/kg)	below 500	121.39	3.13	86.26
Cr(㎎/kg)	below 300	4.60	4.99	4.59
As(㎎/kg)	below 50	0.13	0.55	0.19
Hg(㎎/kg)	below 2	trace	trace	trace
Zn(㎎/kg)	below 900	152.23	18.11	126.97
Ni(㎎/kg)	below 50	3.81	1.46	4.63

O.M., organic matter; C/N, carbon nitrogen ratio; T-N, total nitrogen; W.C., water content; S.C., salt content

3종류 퇴비의 pH를 조사한 결과, 일반 축산폐기물 퇴비(이하 축산 퇴비라 칭함)는 7.21로 나타났고, 버섯 폐배지(이하 폐배지 퇴비라 칭함)는 5.87, 1:2로 혼합한 폐상퇴비(이하 폐상퇴비라 칭함)는 7.33으로 나타났다. Cardenas 등(1989)은 퇴비화 과정중 pH는 발효초기에 감소하다가 기질의 분해로 인한 암모니아 등의 영향을 받아 점차 상승하고 최후에는 안정화 과정을 거쳐 pH가 7~8 정도가 된다고 하였고 Mori(1981)는 퇴비화 초기에는 pH가 8~10정도로 상승하지만 퇴비화가 진행됨에 따라 유기물이 분해되는 과정에서 유기산 또는 질산이 생성되어 pH가 서서히 저하되어 최종적으로 6~7정도가 된다고 하였다. 본 실험에서 축산퇴비와 폐상퇴비는 pH가 각각 7.21과 7.33으로 비교적 안정화되었다고 판단되나 폐배지 퇴비는 5.87로 나타나는 것으로 보아 초기 미생물의 수가 적어 완전한 퇴비화가 되지 않았거나 또는 퇴비화 진행이 늦어 세균의 유기물 분해로 인한 산 생성이 그 원인으로 판단된다.

제조한 퇴비의 유기물함량/질소량(C/N)을 조사한 결과, 축산퇴비는 37.86, 폐배지 퇴비는 41.79로 비교적 높게 나타났으나, 폐상퇴비는 27.00으로 적절하였다. 일반적으로 퇴비부숙 초기에 적합한 C/N은 25~35 수준이며 높은 C/N율은 퇴비화 속도를 지연시키고 높은 C/N은 과다한 질소손실과 악취를 발생시킨다고 하여 초기 C/N을 적절히 맞추는 것이 수분조절과 함께 퇴비화에 중요한 인자로 인식되고 있다. 본 연구결과에서도 상기 pH의 결과와 거의 동일하게 폐배지 퇴비에서는 미생물의 수가 적은 것이 그 원인으로 사료된다. 이는 일반 팽이버섯 농장에서 사용하는 병배지는 완전한 살균을 통해서 버섯을 재배하게 되므로 실제 폐배지 내에도 미생물의 수가 아주 적거나 거의 없는 상태라 볼 수 있다. 따라서 폐배지 원료만 퇴비화에 사용하는 것보다 폐배지퇴비에 축산폐기물 원료를 혼합하여 폐상퇴비를 만들어 사용하는 것이 그 우수한 퇴비가 될 것으로 본다.

