

菌渣对土壤性状和作物的影响及其再利用研究进展

栗方亮^{1,2}, 王煌平², 张青², 王秋莹^{2,3}, 林琼^{2*}, 罗涛²

(1.中国科学院南京土壤研究所, 土壤与农业可持续发展国家重点实验室, 南京 210008;
2.福建省农业科学院土壤肥料研究所, 福州 350013; 3.福建农林大学资源与环境学院, 福州 350002)

摘要:食用菌菌渣可以作为有机肥或者土壤改良剂施用,具有较高的利用价值。菌渣施入土壤后会对土壤的结构、物质组成和营养平衡等产生一系列的作用,导致土壤有机质组成发生变化,同时也必然会影响到微生物的组成、数量及活性,进而对土壤中物质和能量的转化、土壤和肥料中营养物质的有效性产生影响。介绍了食用菌菌渣的营养成分特征,阐述了施用菌渣对土壤物理化学性状的影响、讨论了菌渣对土壤生物的影响、对作物的产量及品质的影响以及对菌渣的主要再利用途径,并对未来的研究方向进行了展望,以期对菌渣的再利用和农业可持续发展提供理论参考。

关键词:菌渣;有机肥;土壤性状;再利用

doi:10.13304/j.nykjdb.2014.710

中图分类号:S158.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1008-0864(2015)03-0100-07

Effect of Mushroom Residue on Soil Property and Crop and Research Progress in its Recycling

LI Fang-liang^{1,2}, WANG Huang-ping², ZHANG Qing², WANG Qiu-ying^{2,3},
LIN Qiong^{2*}, LUO Tao²

(1.State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008; 2.Institute of Soil and Fertilizer, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350013; 3.College of Resource and Environmental Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: Mushroom residue can be used as organic fertilizer or soil amendment agent and it has high usage value. Once applied into the soil, mushroom residue will produce a series of effects on soil structure, material composition and nutrient balance, which make the soil organic matter composition change, and at the same time, the microorganism composition, quantity and viability, the transformation of material and energy in soil, and the effectiveness of nutrients in soil and fertilizer will be inevitably affected. This paper briefly introduced the nutrition characteristics of edible mushroom residue, reviewed the effect of mushroom residue on soil physical and chemical properties, and described its influence on soil biomass, crop yield and quality. Before ending, the paper discussed the main way of recycling, and prospected its future research direction, hoping to provide theoretical reference for the reuse of mushroom residue and sustainable agriculture development.

Key words: mushroom residue; organic fertilizer; soil property; recycling

我国是世界上最大的食用菌生产国,产量可以占到世界总产量的 70% 以上^[1,2],我国已知食用菌有 250 多种^[3],常见的有:香菇、草菇、蘑菇、木耳、银耳、猴头、竹荪等。2012 年,全国食用菌

总产量达 2 827.99 万 t^[4],食用菌产业已成为重要的支柱产业^[5,6]。伴随着食用菌产业的发展,每年有大量的菌渣产生,2010 年,我国食用菌菌渣总量 3 000 万 t 以上,其中占比例较多的为:双

收稿日期:2014-12-09; 接受日期:2015-04-10

基金项目:土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所)开放基金项目(Y412201437);福建省农业科学院面上项目(2013DQB-15);“十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAD14B15)资助。

作者简介:栗方亮,助理研究员,博士,主要从事土壤生态与农业环境研究。E-mail:lif007@qq.com。* 通信作者:林琼,副研究员,主要从事植物营养与水溶肥研究。E-mail:279112908@qq.com

胞蘑菇菌渣 630.5 万 t、平菇菌渣 509 万 t、香菇菌渣 475.2 万 t、木耳菌渣 321.8 万 t^[7]。但是,食用菌菌渣并没有得到有效利用,处理菌渣的传统方法是燃烧或直接丢弃,燃烧只能快速获取其中 10% 左右的热能,是对生物量的不合理利用。还导致大量无法处理的菌渣被当作垃圾随意倾倒入河流、道路、农田等,不仅严重影响了生态环境,而且还造成了大量资源的浪费^[1,4-6],同时,还使食用菌栽培环境的杂菌基数不断增加,致使食用菌栽培污染越来越严重,影响了食用菌栽培的产量和效益,并影响到了农村的生态环境^[8]。随着改革开放的逐步深入和市场经济的繁荣,人们的生活水平不断提高,食用菌栽培规模越来越大,食用菌品种也愈渐增多,而食用菌栽培后废料的合理利用日益引起人们的重视。

