

버섯 수확 후 배지의 산업적 활용

강희완^{1,2,*}

¹한경대학교 원예생명과학과

²한경대학교 유전공학연구소

Industrial utilization of spent mushroom substrate

Hee-Wan Kang^{1,2,*}

¹Department of Horticultural Life Science, Hankyong National University, Anseong 17579, Korea

²Institute of Genetic Engineering, Hankyong National University, Anseong 17579, Korea

ABSTRACT: Over a million tons of spent mushroom substrate (SMS) are generated as by-products of mushroom cultivation every year in Korea. Disposal of SMS by mushroom farmers is difficult, therefore, recycling solutions that do not harm the environment are necessary. SMS consists of mushroom mycelia and residues of fruiting bodies, containing a variety of bioactive substances, such as extracellular enzymes, antimicrobial compounds, and secondary metabolites. This paper reviews utility of SMS for bioremediation, controlling plant disease, and production of lignocellulytic enzymes, organic fertilizer, and animal feed.

KEYWORDS: Recycling, Spent mushroom substrate, Utilization

서 론

국내 버섯 총생산량은 19만 여 톤으로 농산버섯의 경우 버섯생산의 자동화가 급속도로 확충 되면서 병 재배가 주요 생산기술로 정착되어 팽이, 큰느타리, 느타리버섯으로 식용버섯의 88% 이상을 차지하고 양송이, 노루궁뎅이버섯, 목이, 느티만가닥버섯 등을 포함하여 14.9만톤 정도가 생산되고 있으며(Ministry of agriculture, food and rural affairs, 2018). 임산버섯은 표고버섯이 주종으로 하여 2018년 24,800톤 정도가 생산되었으며 생산량증대를 위하여 원목재배에서 톱밥을 이용한 봉지재배로 급속히 전환되어 왔다(Korea Rural Economic Institute. 2019). 버

섯배지에 사용되는 재료로 톱밥, 콘코브, 면실박, 비트펠프 등 대부분이 수입에 의존 하고 있으며 버섯을 수확 하고 남은 버섯을 수확 후 배지 (spent mushroom substrate, SMS)라고 하며 버섯 수확후배지는 버섯 1 kg을 생산하는데 5 kg정도 발생(Williams *et al.*, Kang *et al.*, 2017) 되는 것을 고려하면 국내에서 대략적으로 약 100만톤 이상이 생산 되고 있는 것으로 산출 된다. 느타리버섯, 큰느타리버섯, 팽이버섯과 같이 병재배의 경우 톱밥의 첨가량을 줄이거나 톱밥 대신 콘코브나 면실피, 밀기울, 미강 등을 사용하고 있고 자동화 설비에 의한 대규모 재배로 연중 안정적인 버섯 수확 후 배지의 수급이 가능하다는 장점이 있다. SMS가 자연에 방출 될 경우 환경오염과 생태계 교란 등 많은 문제점이 유발 될 수 있다. 따라서 SMS의 재 활용 방안이 체계적으로 연구되어 산업적 활용에 적극적으로 적용할 시점에 있다. SMS는 봉지 또는 병 재배형태로 종균을 접종한 후 30-40일의 균사 생장과정과 10여일의 버섯 자실체생산과정을 마친 후 얻어지는 미생물 배양체로 볼 수 있으며 배지에 목질분해효소, 다양한 2차대사 물질 등 산업적 유용 물질이 다량 잔존하여 간단한 추출 과정만으로 저 비용으로 고 부가가치의 유용자원으로 전환시킬 수 있다는 점에서 주목 된다. 미생물에의한 유용물질 생산을 위하여 액체배양의 submerged fermentation (SF)방법과 콘코브, 톱밥 등을 이용한 Solid state fermentation (SSF)방법이 알려져 있다(Subramaniyam and Vimala,

J. Mushrooms 2019 September, 17(3):85-92
<http://dx.doi.org/10.14480/JM.2019.17.3.85>
 Print ISSN 1738-0294, Online ISSN 2288-8853
 © The Korean Society of Mushroom Science

*Corresponding author
 E-mail : kanghw2@hknu.ac.kr
 Tel : +82-31-670-5420

Received August 20, 2019
 Revised September 5, 2019
 Accepted September 5, 2019

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Table 1. Utilization on properties of spent mushroom substrate

Spent mushroom substrate	Utilization
Physical properties	Land restoration, Soil conditioner
	Reduction of soil compaction
	Reduction in soil erosion
	Improvement of drainage
	Increase of water retention capacity in soil
Chemical properties	Feedstock for heat and power production
	Addition of macro and micronutrient
	Bioremediation (restoration of contaminated soils and water)
	Organic fertilizer
	Soil conditioner
Biological properties	Extraction of lignocellulytic enzymes, cellulase, xylanase, laccase et al.
	Enhanced activity of microorganisms
	Plant disease controls
	Antibiotic production by beneficial microorganisms
	Reuse in mushroom substrate
	Feeding for livestock

(Suess and Curtis, 2006)

2012). SSF방법의 농업적 활용은 식물병원균, 해충의 생물학적 방제에 유효한 물질생산을 위한 *Beauveria metarhizium*, *Trichoderma* spp.의 배양과 산업적 활용으로는 Amylase, Cellulase, Protease, Pectinase, Xylanase, Laccase 등의 산업효소, Penicillin 등 항생물질생산, Citric acid, Fumaric acid 등의 유기산 생산 등에 활용 되고 있다. SSF는 SF보다 자연환경에 유사하여 다양한 물질과 고 생산성을 유도 할 수 있으며 저비용으로 공정이 간단하다 (Subramaniyam and Vimala, 2012).

Table 1은 SMS물리적, 화학적, 생물학적 효과를 정리한 것이다. 물리적효과로는 토양조절제, 토양의 구조개선, 토양침식방지, 토양보습력개선 하여 궁극적으로는 농토개량에 효과를 볼 수 있으며 재생 에너지 생산을 위한 공급 원료로서 SMS를 사용하는 것에 대한 상당한 관심과 연구가 수행 된 바 있다(McCahey et al., 2001; Suess and Curtis, 2006; Williams et al., 2009). SMS를 펠렛화한 원료를 가열하고 전기를 발생하기 위해 열 회수 시스템을 사용하는 것이 포함되며 가스와 열의 형태로 에너지를 생산 한다(Suess and Curtis, 2006). SMS의 화학적 효과로는 식물에 영양원을 공급 할 수 있는 유기질 비료로 활용, 토양, 물 또는 공기의 오염 물질을 분해하는 bioremediation, SMS에 잔존하는 목질분해효소의 산업적

활용을 들 수 있다(Lim and Kang, 2006). 생물학적 효과로서 SMS 추출물의 식물병 방제 이용, 항생제 생산을 위한 유효균을 SMS에 재 접종하여 SSF배지로 재활용, 버섯배지를 위한 SMS의 재 활용을 들 수 있다. 특히, SMS는 가축과 고기사료 활용을 위한 많은 연구가 수행 된 바 있다(Braun et al., 2000; Mann et al.,1994; Moon et al., 2012; Rinker, 2017; Sevilla et al.,1989).