2. 버섯 폐상퇴비의 미생물 분석

축산퇴비의 미생물 함량분석결과 Table 3에서와 같이 세균류가 1.463 x 10^{10} (cfu/g), 방선균류가 2.08 x 10^{6} (cfu/g), 곰팡이류가 3.2 x 10^{4} 로 나타났고, 폐배지퇴비는 세균류가 5.4 x 10^{8} (cfu/g), 방선균류가 1.04 x 10^{6} (cfu/g), 곰팡이류가 2.1 x 10^{4} 로 나타났으며, 폐상퇴비에서는 세균류가 1.6 x 10^{10} (cfu/g), 방선균류가 4.02 x 10^{6} (cfu/g), 곰팡이류가 4.7 x 10^{4} 로 나타났다. 세균은 퇴비화 초기과정에 우점하며 쉽게 이용할 수 있는 간단한 기질에서 신속하게 증식할 수 있고, 높은 온도 및 낮은 산소 농도에서도 잘 견딜 수 있기 때문으로 알려져 있다. 본 실험 결과에서도 세균류가 3종의 퇴비 모두에서 가장 많이 존재하였고 특히 폐상퇴비, 축산퇴비, 폐배지퇴비 순으로 각각 1.6 x 10^{10}, 1.463 x 10^{10}, 5.4 x 10^{8} (cfu/g)으로 나타나 폐상퇴비는 폐배지퇴비에 비해 세균류의 비가 거의 30배로 절대적으로 많이 나타나는 것을 볼 수 있다. 그러나 방선균의 경우에서 폐상퇴비는 폐배지퇴비에 비해 방선균류의 비는 약 2배 가량 많이 나타났으며, 곰팡이류의 수도 약 2배 가량 많이 나타났다. 이러한 방선균과 곰팡이류의 수가 축산퇴비와 비교하여 많이 나타나는 것은 Straasma 등(1997)의 시험결과의 경우처럼 버섯 재배상 퇴비화에 있어서 비교적 고온에서 다양한 고온성 균류가 출현함을 보고한 내용과 거의 비슷한 결과를 보이고 있다.

Table 3. Number of microorganisms of composts completed

	Aerobes (x 10^{8})	Actinomycetes (x 10^{6})	Fungi (x 10^{4})
Livestock	146.3	2.08	3.2
Mushroom	5.4	1.03	2.1
Mixture(2:1)	160.0	4.02	4.7

3. 버섯 폐상퇴비의 미생물 동정

버섯 폐배지와 축산폐기물을 1:2로 섞은 폐상퇴비에 존재하는 미생물을 동정한 결과, Table 4와 같이 세균류는 *Bacillus* sp.가 주종을 이루며 *Bacillus lentimobus*가 가장 많이 존재하였고 그 다음 *B. coagulans, B. brevis, Clostridium thermocellum, Escherichia coli* 등의 세균이 존재하였다. 방선균류는 주로 *Streptomyces thermovulgaris, S. thermofuscus* 등 *Streptomyce* sp. 가 주종이며 *Micropolyspora faeni*도 존재하였다. 곰팡이류는 광학현미경을 동정한 결과 *Aspergillus* sp.나 *Penicillum* sp. 등이 존재하는 것으로 확인되었다.

Table 4. Identification of the isolated strains from composts completed by MIDI system

Aerobes (Similarity)	Actinomycetes (Similarity)	Fungi
Bacillus lentimobus (0.856)	*Streptomyces thermofuscus* (0.451)	*Aspergillus* sp.
Bacillus brevis (0.992)	*Streptomyces thermovulgaris* (0.617)	*Penicillum* sp.
Bacillus coagulans (0.675)	*Micropolyspora faeni* (0.243)	
Clostridium thermocellum (0.781)		
Escherichia coli (0.693)		

이 등(2001)의 결과에 의하면 퇴비화 초기의 미생물은 주로 *Bacillus lentimorbus, B. megaterium, B. licheniformis* 등이 많이 분리 되었으며, 후기로 갈수록 *Bacillus coagulans, B. circulans, B. pumilus* 등이 많이 분리되었다고 보고하였다. 그러나 본 연구에서는 *Bacillus* sp.를 포함한 다양한 미생물 상을 나타내고 있는 특성을 가지고 있다.

이 등(1996)은 *Micrococus* sp., *Bacillus subtilis, Pseudomonas putida, P. fluorenscens* 등이 함유된 퇴비를 고추에 적용하였을 때 고추 생육이 좋았다고 보고하였고 또한 김 등(1995)은 *B. subtilis*와 *P. fluorescens* 복합처리에 의한 *Rhizoctonia solani*의 생육억제 효과를 보았다고 보고하였다.