据调查,我国菌渣利用率约 33%^[5-7]。菌渣还田作为有机肥或者改良剂即是很好的方式。菌渣施入土壤后,会对土壤的结构、物质组成、理化性质和营养平衡等产生一系列的作用,土壤有机质组成会发生变化,土壤碳氮转化也可能受到影响,同时也必然会影响到微生物的组成、数量和活性,进而对土壤中物质和能量的转化、土壤和肥料中营养物质的有效性产生影响。本文介绍了食用菌菌渣的营养成分特征,菌渣对土壤理化性状、土壤生物及作物产量和品质的影响,可对菌渣的再利用研究提供理论参考,对农业的可持续发展具有重要意义。

1 食用菌菌渣的营养成分特征

菌渣是栽培食用菌后的培养料,又被称作菌糠、食用菌废料、下脚料、废菌筒等,是一种多成分、多功能的有机肥资源和土壤改良剂,在农业生产上具有较高的利用价值,具有很大的开发潜力。食用菌对培养料营养成分的利用率约为 70%^[5-7],因此菌渣内还残留有众多的可利用的营养物质,如 N、P、K、粗蛋白、粗脂肪、粗纤维、灰分、微量元素等,还有许多的生物活性物质,如多糖类、有机酸、酶、酚等化学物质^[8,9]。

受多种因素影响,如栽培原料成分差异、菌种的不同、培养环境的差别等,食用菌菌渣的营养成分及含量差异悬殊(表 1)^[10,11]。如使用棉籽壳和木屑栽培的食用菌菌渣粗蛋白含量介于 6.73%~23.65%之间,粗纤维含量介于 18.74%~52.5%之间,粗脂肪含量介于 0.70%~4.20%之间,灰分含量介于 0.05%~13.81%之间。利用棉籽壳分别栽培平菇、香菇和金针菇,粗纤维的含量分别为 31.56%、52.5%和 18.74%,不管是栽培何种食用菌,使用木屑当栽培料其 N、P、K 含量都明显小于使用棉籽壳。此外,栽培前后培养料的营养成分也会发生了很大的变化,灰分和 P 的含量均有所上升^[12]。同时食用菌栽培方式的不同也会引起营养成分发生变化。

表 1 常见菌渣的主要营养成分^[10,11]
Table 1 Main nutrients contents of common mushroom residues^[10,11].

食用菌 Mushroom	栽培料 Material	N (g/kg)	P ₂ O ₅ (g/kg)	K ₂ O (g/kg)	粗蛋白(%) Crude protein(%)	粗纤维(%) Crude fibre(%)	粗脂肪(%) Crude fat(%)	灰分 (%) Ash(%)	Mg (g/kg)	S (g/kg)
平菇 Oyster mushroom	棉籽壳 Cottonseed hull	20.36	10.06	19.20	13.16	31.56	4.20	10.89	8.15	3.01
平菇 Oyster mushroom	木屑 Wood flour	4.15	4.83	2.07	23.65	—	—	—	2.87	0.58
香菇 Shiitake mushroom	棉籽壳 Cottonseed hull	20.40	10.10	19.00	7.35	52.5	1.85	5.53	8.10	3.24
香菇 Shiitake mushroom	木屑 Wood flour	6.13	6.13	3.75	6.73	19.80	0.70	13.81	8.10	3.24
金针菇 Needle mushroom	棉籽壳 Cottonseed hull	17.23	5.52	13.79	10.03	18.74	1.94	0.05	7.14	2.29
金针菇 Needle mushroom	木屑 Wood flour	10.26	4.52	8.18	12.95	29.88	3.63	12.15	3.60	1.72

2 菌渣对土壤性状的影响

2.1 菌渣对土壤物理性状的影响

菌渣在农业生产上可以作为有机肥料或土壤改良剂,具有较高的利用价值^[8,9]。研究表明,土壤结构在很大程度上取决于不同土壤颗粒的累积^[13],通常以土壤容重、孔隙度、团聚体等作为土壤肥力评价的重要指标。菌渣堆肥能有效的改善土壤结构^[14],随着菌渣施用量的增加,土壤的田间持水量由 2.08% 显著增加到 2.50%,使玉米产量明显提高^[15]。王志强等^[16]利用平菇等食用菌的废菌渣,经适当无氧发酵等一系列处理后添加到普通泥土中,使其最大持水力提高至 51.3%,单产提高 13.6%。菌渣还田后,与 CK 相比,土壤容重降低了 7.3%~14.9%,土壤孔隙度增加 4.2%~11.5%,土壤总有机碳提高 32.7%~56.0%,活性有机碳提高 39.2%~92.5%^[8,17]。