본 논문에서는 버섯 수확 후 배지의 목질분해효소 분리 이용, 식물생장촉진 효과, Bioremediation, 식물 병 방제, 가축사료에 대한 과학적 연구와 산업적 적용현황을 종합적으로 검토하여 SMS의 유용한 농업부산물 원료로서의 활용자료를 제공하는데 목적이 있다.

버섯 수확 후 배지의 식물생장촉진 효과

SMS는 토양개량제로 이용되었으며 잠재적으로 토양비료로 이용가치가 높다(Szmidt, 1994) SMS에 함유된 cellulose와 lignin분해산물과 기본적인 비료성분인 NPK와 Mg, Fe, Cu등 미량원소를 포함하고 있어 식물에 유용한 영양원으로 작용 할 수 있으며 토양구조와 공극, 수분보습력을 개선시키는데 중요하게 작용 하여 작물의 생산성을 극대화 하며 토양개량에 중요한 작용을 하는 것으로 평가 되었다(Lohr, 1984; Maher, 1994; Suess and Curtis, 2006).

큰스타리 SMS 물 추출액을 토마토유묘에 관주 처리하고 생육 촉진 효과를 조사한 바 대조구에 비하여 초장이 47% 이상 증가되었으며 엽장과 엽폭의 경우는 15~25%, 잎 수는 30~40%, 생체량이 85% 이상, 뿌리생체량도 70% 이상 증가되는 식물생장촉진효과를 보고 한 바 있다(Kwak et al., 2015). 국외에서는 산스타리버섯(*Pleurotus pulmonarius*)의 SMS가 오크라, 토마토, 고추의 성장촉진을 위한 토양조절제로 이용 된 바 있으며(Jonathan et al., 2011) SMS처리구는 비 처리구에 비하여 식물체의 초장이 2배 이상의 성장을 촉진시켰으며 잎 수의 경우도 2배 이상 증가되어 야채 식물의 수확량이 현저히 증가되었다고 하였다. 큰스타리버섯 수확 후 배지를 이용한 유기퇴비를 제조하여 퇴비 원료로서의 이용가능성연구를 수행한 바 있다(Kim et al., 2014). 퇴비의 발아능력을 검증하기 위해 오이, 무, 상추, 배추를 파종한 후 발아율과 발아지수를 측정하였으며 SMS 100%처리구에서 가장 큰 발아 지수를 나타내었다. SMS는 버섯이 생산하는 강력한 목질 분해 효소활성으로 배지가 당화되고 균사체가 다양한 다당체를 생산하며 단백질, 회분, 질소, 인성분이 증가하고 지방, 섬유소, 리그닌, 셀룰로스가 감소함으로써 식물 성장촉진에 유용한 유기질 비료와 미량요소를 공급하여 식물성장에 도움을 줄 뿐 아니라 토양구조를 개선시킴으로 토양공극과 보습력을 증가하여 토양조절제로 작용할 수 있다(Suess and Curtis, 2006). SMS를 이용한 작물생산은 표고버섯과 팽이버섯 SMS를 이용하여 토마토와 멜

론생산에 적용 한 바 있으며 양송이 SMS를 이용하여 자두, 사과 등 과수재배의 유기질 비료로 사용 된 바 있다 (Uzun, 2004, Zhu *et al.*, 2013). 향 후 SMS로부터의 미량요소 분리 방법과 유기성분의 추출로 가공처리기술이 개발 된다면 매우 유용한 미량요소 복합비료로 개발할 수 있을 것으로 전망 된다.

버섯 수확 후배지로부터 목질 분해효소분리

대부분의 바이오매스의 경우는 70% 이상이 cellulose와 hemicellulose 등의 섬유소로 구성되어 있으며 약 30% 정도가 lignin으로 구성되어 섬유소와 견고하게 결합되어 있어 섬유소분해를 방해한다(Buswell *et al.*, 1996). 바이오매스의 특성에 따라 균사체는 cellulase, xylanase 외 에도 lignin 분해효소를 분비하여 수목을 부패시키게 되며 갈색으로 변색시키는 것을 갈색부후균(Brown rot fungi), 백색으로 변색시키는 것을 백색부후균(White rot fungi)이라 한다. 갈색변색은 버섯균사체가 lignin을 적게 분해함으로 갈색형태로 남아 있게 되고 백색변색은 균사체가 lignin 분해효소를 다량 생산하여 백색으로 변색하는 것으로 생각 되고 있다(Lim and Kang, 2016). Cellulases와 대부분의 xylanase는 glycoside hydrolases 그룹의 효소로 알려져 있으며 최근에는 2,500종류 이상의 glycoside hydrolases가 115 families로 분류 되어 보고됐다(Sanchez, 2009). Lignin 분해효소는 laccase, manganese peroxidases(Mp), lignin peroxidases(Lp)가 알려져 있다(Saranyu and Rakrudee, 2007). 이러한 목질분해효소는 섬유산업, 바이오매스의 당화, 가축가공, 제빵산업, 양조산업 등에 활용도가 높다.