유용미생물의 퇴비적용은 토양과 작물에 유용한 미생물을 선별하고 퇴비에 투입되는 미생물과 토착화되어 퇴비에 우점하고 있는 미생물 상호간에 생육경쟁이 없는 관계가 되어야 하며 퇴비에 존재하거나 우점하여 있는 미생물의 종류도 다양할수록 외부 유용미생물의 투입이 용이할 것이다. 이러한 관점에서 본 연구의 폐상퇴비에는 각종 세균류, 방선균류 및 곰팡이류가 우점하여 존재하고 있으며, 이들 미생물들은 기존 길항력이 높거나 작물의 생육을 촉진하는 미생물들이므로 여기에 유사한 각종 유용미생물을 투입하기가 용이하므로 버섯 폐상퇴비는 기능성 퇴비 제조에도 이용 가능할 것을 사료된다.

적 요

본 연구는 팽이버섯의 병재배용 폐배지를 이용하여 폐상퇴비를 제조하고 퇴비의 이화학성 및 미생물을 분석한 내용이다. 폐상퇴비의 유기물 함량은 43.29%, 유기물함량/질소비는 27.00, 전질소함량은 1.60%, 수분함량은 46.48%, 염농도는 0.64%, P_2O_5는 1.32%, K_2O 1.18%로 나타났다. 퇴비내 존재하는 미생물의 수는 1.6 x 10^{10}(cfu/g)으로 나타났으며, 이들 미생물을 동정한 결과 대부분이 *Bacillus* sp.으로 나타났고 주로 *B. lentimobus, B. coagulans, B. brevis, Clostridium thermocellum, Escherichia coli* 등이 존재하였고, 방선균류는 주로 *Streptomyces thermovulgaris, S. thermofuscus* 등 *Streptomyce* sp.가 주종이며, *Micropolyspora faeni*도 존재하였다. 곰팡이류는 *Aspergillus* sp.나 *Penicillum* sp. 등이 존재하는 것으로 확인되었다.

참고문헌

1. Cardenas, R. R. and L. K. Wang. 1989. Evalution of city refuse compost maturity : A review. Biological Wastes 27 : 115-142.
2. Macauley, B. J., B. Stone, K. Liyama, E. R. Harper and F. C. Miller. 1993. Compostering research runs "hot and cold" at La Trobe University. Compost Sci. Utiliz. 1 : 6-12.
3. Mori, T., A. Narita, T. Amimoto and M. Chino. 1981. Composting of municipal sewage sludge mixed with rice hulls. Soil Sci. Plant Nutr. 27(4) : 447-486.
4. Straasma, G., R. A. Samson, T. W. Olijnsma, H. J. M. Op den Camp, J. P. G. Gerrits and L. J. L. D. Van Griensven. 1997. Ecology of thermophilic fungi in mushroom compost with emphasis on *Scytalidium thermophilum* and growth stimulation of *Agaricus bisporus* mycelium. Appl. Environ. Microbiol. 63 : 454-458.
5. 김광식, 강용웅, 최영수. 1995. 원예작물 생산성에 미치는 미생물제제의 복합적 이용연구. 한국토양비료학회지 28(2) : 191-205.
6. 농촌진흥청 농업과학기술원. 2000. 토양 및 식물체 분석법 : p202.
7. 이영한, 윤한대, 하호성. 1996. 식물생육촉진 세균 분리, 동정과 고추에 대한 처리효과. 한국토양비료학회지 29(1) : 67-73.
8. 이종태, 남윤규, 이진일. 2001. 보조재료별 돈분 퇴비화 과정중 이화학적 특성과 미생물상 변화. 한국토양비료학회지 34(2) : 134-144.
9. 정재춘, 박형숙, 김중기, 박용남, 김경숙, 원효정. 1999. 퇴비화 공정에 출현하는 미생물의 종류 및 생태학적 기능. 폐기물자원화 7(2) : 1-23.
10. 홍재식, 고무석, 김정숙, 이극노. 1984. 느타리버섯 폐상퇴비 산가수분해액을 이용한 효모생산. 한국농화학회지 27(4) : 231-237.
11. 황경숙, 장기원. 1996. 축산폐기물의 퇴비화 과정중 미생물상의 변동. 한국토양비료학회지 29(3) : 303-311.