2.2 菌渣对土壤化学性状的影响

单施双孢蘑菇菌渣有机肥土壤 CO₂ 累积排放量最大,增温明显促进了土壤呼吸,也显著提高了土壤溶解性有机碳和土壤微生物量碳含量^[18]。研究发现,稻田施用菌渣能提高土壤 pH、有机质、速效氮、速效磷、速效钾、交换性钙、交换性镁的含量^[19~21],提高土壤酶活性^[22],降低土壤容重、土壤交换性铝含量,改善土壤环境,增强土壤通透性,利于水稻根系生长,促使水稻有效穗数和千粒重增加,从而显著增加产量^[2],但是菌渣并不是越多越好,有机无机配施效果更好,更加有利于水稻吸收利用^[19]。在水稻生产中,菌渣的直接施用量以 7 180 kg/hm² 较为合适^[2]。温广蝉等^[19]研究发现,菌渣的施入量与土壤供 K 能力呈正相关,说明菌渣与化肥配施有助于提高土壤的供 K 能力,有利于增强水稻茎秆的抗倒性能。

配施适量菌渣既有利于作物增产,也有利于土壤保肥增肥,缓解土壤酸化;同时又节约化肥投入成本和提高菌渣的资源化利用,对于农业的循环经济持续发展可提供有力的技术支持。同样,施用菌渣对荒漠土壤的理化性质和养分含量也有显著影响^[23],但是菌渣连续施用对不同种植年限玉米地土壤的理化性质、有机质、N、P、K 的影响程度却不相同,说明还应根据菌渣施用年限、土壤类型、作物等不同而进行深入研究。

2.3 菌渣对土壤生物的影响

向土壤中添加简单有机物可改变土壤微生物的代谢特征和代谢多样性^[24],增加土壤中不饱和脂肪酸的相对丰度^[25,26]。施厩肥、绿肥等有机肥有利于维持土壤微生物的多样性及活性^[27,28],使微生物量持续增加^[29]。

有关菌渣对土壤生物性状也有一定的研究。例如赵振等^[30]研究发现,施用未灭菌双孢蘑菇菌渣肥料处理土壤中细菌数量较未施肥对照组增加 39.7%,放线菌的数量增加 18.0%。说明未灭菌双孢蘑菇菌渣中既含有较高的营养物质,又拥有丰富的微生物,可有效改善根际的微生态环境,显著增加细菌、放线菌的数量,是不可多得的基质。施用菌渣能够显著改善土壤的微生物区系^[31],使细菌比例增加,真菌比例减少,推测可能会抑制土传病害的发生。任林等^[32]研究发现,添加香菇渣能显著增加土壤中微生物的数量,且添加 75% 香菇渣的土壤中细菌、放线菌、真菌数量变化最显著;土壤磷酸酶和几丁质酶活性随香菇渣添加比例的增大而提高;随培养时间的变化,磷酸酶呈现持续下降趋势,几丁质酶呈现先升后降的趋势;添加不同比例的香菇渣对蔗糖酶活性的影响不大,且随时间变化出现下降趋势总体来看,添加香菇渣能改良土壤结构,提高微生物数量和酶活性,从而提高土壤肥力。大田条件下,播种玉米的土壤中施入菇渣可培养细菌、放线菌、真菌数量比对照提高 68.0%~133.3%、60.0%~95.2%、29.4%~47.1%,表明施用菇渣能显著提高土壤微生物数量^[33]。

3 菌渣对作物产量及品质的影响

施用菌渣后可不同程度的增加作物产量,改良作物品质。施用菌渣可有效增加水稻的分蘖数和有效穗数,提高稻谷产量^[2];适量菌渣可以减少稻谷空瘪粒,并提高水稻产量,降低肥料成本^[34]。赵志白等^[20]研究发现,施用菌渣能不同程度的提高水稻的指标,其中株高增加 9.02~14.02 cm,有效穗增加 (8.25~29.70) 万/hm²,穗长增加 0.24~0.96 cm,千粒重增加 0.02~0.66 g。施用未灭菌双孢蘑菇菌糠肥料处理能有效促进小白菜的生长,其根长、叶片数、茎长、鲜重分别比未施肥对照组高 16.7%、27.7%、20.1%、29.5%;可明