버섯재배의 자동화에 힘입어 병 재배가 널리 이용되고 있으며 SMS는 오염이 거의 없고 균사체와 효소활성이 잔존하고 있어 목질분해효소생산을 위한 매우 좋은 재료이다(Fig. 1). 버섯이 분비한 효소를 다양한 분야에 산업적으로 적용할 수 있다면 저 비용 고 부가가치 산업 효소를 생산할 수 있어 경제적 가치가 매우 높다고 할 수 있다. 버섯 SMS로부터 목질분해효소 생산연구는 표고버섯, 여름느타리, 양송이, 표고버섯, 느타리버섯, 팽이버섯 등에서 수행되었다(Ayala *et al.*, 2011; Ball and Jacson, 1995; Lim *et al.*, 2013; Lim *et al.*, 2012; Lim and Kang, 2016; Ko *et al.*, 2005; Singh *et al.*, 2003). Lim 등 (2012)은 Triton-X, 0.05 M sodium citrate(pH4.8)를 구성 하는 추출 buffer에 따른 느타리버섯과 팽이버섯 SMS 의 α -amylase, cellulase, β -glucosidase, xylanase, β -xylosidase, laccase의 효소활성도 조사하여 SMS로 부터의 목질분해 효소의 최적 추출조건을 조사한 바 있다. 느타리 SMS에서 amylase활성은 추출은 0.025% Triton-X buffer에서 높은 활성을 나타냈고, cellulase와 Xylanase는 0.05 M sodium citrate(pH4.8)에서 가장 높은 활성을 보였으며 Laccase의 경우는 물 추출에서 가장 높은 활성이 있는 것으로 보고 하였다. cellulase는 50°C에서 활성 적정 pH가

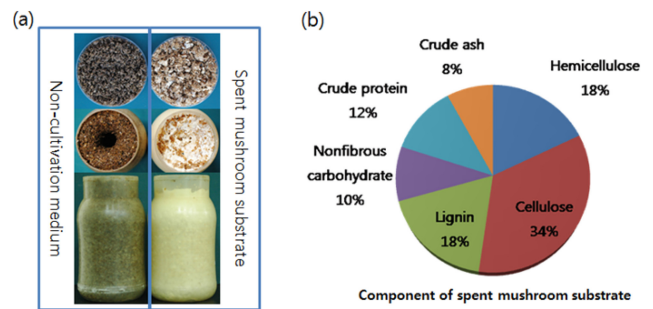


Fig 1. Characteristics of spent mushroom substrate compared to non-cultivation medium (a) and component of the spent mushroom substrate of *Pleurotus ostreatus* (b)

5.0-6.0이며 laccase는 pH 3.0-5.0인 점으로 미루어 보아 50 mM sodium citrate buffer (pH 4.5)가 좋은 추출 buffer중 하나로 선발 된 바 있다. 버섯의 생장 배지 pH가 5-7 이고 대부분의 곰팡이류의 laccase는 pH 4의 산성조건에서 기질을 잘 분해하며, cellulase, xylanase, 반응조건은 대부분 pH 4.5의 buffer에서 효소의 활성이 높다. 버섯 배지는 균사 생장단계에서 거치면서 배지성분을 분해하고 유기산 등의 산성화 성분이 생산되어 생식단계의 자실체 형성기에는 목질분해효소의 효소반응을 극대화 할 수 있는 최적 조건이 되어 효소활성이 급격히 증가하여 분해산물인 당화가 급격히 일어나는 것으로 생각 될 수 있으며 SMS의 낮은 pH는 위 효소 최적 반응조건에 무관 하지 않을 것으로 생각 된다.

Ball 등 (1995)은 양송이 SMS로부터 추출 buffer별 효소회수율을 조사한 결과 0.5 M phosphate buffer (pH 7.5) 보다 물을 첨가하고 물리적으로 blending한 SMS 에서 10 배 이상의 xylanase 활성이 높았다고 하였다. cellulase, xylanase, lignin 분해효소 활성을 보유한 SMS 효소추출액을 이용하여 밀짚을 분해하여 환원당을 생산하였으며 내열성과 안정성의 우수하여 동물사료의 목질섬유소분해하여 사료의 질을 높이는 데 잠재적으로 사용할 수 있을 것으로 제안 하였다. 다양한 버섯 중에서 생산된 SMS의 목질분해효소활성 특성을 조사하기 위하여 국내 주요생산 버섯인 느타리, 큰느타리, 팽이와 노루궁뎅이, 느티만가닥, 노랑느타리, 잣버섯, 버들송이를 사용 한 바 있다(Fig. 2, Lim *et al.*, 2013). 느타리버섯 SMS는 amylase (2.35 U/g), cellulase (1.6 U/g), xylanase (90 U/g), laccase (2.5 U/g)로 다른 버섯 종의 SMS에 비하여 고른 효소활성을 보였으며 큰느타리 SMS는 다른 버섯 종의 SMS보다 laccase 활성이 특이적으로 높게 나타났다(Fig 2). 팽이 SMS는 가장 높은 xylanase 활성을 보였으며 amylase와 cellulase도 비교적 높은 활성이 나타났으나 laccase 활성 극히 낮은 것으로 보고 되었다. 큰느타리 SMS의 높은 laccase활성을 산업적으로 적용성을 접근하기 위하여 remazol brilliant blue R (RBBR)과 congo red와 같은 인공색소의 탈색효과를

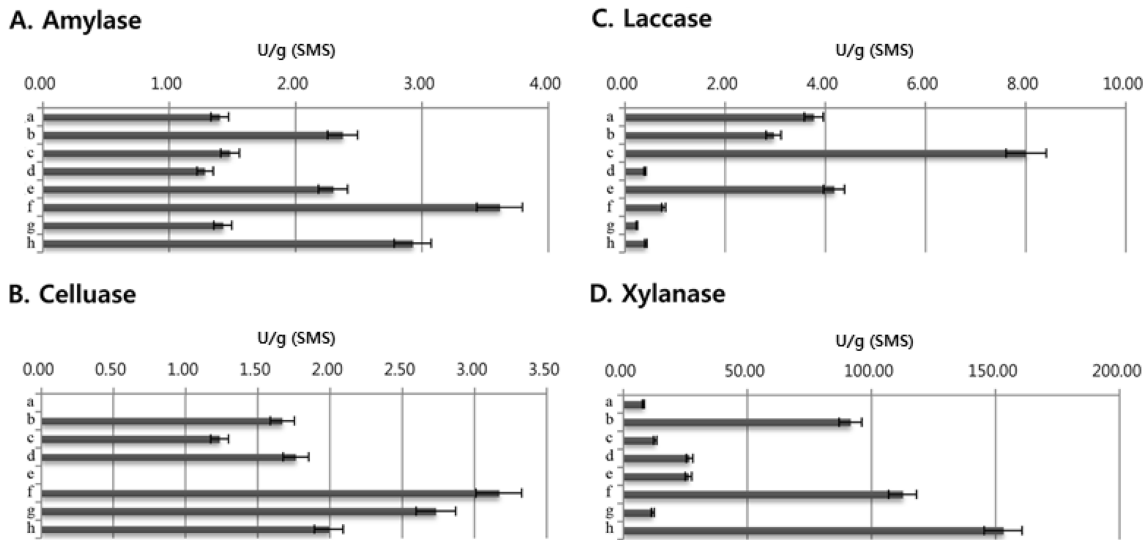


Fig. 2. Productivity of enzymes in spent mushroom substrate (SMSs) of different mushroom species. a, *Pleurotus cornucopiae*; b, *Pleurotus ostreatus*; c, *Pleurotus eryngii*; d, *Hericium erinaceum*; e, *Lyophyllum ulmarium*; f, *Agrocybe cylindracea*; g, *Lentinus lepideus*; h, *Flammulina velvipes*. The results are mean (\pm S.D.) of three replicate samples. (Lim et al., 2013)