显改善小白菜根际的微生态环境^[30]。大豆田施用菌渣后,土壤中有有机质和速效磷含量有所增加,并促进大豆植株的生长发育,根瘤数量、生物学产量、结荚率、单株粒数、百粒重都明显增加,可增产16.3%~25.6%^[35]。施用菌渣能促进香蕉生长,提高产量,特别是显著增加香蕉的果穗重量、果指总重;有效增加土壤有机质和碱解氮含量,在香蕉生产中,菌渣的直接施用量以28 723 kg/hm²较为适宜^[36]。闫静等^[37]发现添加一定比例的菌渣可增加大白口蘑子实体中还原糖、粗蛋白质、灰分含量的增加,而总糖、粗脂肪和水分含量的变化不明显,同时粗纤维含量有所降低,这与菌渣自身的营养成分特点有密切关系。

4 菌渣的再利用途径

近年来我国食用菌产业得到了较大发展,在取得了良好的经济效益和社会效益的同时,产生的大量菌渣也带来一系列问题。以上内容介绍了菌渣的特性、对土壤性状、作物产量及品质的影响,也充分表明了菌渣再利用的重要性。菌渣的再利用主要是作为肥料和土壤改良剂和作为栽培或育苗基质来利用^[2,8,38,39],其他还可以做饲料、提取激素和农药、饲养昆虫等^[40~44]。

4.1 菌渣可以作为肥料和土壤改良剂

菌渣富含有机物和多种矿质元素,菌渣与农家肥相比,除含磷量不及马粪和羊粪外,氮和钾含量均超过猪粪、牛粪、马粪和羊粪。菌渣含氮量是猪粪的2.98倍,牛粪的3.95倍,并且在相同含氮情况下其重量只有猪粪的1/3,牛粪的1/4^[45]。施用菌渣除了为作物提供平衡的氮与碳外,还可在土壤中进一步分解,形成具有良好通气蓄水能力的腐殖质,对改良土壤、提高土壤肥力有重要意义。此外,不少食用菌的菌丝体在生长过程中,分泌出的激动素类物质和特殊的酶可使复杂的有机物分解成易被植物吸收的营养物质。李明德等^[46]报道,菌渣等有机废弃物的利用可使N、P、K化肥施入量减少10%~20%,并转移、利用、处理了有机废弃物6 250~22 500 kg/hm²,充分利用了其本身的营养元素,相对于常规施肥而言,减少了化肥成本,又有利于减少化肥造成的土壤、水体及大气环境污染。李学梅^[8]研究表明,菌渣肥料含有机质14.44%、全氮0.742%、全磷0.25%、全

钾1.08%,以及一些植物生长促进物质。水稻施用菌渣肥,比常规施肥增收1 773.75元/hm²^[47]。吴富强等^[48]发现种植黄瓜和番茄,在常规施肥基础上增施菌渣比常规施肥纯收入增加1 233~10 209元/hm²和2 332.5~9 652.5元/hm²。翁伯琦等^[6]研究发现,菌渣有机肥可替代30%化肥施用,在山地果(茶)园施用菌渣肥,与施用复合肥相比,每公顷可节约成本300元;企业生产菌渣有机肥每吨利润62元,以上研究表明菌渣的肥料再利用具有较高的经济、社会、生态综合效益。

4.2 菌渣可以作为栽培或育苗基质

菌渣添加有机肥和微生物制剂等材料,经过高温发酵后制成的有机基质与其他无机基质混合形成的复合基质符合工厂化育苗所需的育苗基质。李晓强等^[38]利用菌渣为原料的育苗基质,通过加入不同体积配比的珍珠岩、蛭石,进行了番茄、甜椒、黄瓜的育苗,发现菌渣和珍珠岩复合基质中菌渣含量与蔬菜壮苗指数极显著相关。用蛭石、珍珠岩与菇渣复配成的复合基质或者复合基质加营养液育出的番茄、甜椒、黄瓜幼苗的株高、茎粗、叶面积、壮苗指数等指标均显著高于对照,菌渣复合基质栽培的植株开花期均比对照早。段立军^[49]通过研究番茄穴盘育苗中菇渣复配基质配方与不同肥料施用量,发现菇渣与珍珠岩最佳配比为3:1。张殿宇等^[50]将蘑菇渣、蛭石、珍珠岩按不同配比组成复合基质,进行辣椒穴盘育苗试验,发现不同蘑菇渣复合基质在相同的苗期管理情况下,对辣椒幼苗生长的影响有显著差异。菇渣:蛭石:珍珠岩为1:1:1、蘑菇渣:蛭石:珍珠岩为3:1:1的复合基质上幼苗株高、茎粗、地上部干重、地下部干重、全株干重、壮苗指数都显著大于对照(草炭:蛭石为2:1),并认为在辣椒穴盘育苗中可使用蘑菇渣复合基质代替草炭。关于菌渣作为栽培或育苗基质应用效果的研究较多^[51],且多是菌渣复合基质的应用效果,并取得了不同的试验效果,这可能是由于菇渣的来源及预处理工艺不同造成的,但总体上来看,菇渣是一种良好的育苗基质,能够部分甚至完全替代草炭。

菌渣除用作肥料、土壤改良剂、基质外,还可以用作饲料、沼气发酵等,搞好菌渣的综合利用,可使农业、食用菌业、养殖业有机地结合起来,使自然资源得以良性循环,大大提高资源的利用

率^[13]。随着我国食用菌的发展,菌渣也会越来越多,合理利用菌渣,可提高经济效益,有效减少废弃物质,提高生态效益,实现废物循环利用和农业的可持续发展。

5 展望

结合当前发展形势以及研究现状来看,食用菌产业规模的扩大,伴随而来的是日益增大的菌渣资源得不到合理高效的利用,进而对环境造成污染,必须对其进行再利用。目前,国内外对食用菌菌渣对土壤理化性质、生物性状的影响及菌渣的再利用研究已取得了一定的进展,但是并不深入。如何合理有效地利用这些农业废弃物资源,提高菌渣资源的利用效率,促进现代农业的可持续发展,已成为当前农村生态文明建设的难点和热点问题。因此未来对菌渣再利用需要重点加强研究以下几方面:

①建立菌渣施用的长期定位观测点,以便进行后续的观察研究。建立水稻-稻草-食用菌(蘑菇)-菌渣-稻田的循环利用系统,加强研究菌渣循环利用的基础研究和应用,探索菌渣还田的整个生态系统反应;

②不同种类食用菌的菌渣性状差异较大,可能会产生不同的施用效果,同时不同土壤类型下菌渣施用的效果也可能不同,还需要进一步进行菌渣施用分类和不同土壤类型的研究;

③施用菌渣后,可能会对生态环境产生影响,农田的生态承载力及长期应用菌渣对农田生态环境的影响如何,因此菌渣循环利用后对农田生态环境的影响与评价还需要进一步研究;

④此外,深入研究菌渣在土壤中的转化过程、转化速率、转化率、菌渣转化的影响因素及菌渣转化的微生物学机制等。

参 考 文 献

[1] 翁伯琦,雷锦桂,江枝和,等.东南地区农田秸秆菌业现状分析及研究进展[J].中国农业科技导报,2008,10(5):24-30.
Weng B Q, Lei J G, Jiang Z H, *et al.* The status and progress of the farm land straw-edible fungi industry recycling in southeast China [J]. J. Agric. Sci. Technol., 2008, 10 (5): 24-30.

[2] 冯德庆,黄勤楼,黄秀声,等.菌渣对水稻生长性状、产量及土壤肥力的影响[J].中国土壤与肥料,2012,1:74-77.

Feng D Q, Huang Q L, Huang X S, *et al.* Effects of mushroom dregs on the rice growth traits, yield and paddy soil fertility [J]. China Soils Fertil., 2012, 1: 74-77.

[3] 中国食用菌协会.对2012年度食用菌统计结果的分析[J].食药用菌,2013,6:363.
China Edible Fungus Association. Analysis of edible fungus statistical results in 2012 [J]. Edible Med. Fungi, 2013, 6: 363.

[4] 罗涛,王飞.福建农业资源与生态环境发展研究[M].北京:中国农业科学技术出版社,2013.
Luo T, Wang F. Fujian Agricultural Resources and Ecological Environment Development Research [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2013.

[5] 翁伯琦,雷锦桂,江枝和,等.东南地区农田秸秆菌业循环利用技术体系构建与应用前景[J].农业系统科学与综合研究,2009,25(2):228-232.
Weng B Q, Lei J G, Jiang Z H, *et al.* The establishment and application of the technology supporting system of the crop straw-edible fungi Industry recycling in southeast China [J]. Syst. Sci. Comprehensive Stud. Agric., 2009, 25 (2): 228-232.