조사 한 바 있으며 다른 버섯 종의 SMS보다 활성이 월등이 높은 것으로 보고 된 바 있다(Lim et al., 2013). Laccase의 대량생산을 위하여 유전자 재조합에 의한 세균, 곰팡이 등 미생물을 이용한 과 발현 방법이 시도 된 바 있으나, 발현산물이 lignin 분해 시 발생하는 분해산물 중 폐놀성분이 미생물 성장을 억제하여 효소의 대량생산에 걸림돌이 된다고 하였다(Couto and Toca, 2006). 또한 큰느타리버섯SMS는 다량의 lignin peroxidase를 5,969 U/g (SMS)를 생산하여 laccase를 포함하여 다량의 lignin 분해 효소가 포함 되어 있는 것으로 구명 되었다(Lim et al., 2012). 따라서 큰느타리SMS로부터의 lignin 분해효소 회수과정에 유용한 공정체계만 정착 된다면 대량생산에 의한 산업적 활용이 가능 할 것으로 전망된다. Lim 등 (2012)은 큰느타리버섯 재배농가로부터 SMS를 수거하여 농가별 SMS내의 효소활성을 조사하였다. 농가별 효소생산량에 큰 차이를 보인 것으로 나타났다. 특히 Xylanase함량이 농가별 SMS에서 2배에서 4배의차이를 보이고 있었으며 25 U/g에서 86 U/g까지 다양하게 나타났다. Laccase의 경우도 24 U/g에서 128 U/g으로 농가 SMS별로 다양하게 나타났으며 Lignin peroxidase의 경우 5969 u/g에서 6907 U/g활성으로 비교적 균일한 활성을 보였다. 이는 재배 배지의 표준재료는 미송톱밥, 콘코브, 면실박을 구성하며 목질톱밥이 50-80%의 높은 비율을 차지한다. 그러나 본 배지조성이 농가마다 달랐으며 효소활성의 차이는 효소기질이 되는 배지 원재료 조성에 기인된 것으로 생각 되고 있다.

바이오매스의 당화효소로서 다양한 *Coprinus comatus* (먹물버섯), *Auricularia auricular*(목이버섯), *Pleurotus ostreatus* (느타리버섯), *P. citrinopileatus* (노랑느타리),

Agrocybe cylindracea (백일송이), *Hericium erinaceus* (노루궁뎅이), *Hypsizygus marmoreus* (느티만가닥), *Tremella fuciformis* (흰목이) SMS로부터 Xylanase의 활성을 탐색하여 흰목이가 가장 높은 39.3 U/mL로 다른 SMS추출물보다 30배 이상의 활성이 있는 것으로 보고된 바 있다 (Lin et al., 2018). 따라서 흰목이 SMS로부터 다량의 Xylanase를 분리 DEAE-cellulose와 Gel-filtration column chromatography로 정제하여 알카리로 전 처리된 밀기울의 당화에 적용하여 75%까지 효율을 증가시켰다. Lim 등 (2013)은 큰느타리 SMS추출물을 이용하여 Filter paper의 분해 능력을 바이오매스 분해효소인 celluclast 1.5 (Novozyme 사)와 활성을 비교한 바 있으며 필적하는 농도에서 filter paper를 분해하였다. 이는 SMS효소가 바이오매스의 당화에 이용될 수 있는 것을 시사 하고 있다.

결론적으로 SMS에는 다량의 목질분해효소가 효소활성을 유지하고 잔존해 있으며 이를 분리하여 바이오매스분해 등 다양한 용도의 산업효소 생산을 위해서 분리공정과 정제기술 등이 확립된다면 활용적가치가 높을 것으로 사료 된다.

버섯 수확 후배지의 Bioremediation 효과

Bioremediation은 박테리아, 곰팡이 또는 식물과 같은 살아있는 유기체를 사용하여 공기, 토양 또는 물에서 원하지 않는 오염 물질을 제거하는 것을 말한다. SMS는 환경오염물질을 제거하는데 유효한 것으로 평가 되어 왔다. 양송이 SMS는 공기중의 황산(Shojaosadati and Siamak, 1999)과 휘발성 유기성분(Mohseni and Allen, 1999)을 제거하는데 유효한 것으로 보고되었다. 폐수는 다양한 산업 활동에서 생성되며 채광 작업에서 나오는 중금속, 섬

유 또는 플라스틱 산업에 사용되는 염료 또는 농업오염물질로 농약 등에 오염될 수 있다. 석유화합물에 오염된 발전소 토양의 오염원제거에 노랑느타리 SMS가 이용된 바 있으며 SMS는 석유를 분해하였을 뿐만 아니라 독성을 감소시키는 활성을 보였다(Chiu *et al.*, 2009). Regan (1994)이 살충제 잔재물을 SMS처리로 분해능을 제시한 이래로 다양한 SMS가 bioremediation에 사용되어 왔다. Pentachlorophenol (PCP)는 목재방부제로 널리 사용되는 살충제인 chlorophenol 계로 대부분 국가에서 금지된 품목이다. Chitin을 첨가한 산느타리버섯(*Pleurotus pulmonarius*) SMS 1 g당 15.5 mg의 PCP를 분해 하는 것으로 보고된 바 있으며 (Chiu *et al.*, 2009), SMS에 포함되어 있는 laccase와 같은 lignin 분해효소가 중요한 역할을 하는 것으로 생각되고 있다 (Law *et al.*, 2003). 또한 노랑느타리버섯 SMS추출물을 활용하여 살균제, chlorothalonil (2mg/L)를 100% 분해되었다고 하였다. 양송이 SMS의 석탄추출물내의 니켈, 방사선물질, 금속이온제거에 이용된 바 있으며(Chen, 2005), 느타리 SMS는 구리이온과 페놀성분제거에 이용된 바 있다(Gasecka *et al.*, 2012; Rinker, 2017). 첨가적으로 노랑느타리 SMS를 이용한 토양오염 석유화합물 di(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP)의 연구가 수행된 바 있다.