[6] 翁伯琦,廖建华,罗涛,等.发展农田秸秆菌业的技术集成与资源循环利用管理对策[J].中国生态农业学报,2009,17(5):1007-1011.
Weng B Q, Liao J H, Luo T, *et al.* Integrative technology of straw-edible fungi industry and management counter measure for resource recycling utilization [J]. Chin. J. Eco-Agric., 2009, 17(5): 1007-1011.

[7] 胡清秀,张瑞颖.菌业循环模式促进农业废弃物资源的高效利用[J].中国农业资源与区划,2013,34(6):113-119.
Hu Q X, Zhang R Y. Recycling mode of fungi industry can promote efficiently utilization of agricultural wastes[J]. Chin. J. Agric. Resource. Regional Plan., 2013, 34(6): 113-119.

[8] 李学梅.食用菌菌渣的开发利用[J].河南农业科学,2003,5:40-42.
Li X M. The development and utilization of edible fungi residue [J]. He'nan Agric. Sci., 2003, 5: 40-42.

[9] 马嘉伟,黄其颖,程礼泽,等.菌渣化肥配施对红壤养分动态变化及水稻生长的影响[J].浙江农业学报,2013,25(1):147-151.
Ma J W, Huang Q Y, Cheng L Z, *et al.* Effect of edible fungus residue oil dynamic changes of red soil nutrients and rice yield [J]. Acta Agric. Zhejiangensis, 2013, 25 (1): 147-151.

[10] 翁伯琦,罗涛,黄毅斌,等.生态强省建设与循环农业发展[M].北京:中国农业科学技术出版社,2010.
Weng B Q, Luo T, Huang Y B, *et al.* Ecology Strengthen Province Construction and Circular Agriculture Development [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2010.

[11] 周祖英.优质的有机肥新肥源——食用菌废料[J].福建农业科技,1991,4:31-32.
Zhou Z Y. High quality organic fertilizer——mushroom residue [J]. Fujian Agric. Sci. Technol., 1991, 4: 31-32.

[12] 李用芳.食用菌菌渣的再利用[J].生物学通报,2001,36

- (3):44.
Li Y F. Reuse of edible fungus dregs [J]. Bull. Biol., 2001, 36(3):44.
- [13] 李科江,张素芳,贾文竹,等.半干旱区长期施肥对作物产量和土壤肥力的影响[J].植物营养与肥料学报,1999,5(1):21-25.
Li K J, Zhang S F, Jia W Z, *et al.* Effect of long-term fertilization on crop yield and soil fertility in semi-arid area [J]. Plant Nutr. Fertil. Sci., 1999, 5(1):21-25.
- [14] Jordan S N, Mullen G J, Murphy M C. Composition variability of spent mushroom compost in Ireland [J]. Bioresource Technol., 2008, 99(2):411-418.
- [15] 郝淑丽.菌糠改良土壤田间持水量效果的研究[J].杂粮作物,2010,30(4):306-307.
Hao S L. Research of fungus chaff field moisture capacity improvement effect [J]. Rain Fed Crops, 2010, 30(4):306-307.
- [16] 王志强,郭倩,凌霞芬,等.利用废菌糠提高覆土持水力和蘑菇产量的研究[J].中国食用菌,2004,5:16.
Wang Z Q, Guo Q, Ling X F, *et al.* Study on improving the water holding capacity and the yield of mushroom covered soil using waste mushroom residue [J]. Edible Fungi China, 2004, 5:16.
- [17] 王莹,马宏伟.食用菌废渣改良土壤理化性质的研究[J].吉林农业,2013,1:59-60.
Wang Y, Ma H W. Study on edible fungi residue improved soil physical and chemical properties [J]. Jilin Agric., 2013, 1:59-60.
- [18] 王峰,王义祥,翁伯琦,等.双孢蘑菇菌渣施用对龙眼园土壤呼吸及可溶性有机碳的影响[J].福建农业学报,2011,26(2):291-297.
Wang F, Wang Y X, Weng B Q, *et al.* Effects of application of edible fungi wastes on respiration and dissolved organic carbon in soil for *dimocarpus longanlour* planting [J]. Fujian J. Agric. Sci., 2011, 26(2):291-297.
- [19] 温广蝉,叶正钱,王旭东,等.菌渣还田对稻田土壤养分动态变化的影响[J].水土保持学报,2012,26(3):82-86.
Wen G C, Ye Z Q, Wang X D, *et al.* Effects of edible fungus residue on dynamic changes of soil nutrients in paddy field [J]. J. Soil Water Conservation, 2012, 26(3):82-86.
- [20] 赵志白,刘美菊,季光孟,等.单季稻施用食用菌废菌棒的效果[J].浙江农业科学,2010,4:801-802.
Zhao Z B, Liu M J, Ji G M, *et al.* Effect of edible fungi wastes on single cropping rice [J]. Zhejiang Agric. Sci., 2010, 4:801-802.
- [21] 魏岚,杨少海,邹献中,等.不同土壤调理剂对酸性土壤的改良效果[J].湖南农业大学学报:自然科学版,2010,36(1):77-81.
Wei L, Yang S H, Zou X Z, *et al.* Effects of different modifiers on improvement of acid soils [J]. J. Hu'nan Agric. Univ.: Nat. Sci., 2010, 36(1):77-81.
- [22] 申进文,沈阿林,张玉亭,等.平菇栽培废料等有机肥对土壤活性有机质和土壤酶活性的影响[J].植物营养与肥料学报,2007,13(4):631-636.
Shen J W, Shen A L, Zhang Y T, *et al.* Effects of different organic fertilizers on soil labile organic matter and enzyme activity [J]. Plant Nutr. Fertil. Sci., 2007, 13(4):631-636.
- [23] 张秀珍,刘秉儒,章家恩,等.施用双孢蘑菇菌渣条件下不同开垦年限土壤理化性质与养分特性变化[J].中国农学通报,2012,28(15):78-82.
Zhang X Z, Liu B R, Zhang J E, *et al.* Changes of physical-chemical properties and nutrient characteristics of soil under different tillage period with application of edible fungi wastes [J]. Chin. Agric. Sci. Bull., 2012, 28(15):78-82.
- [24] Degens B P. Microbial functional diversity can be influenced by the addition of simple organic substrates to soil [J]. Soil Biol. Biochem., 1998, 30(14):1981-1988.
- [25] Bossio D A, Scow K M. Impact of carbon and flooding on soil microbial communities: Phospholipid fatty acid profiles and substrate utilization patterns [J]. Microb. Ecol., 1998, 35(3):265-278.
- [26] Bossio D A, Scow K M, Gunapala N, *et al.* Determinants of soil microbial communities: Effects of agricultural management, season, and soil type on phospholipid fatty acid profiles [J]. Microb. Ecol., 1998, 36(1):1-12.
- [27] Dick R P. A review: Long-term effects of agricultural systems on soil biochemical and microbial parameters [J]. Agric. Ecosyst. Environ., 1992, 40(1-4):25-36.
- [28] Tessier L, Gregorich E G, Topp E. Spatial variability of soil microbial biomass measured by the fumigation extraction method and KEC as affected by depth and manure application [J]. Soil Biol. Biochem., 1998, 30(10-11):1369-1377.
- [29] Li F, Liu M, Li Z, *et al.* Changes in soil microbial biomass and functional diversity with a gradient of nitrogen gradient in soil columns [J]. Appl. Soil Ecol., 2013, 64:1-6.
- [30] 赵振,曲娟娟,许修宏,等.双孢蘑菇菌糠对小白菜生长及根际土壤的影响[J].中国土壤与肥料,2009,6:74-77.
Zhao Z, Qu J J, Xu X H, *et al.* Effect of *agaricus bisporus* residue on the growth of pakchoi and rhizosphere soil [J]. Soil Fertil. Sci. China, 2009, 6:74-77.
- [31] 任琳,张玉龙,黄毅,等.菌糠对保护地土壤微生物区系影响的研究[J].土壤通报,2009,40(3):563-567.
Ren L, Zhang Y L, Huang Y, *et al.* Research on fungus chaff's impact on the soil microbe flora in the greenhouse [J]. Chin. J. Soil Sci., 2009, 40(3):563-567.
- [32] 谢放,魏孔丽,陈京津,等.香菇渣对土壤微生物和酶活性的影响[J].湖南农业科学,2010,5:54-58.
Xie F, Wei K L, Chen J J, *et al.* Effects of mushroom residue on soil microorganism amount and soil enzyme activity [J]. Hu'nan Agric. Sci., 2010, 5:54-58.
- [33] 郭宏敏,陈世昌,徐明辉,等.施用菇渣对土壤微生物、土壤肥力及夏玉米产量的影响[J].河南农业科学,2013,42(7):61-64.
Guo H M, Chen S C, Xu M H, *et al.* Effects of mushroom residue application on soil microorganisms, soil fertility, yield of summer maize (*Zea mays* L.) [J]. J. He'nan Agric. Sci., 2013, 42(7):61-64.
- [34] 胡清秀,卫智涛,王洪媛.双孢蘑菇菌渣堆肥及其肥效的研究[J].农业环境科学学报,2011,30(9):1902-1909.
Hu Q X, Wei Z T, Wang H Y. *Agaricus bisporus* residue