큰느타리 SMS는 다른 버섯 종 SMS보다 laccase와 lignin peroxidase 등의 lignin 분해효소를 대량생산하는 것으로 보고되었으며 (Lim *et al.*, 2012) 이를 다양한 염료의 탈색 등에 적용된 바 있다(Lim *et al.*, 2013). bromophenol blue과 remazol brilliant blue R 염료에서 각각 93.7%와 88.7%의 높은 탈색효과를 나타내었다. 그 외의 Congo red는 72.13%을 보인 반면에 다른염료는 60% 내의 탈색효과를 나타내었다. 특히 직물염색에 사용되는 Rit (red)와 Rit (blue)는 51.6%와 30.4%의 탈색효과를 보여 직물염료의 탈색효과에 유효하며 실증적 적용에서 섬유공장에서부터 수집한 산업 폐 염료를 큰느타리 SMS 추출물로 처리하였을 때 90%이상의 탈색효과를 나타내어 염료탈색의 산업적 활용성을 제시하였다(Lim *et al.*, 2014). Laccase는 구리이온을 포함하는 산화효소로서 목질에 있는 lignin을 구성하는 phenol 성분을 분해하며 곰팡이류, 세균류, 식물체에 분포하고 있는 것으로 알려져 있으며, 펄프의 탈색, 식품이나 폐수에 존재하는 유해 페놀성분을 제거하는 Bioremediation에 응용될 수 있다(Couto and Toca, 2006). Singh 등(2011)은 *Lentinus polychrous*의 laccases는 remazol brilliant blue R를 효과적으로 탈색하는데 중요한 역할을 하는 것으로 보고 했으며 여름느타리 (*P. sajor-caju*) SMS로부터 추출한 lignin peroxidase에 의하여 8종류의 염료(trypfan blue, amido black, remazol brilliant blue R, bromophenol blue, crystal violet, methyl green, congo red, methylene blue)의 탈색에 적용한 바 있다. 이상의 염료의 탈색화는 SMS에 함유되어 있는 lignin 분

해효소인 laccase와 lignin peroxidase의 효소활성과 SMS 자체의 물리적 흡수가 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다(Saranyu and Rakrudee, 2007). 따라서 고 활성의 lignin 분해효소가 잔존 하는 큰느타리 SMS는 저비용, 고효율로 Bioremediation과 친환경 탈색제로 다양한 산업분야에 활용 가능 할 수 있을 것으로 기대 된다.

버섯 수확 후 배지 활용 작물 병해충 관리

Suay 등(2000)은 담자균 204종 317균주를 이용하여 세균에 대한 항균효과를 탐색하여 109 species가 세균과 곰팡이의 성장을 저해하는 항균활성이 있는 것으로 보고한 바 있으며, 담자균의 자실체 균사체 유래 항균물질이 분리, 동정하여 보고 하였으나 대부분의 연구는 인체 병원균에 집중되어 왔다(Alves *et al.*, 2012). 최근 식용버섯 유래 배양여액을 이용하여 세균식물병원성 곰팡이와 식물병원성세균의 성장억제와 또한 고추역병균 병 방제에 적용한 연구가 보고된 바 있다(Chen and Huang, 2010). 그러나 균사체 배양여액을 포장에 적용하기 위해서는 균의 대량 배양 및 추출 시스템 등 부수적인 공정비용이 요구되어 경제적 효율이 문제점이 될 수 있다. 큰느타리버섯(*Pleurotus eryngii*), 표고버섯(*Lentinula edodes*), 잎새버섯(*Grifola frondosa*), 버들송이버섯(*Agrocybe cylindracea*) 민자조방망이 버섯(*Clitocybe nuda*) 등 식용버섯의 균사 배양체 배양여액을 이용한 식물 병원 진균 및 세균에 대한 항균활성이 탐색하고 고추역병에 대한 식물병 방제에 적용된 바 있다(Chen *et al.*, 2010). 그러나 균사체 배양은 별도의 대량배양 시스템과 고가의 추출장비 등이 필요하여 농업적으로 활용하기에는 경제적 부담이 있다. 대체 원재료로 SMS를 고려할 수 있으며 별도의 균 배양 단계 없이 추출 용매 첨가만으로 간단하게 추출물을 확보할 수 있어 저비용 고효율로 활용 가치가 높다.

양송이, 표고 SMS추출물을 활용하여 병원성 곰팡이 유래 선인장 밀둥썩음병, 토마토모썩음병, 토마토 시들음병 등 일부 식물 병해와 선충에 대한방제효과가 보고된 바 있다(Rinker DL, 2017). 잣빛만가닥버섯(*Lyophyllum decastes*) SMS의 물 추출물은 탄저병균의 포자발아억제 균사생장에 영향을 끼치지 않지만 병 방제가 70%이상으로 높은 식물병 방제효과 있는 것으로 보고되었다(Parada *et al.*, 2011). 이는 식물체에 존재하는 chitinase and b-1,3-glucanase 등의 병 저항성 유전자 발현을 유도하여 전신획득저항성(systemic acquired resistance)에 의한 것으로 제시 되었다. Zhu 등(2012)은 표고버섯 SMS로부터 추출한 수용성 다당체 (PL)를 이용한 항 세균 활성을 조사 하였던 바 황색포도상구균(*Staphylococcus aureus*) 대장균 등의 세균에 항균 활성이 있는 것으로 확인 하였다. 잣빛만가닥버섯과 큰느타리 SMS의 물 추출액을 이용하여 오이 흰가루병균(*Podosphaera xanthii*), 오이탄저병과 세균성반점병균(*Pseudomonas syringae* pv. *lachrymans*)의

병 방제효과를 확인 하였다(Parada *et al.*, 2012). 표고버섯 SMS를 이용한 인삼갯벌곰팡이병 방제효과가 보고되었으며(Lyu *et al.*, 2018), Kwak 등(2015)은 노루궁뎅이, 표고버섯, 잎새버섯, 느티만가닥 SMS 물 추출액을 이용하여 채소무름병균, 근두암종병균, 벼 흰잎마름병균, 굴 데랭이병균, 콩 불마름병균 등의 식물병원세균에 대한 항균 활성과 다양한 용매추출로 항균활성화합물을 조사 한 바 있다. Lee 등(2015, 2016)은 노루궁뎅이SMS추출물을 이용하여 시제품을 제조하여 *Ralstonia solanacearum*에 의해 발생하는 토마토 풋 마름병에 대한 포장에서의 방제효과를 조사한 바 있다. 특히, 노루궁뎅이SMS 물 추출물은 식물체성장을 촉진하고 토마토 풋 마름병에 대한 85%의 방제효과가 있었다고 하였다. 병 저항성 유도체(elicitor)는 기주세포내의 수용체에 인식 되고 salicylic acid (SA) 나 jasmonic acid(JA)와 같은 병 저항성 유도 신호전달물질을 자극 하여 병 저항성 유전자 발현을 유도한다. 유도 저항성은 전신획득저항(systemic acquired resistance, SAR)과 induced systemic resistance(ISR)이 있으며 SAR은 SA 의존적으로 *PR-1a*를 포함하는 pathogenesis-related (PR) 유전자의 발현을 유도하며 ISR은 Jasmonic acid (JA)와 ethylene(ET)의존적인 신호전달체계로 Plant Defensin 1.2 (PDF 1.2)과 같은 다른 PR 유전자를 유도하는 것으로 알려져 있다(Kang *et al.*, 2017). 노루궁뎅이SMS 물 추출물을 토마토 유묘에 처리 하였을 때 SMS 처리구는 대조구에 비하여 SAR기능의 *aPR-4 (GluA)*유전자와 *CaBPR-1 (PR-1a)*유전자는 3배에서 5배의 발현양을 보여 노루궁뎅이 SMS는 병 저항성 유도 성분이 있는 것으로 제시되었다. 표고버섯SMS는 pH 4 이하의 산성화로 되며 이는 oxalic acid와 phytic acid등 유기산이 다량생산되어 배지의 산성화에 기인되는 것으로 제시되었다(Kwak *et al.*, 2016). oxalic acid는 300 ppm이상에서 토마토 풋 마름병균을 비롯한 11 종의 식물병원세균에 항균활성이 나타나 oxalic acid가 항균활성에 중요한 역할을 하는 것으로 제시 하였다. 표고버섯SMS 물 추출물의 고추역병 방제효과에 대하여 연구를 수행 한 바 있다(Kang *et al.*, 2017). 표고SMS 물 추출물은 고추역병균(*Phytophthora capsici*)의 균사생장을 60%이상 억제 하였으며 고추역병 방제효과가 65%로 나타났다. 고추역병균에 oxalic acid를 처리 하였을 때 100 ppm부터 고추역병균의 균사생장이 억제되어 400 ppm에서 60%이상의 균사생장억제 효과를 보여 oxalic acid가 항균활성의 주요 원인인 것으로 추정 되었다. 또한, 표고SMS 물 추출물을 고추묘에 처리하고 Quantitative real-time PCR (qRT-PCR)로 병 저항성 유전자의 발현량을 조사 한 바 고추 병 저항성 유전자 *CABPR1 (PR 1 protein)*, *CaBGLU* (β -1,3-glucanase), *CaPR-4 (PR protein 4)*, *CaPR-10 (PR protein 10)*의 발현량이 발현량이 증가 되는 것이 확인 된 바 있다. 그러나 표고SMS내에 어떠한 성분이 병 저항성 유도체인지 밝혀지지 않았다.

SMS를 식물병충해 방제에 적용 하였을 때 식물생장을 촉진하고 항균활성과 병 저항성유전자 발현 증가 등 복합적인 요인에 의하여 병 방제 효과가 나타나는 것으로 생각 될 수 있으나 향후 SMS의 식물 병 억제 효과에 관련된 유효성분의 분리 동정이 과제로 남아 있다.

버섯 수확 후 배지의 가축사료 이용

버섯배지의 주원료는 가축 사료원료인 콘 코브, 밀강, 밀기울, 면실피, 비트펄프 등이고 버섯재배과정 에서 배지 영양원의 약 15-25% 정도만 버섯에 의해 이용되고 나머지 75-85% 정도는 SMS에 남아있기 때문에 가축사료자원으로 활용성이 높다. 또한 버섯균사체와 자실체 잔재물은 다량의 단백질로 구성되어 있기 때문에 반추동물에 있어서 반추위 미생물의 단백질 공급원으로 이용될 수도 있다 느타리 SMS가 소, 반추동물, 닭, 염소, 양 가축사료 연구로 가장 많이 사용 되어 왔으며(Rinker, 2017) 표고버섯SMS는 반추동물의 소화에 도움을 주는 재료로 평가 된 바 있다(Braun *et al.*, 2000). 그 밖에 벚집과 바나나 잎으로 배지를 제조하여 성장한 *Volvariella volvacea* (풀버섯) SMS가 양의 사료로 재 활용 연구가 수행 된 바 있으며(Sevilla *et al.*, 1989) *Coprinus fimetarius* (떡물버섯) 재 배용 벚집과 귀리대 조성 배지원료 제조한 SMS를 염소 사료화 연구가 수행 된 바 있다Mann *et al.*, 1994). 국내에서는 큰느타리 SMS를 발효하여 가축 사료첨가제로 활용 한 바 있으며 배지내의 난 분해성 톱밥이 동물의 소화 에 장애 요인으로 작용 하는 것으로 알려 졌다(Moon *et al.*, 2012). 고기사료로는 양송이 SMS를 이용한 잉어사료로 활용 된 바 있다(Sehgal *et al.*, 1993).

결 론

버섯 수확 후 배지(SMS)는 콘코브, 톱밥 등을 이용한 미생물 배양 Solid state fermentation(SSF)방법과 유사한 특성을 가지며 버섯이 생산하는 다양한 목질분해 효소와 이차대사산물이 포함하고 있다. 국내의 버섯생산에 자동화 시스템이 도입되면서 SMS는 무균적으로 확보가 가능하여 환경 친화적인 부가가치 물질추출이 유효하다. 1회 수확 후 버려지기 때문에 분해되지 않은 다양한 배지성분이 존재하며 cellulose, hemicellulose, lignin이 80% 이상이 분해되지 않고 남아 있어 배지의 재활용 측면에서 매우 유용하다. 본 고 에서는 버섯 수확 후 배지(SMS)의 목질분해효소 분리 이용, 식물생장촉진 효과, Bioremediation, 식물 병 방제, 가축사료에 대한 과학적 연구와 산업적 적용현황을 종합적으로 검토 하였으며 산업적으로 매우 유용한 재료로 평가 될 수 있었다. 국내에서 SMS가 100만 톤 정도 생산 되는 것으로 추정 되고 있으며 표고버섯의 톱밥방지재배로 전환되면서 더욱 증가 될 것으로 전망 된다. 그러나 SMS를 자연방치 함으로 환경오염과 생태계

교란 등 악영향을 미칠 수 있다. 따라서 SMS의 가공기술개발과 유용물질의 정제 및 제형화로 고 부가가치 산업소재로 활용함으로써 저가의 원료로 고 부가가치 제형을 만드는 체계적인 전략으로 추진되어야 할 것이다. 현재 SMS는 법률상 농산 폐자원으로 취급되어 유기농자재 등록 등 농업적 활용 제품화에 걸림돌이 되고 있다. 현재 SMS는 퇴비와 일부 가축사료로 매우 저가 또는 무료로 처분되거나 처치곤란으로 자연에 방치되기도 한다. 그러나 SMS는 버섯 재배의 자동화로 오염 없이 버섯만 순수배양된 미생물 고체배지(SSF)의 특성을 담은 미생물배양체로 취급되어야 한다. 향후 SMS의 미생물배양체로서의 등록에 의한 산업적 가치를 높여 다양한 분야에 고 부가가치 창출을 위한 원자재로 활용될 수 있기를 기대한다.

REFERENCES

- Alves MJ, Ferreira IC, Dias J, Teixeira V, Martins A, Pintado M. 2012. A review on antimicrobial activity of mushroom (Basidiomycetes) extracts and isolated compounds. *Planta Med* 78: 1707-1718.
- Ayala M, Gonzalez-Munoz SS, Pinos-Rodriguez JM, Vazquez C, Meneses, M, Loera O, Mendoza GD. 2011. Fibrolytic potential of spent compost of *Agaricus bisporus* to degrade forages for ruminants. *African J Microbiol Res* 5: 643-650.
- Aslam S, Saifullah. 2013. Organic management of root knot nematodes in tomato with spent mushroom compost. *Sarhad J Agric* 29: 63-69.
- Ball AS, Jacson AM. 1995. The recovery of lignocellulose degrading enzymes from spent mushroom compost. *BioresTechnol* 54: 311-314.
- Braun A, Wolter M, Zadrazil F, Flachowsky G, Mba CC. 2000. Bioconversion of wheat straw by *Lentinus tuber regium* and its potential utilization as food, medicine and animal feed. *Mushroom Sci* 15: 549-558.
- Buswell IA, Cai YJ, Chang ST, Peberdy IF, Fu SY, Yu HS. 1996. Lignocellulolytic enzyme profiles of edible mushroom fungi. *World J Microbiol Biotechnol* 12: 537-542.
- Chen G. 2005. A novel biosorbent: characterization of the spent mushroom compost and its application for heavy metals. *J Environ Sci* 17: 756-760.
- Chen JT, Huang JW. 2010. Antimicrobial activity of edible mushroom culture filtrates on plant pathogens. *Plant Pathol Bull* 19: 261-270.
- Cheong JC, Lee CJ, Suh JS, Yea-Hwang Moon YH. 2012. Comparison of physico-chemical and nutritional characteristics of pre-inoculation and post-harvest *Flammulina velutipes* media. *J Mushroom Sci Prod* 10: 174-178.
- Ching ML, Fong KL, David M. 1998. Spent oyster mushroom substrate performs better than many mushroom mycelia in removing the biocide pentachlorophenol. *Mycol Res* 102: 1553-1562.
- Chiu SW, Gao T, Chan CSS, Ho CKM. 2009. Removal of spilled petroleum in industrial soils by spent compost of mushroom *Pleurotus pulmonarius*. *Chemosphere* 75: 837-842.
- Couto SR, Toca Herrera JL. 2006. Industrial and biotechnological applications of laccases: a review. *Biotechnol Adv* 24: 500-513.
- Gasecka M, Drzewiecka K, Stachowiak J, Siwulski M, Golin'ski P, Sobieralski K, Golak I. 2012. Degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) by spent mushroom substrates of *Agaricus bisporus* and *Lentinula edodes*. *Acta Sci Pol-Hortoru* 11: 39-46.
- Jonathan SG, Lawal MM, Oyetunji OJ. 2011. Effect of spent mushroom compost of *Pleurotus pulmonarius* on growth performance of four Nigerian vegetables. *Mycobiology* 39: 164-169.
- Kang DS, Min KJ, Kwak AM, Lee SY, Kang HW. 2017. Defense response and suppression of *Phytophthora* blight disease of pepper by water extract from spent mushroom substrate of *Lentinula edodes*. *Plant Pathol J* 33: 264-275.
- Kim CH, Oh TS, Shin DG, Cho YK, Kim YW, Ann SW. 2014. Study on the development of horticultural media using recycled used mushroom media. *J Environ Sci Intern* 23: 303-312.
- Ko HK, Park SH, Kim SH, Park HG, Park WM. 2005. Detection and recovery of hydrolytic enzymes from spent compost of four mushroom species. *Folia Microbiol* 50: 103-106.
- Korea Rural Economic Institute. 2018. Agricultural outlook. pp 586-587.
- Kwak AM, Kang DS, Lee SY, Kang HW. 2015. Effect of spent mushroom substrates on *Phytophthora* blight disease and growth promotion of pepper. *J Mushrooms* 13: 16-20.
- Kwak AM, Lee IK, Lee SY, Yun BS, Kang HW. 2016. Oxalic acid from *Lentinula edodes*. Antimicrobial activity on phytopathogenic bacteria and qualitative and quantitative analyses. *Mycobiology* 44: 338-342.
- Law WM, Lau WN, Lo KL, Wai LM, Chiu SW. 2003. Removal of biocide pentachlorophenol in water system by the spent mushroom compost of *Pleurotus pulmonarius*. *Chemosphere* 52: 1531-1537
- Lee SY, Kang HW, Kim JJ, Han JH. 2015. Effect of spent mushroom substrates of *Hericium erinaceum* on plant pathogens of tomato. *Korean J Mycol* 43: 185-190.
- Lee SY, Kwak HS, Kang HW, Kang DS, Kim JJ, Han JH. 2013. Control of tomato bacterial wilt by the prototypes extracted from spent media substrate of *Hericium erinaceum*. *Korean J Mycol* 44: 318-322
- Lim SH, Kang HW. 2016. Industrial applications and characteristics of lignocellulolytic enzymes in basidiomycetous fungi. *J Mushroom* 14: 51-58.
- Lim SH, Kim JK, Lee YH, Kang HW. 2012. Production of lignocellulolytic enzymes from spent mushroom compost of *Pleurotus eryngii*. *Mycobiology* 40: 152-158.
- Lim SH, Lee YH, Kang HW. 2013. Efficient recovery of lignocellulolytic enzymes of spent mushroom compost from oyster mushrooms, *Pleurotus* spp., and potential use

- in dye decolorization. *Mycobiology* 41: 214-220.
- Lim SH, Lee YH, Kang HW. 2013. Optimal extraction and characteristics of lignocellulytic enzymes from various spent mushroom composts. *Mycobiology* 41: 160-166.
- Lin H, Sun MJ, Li JH, Xu QM, Wang Q, Xie WJ, Sun SJ, Hiu KH, Zhang LY. 2018. Purification and characterization of xylanase from spent mushroom compost and its application in saccharification of biomass wastes. *Bioresources* 13: 220-230
- Lohr VI, Wang SH, Wolt JD. 1984. Physical and chemical characteristics of fresh and aged spent mushroom compost. *Hort Sci* 19: 681-683.
- Lyu HL, Kim JK, Cho JH, Kang HW. 2018. Protective effects of extracts from spent mushroom substrate of *Lentinula edodes* on gray mold disease of ginseng. *J Mushrooms* 16: 170-174.
- Maher MJ. 1994. The use of SMS as an organic manure and plant substrate component. *Compost Sci Utili* 2: 37-44.
- Mann NS, Kumar N, Dahiya DVS, Khatta VK. 1994. Effect of *Coprinus fimetarius* on urea treated crop residues and its utilization by goats. *Indian J Animal Sci* 64: 1086-1091.
- Ministry of agriculture, food and rural affairs. 2018. Production performance of special crops. "<http://library.mafra.go.kr/skyblueimage/>"<http://library.mafra.go.kr/skyblueimage/>
- Mohseni M, Allen DG. 1999. Transient performance of biofilters treating mixtures of hydrophilic and hydrophobic volatile organic compounds. *J Air Waste Manage Assoc* 49: 1434-1441.
- Moon YH, Shin PG, Cho SJ. 2012. Feeding value of spent mushroom (*Pleurotus eryngii*) substrate. *J Mushroom Sci Prod* 4: 236-243.
- Parada RY, Murakami S, Shimomura N, Egusa M, Otani H. 2011. Autoclaved spent substrate of hatakeshimaji mushroom (*Lyophyllum decastes* Sing) and its water extract protect cucumber from anthracnose. *Crop Protect* 30: 443-450.
- Parada RY, Murakami S, Shimomura N, Otani H. 2012. Suppression of fungal and bacterial diseases of cucumber plants by using the spent mushroom substrate of *Lyophyllum decastes* and *Pleurotus eryngii*. *J Phytopathol* 160: 390-396.
- Regan RW Sr. 1994. Use of SMS as a compost matrix to degrade pesticide residuals. *Compost Sci Utili* 2: 56-62 SMS Symposium Proceedings. American Mushroom Association.
- Rinker DL. 2017. Spent Mushroom Substrate Uses. In D.C. Zied & A. Pardo-Gimenez, (ed.), *Edible and Medicinal Mushrooms: Technology and Applications*, First Edition. Wiley.
- Sanchez C. 2009. Lignocellulosic residues: biodegradation and bioconversion by fungi. *Biotechnol Adv* 27: 185-194.
- Saranyu K, Rakrudee S. 2007. Laccase from spent mushroom compost of *Lentinus polychrous* Lev. and its potential for remazol brilliant blue R decolourisation. *Biotechnology* 76: 408-413.
- Sehgal HS, Sharma S. 1993. A note on evaluation of some wastes and by-products from agriculture and animal husbandry as feed ingredients for *Cirrhina mirigala* (Ham.). *Bioresour Technol* 44: 9-11.
- Sevilla CC, Mojica RE, Quimio TH. 1989. Feeding value of spent mushroom (*Volvariella volvacea* Bull.) substrate-based diet in sheep. *Recent Adv Animal Nutr Aust* 22A
- Shojaosadati SA, Siamak E. 1999. Removal of hydrogen sulfide by the compost biofilter with sludge of leather industry. *Resour Conserv Recycl* 27: 139-144.
- Singh AD, Abdullah N, Vikineswary S. 2003. Optimization of extraction of bulk enzymes from spent mushroom compost. *J Chem Technol Biotechnol* 78: 743-752.
- Singh AD, Vikineswary S, Abdullah N, Sekaran M. 2011. Enzymes from spent mushroom substrate of *Pleurotus sajor-caju* for the decolourisation and detoxification of textile dyes. *World J Microbiol Biotechnol* 27: 535-545.
- Suay I, Arenal F, Asensio FJ, Basilio A, Cabello MA, Diez MT, Garcia JB, del Val AG, Gorrochategui J, Hernandez P, Pelaez F, Vicente MF. 2000. Screening of basidiomycetes for antimicrobial activities. *Antonie Van Leeuwenhoek* 78: 129-139.
- Subramaniyam R, Vimala R. 2012. Solid state and submerged fermentation for the production of bioactive substances: a comparative study. *Int J Sci Nat* 3: 480-486.
- Suess A, Curtis J. 2006. Report: value-added strategies for spent mushroom substrate in BC. British Columbia Mushroom Industry, Columbia, UK. pp. 101.
- Szmidt RAK. 1994. Recycling of spent mushroom substrates by aerobic composting to produce novel horticultural substrates. *Compost Sci Utili* 2: 63-72.
- Uzun I. 2004. Use of spent mushroom compost in sustainable fruit production. *J Fruit Ornament Plant Res.* Vol. 12.
- Williams BC, McMullan JT, McCahey S. 2009. An initial assessment of spent mushroom compost as a potential energy feedstock. *Bioresour Technol* 79: 227-230.
- Yohalem DS, Nordheim EV, Andrews JH. 1996. The effect of water extracts of spent mushroom compost on apple scab in the field. *Phytopathology* 86: 914-922.
- Zhu HJ, Liu JH, Sun LF, Hu ZF, Qiao JJ. 2013. Combined alkali and acid pretreatment of spent mushroom substrate for reducing sugar and biofertilizer production. *Bioresour Technol* 136: 257-266.
- Zhu H, Sheng K, Yan E, Qiao J, Feng Lv. 2012. Extraction, purification and antibacterial activities of a polysaccharide from spent mushroom substrate. *Int J Biol Macromol* 50: 840-843.