- compost and its fertilizer efficiency [J]. J. Agro-Environ. Sci., 2011, 30(9):1902-1909.
- [35] 赵丽珍,刘振钦,郑怀训,等.施用菌糠对大豆生育和产量的影响[J].吉林农业大学学报,1994,16(2):40-44.
Zhao L Z, Liu Z Q, Zheng H X, *et al.* Effects of mushroom residue application on growth and yield of soybean [J]. J. Jilin Agric. Univ., 1994, 16(2):40-44.
- [36] 刘志平,黄勤楼,冯德庆,等.蘑菇渣对香蕉生长和土壤肥力的影响[J].江西农业学报,2011,23(7):102-104.
Liu Z P, Huang Q L, Feng D Q, *et al.* Effects of mushroom dreg on banana growth and soil fertility [J]. Acta Agric. Jiangxi, 2011, 23(7):102-104.
- [37] 闫 静,周祖法,袁卫东,等.菌渣培养大白口蘑研究[J].浙江大学学报:农业与生命科学版,2012,38(4):485-489.
Yan J, Zhou Z F, Yuan W D, *et al.* Studies on fungus dregs cultivating *tricholoma loba yense heim* [J]. J. Zhejiang Univ.: Agric. Life Sci., 2012, 38(4):485-489.
- [38] 李晓强,卜崇兴,郭世荣.菇渣复合基质栽培对蔬菜幼苗生长的影响[J].沈阳农业大学学报,2006,37(3):517-520.
Li X Q, Bu C X, Guo S R. Effects of compound substrate of mushroom residue on growth of some vegetable seedlings [J]. J. Shenyang Agric. Univ., 2006, 37(3):517-520.
- [39] Medina E, Pérez-Murcia P C, Rez-Murcia M D, *et al.* Spent mushroom substrates as component of growing media for germination and growth of horticultural plants [J]. Bioresource Technol., 2009, 100(18):4227-4232.
- [40] 程宏彪.菌渣肥与氮肥配施对水稻产量、品质及土壤性质的影响[D].四川雅安:四川农业大学,硕士学位论文文,2012.
Cheng H B. The influence of bacteria residue combined application with nitrogen fertilizer on rice yield, quality and soil properties [D]. SichuanYaan: Sichuan Agriculture University, Master Dissertation, 2012.
- [41] Di Lena G, Vivanti V, Quaglia G B. Amino acid composition of wheat milling by-products after bioconversion by edible fungi mycelia [J]. Mol. Nutr. Food Res., 1997, 41(5):285-288.
- [42] Lau K L, Tsang Y Y, Chiu S W. Use of spent mushroom compost to bioremediate PAH-contaminated samples [J]. Chemosphere, 2003, 52(9):1539-1546.
- [43] Eggen T. Application of fungal substrate from commercial mushroom production-*Pleurotus ostreatus*-for bioremediation of creosote contaminated soil [J]. Int. Biodeter. Biodegr., 1999, 44(2-3):117-126.
- [44] Law W M, Lau W N, Lo K L, *et al.* Removal of biocide pentachlorophenol in water system by the spent mushroom compost of *pleurotus pulmonarius* [J]. Chemosphere, 2003, 52(9):1531-1537.
- [45] 徐志伟.食用菌栽培废料的营养价值和开发利用途径[J].青海畜牧兽医杂志,1997,7(4):41-42.
Xu Z W. The nutritional value of edible mushroom residue and ways of development and utilization [J]. Qinghai J. Anim. Husbandry Veterinary Med., 1997, 7(4):41-42.
- [46] 李明德,吴海勇,聂 军,等.稻草及其循环利用后的有机废弃物还田效用研究[J].中国农业科学,2010,43(17):3572-3579.
Li M D, Wu H Y, Nie J, *et al.* Utilities of straw and wastes of straw recycling returning on rice painting [J]. Sci. Agric. Sin., 2010, 43(17):3572-3579.
- [47] 王美琴.食用菌渣对水稻的增产效果初探[J].中国稻米,2006,2:44-45.
Wang M Q. The effect of edible fungi residue of increasing rice yield [J]. China rice, 2006, 2:44-45.
- [48] 吴富强,李英梅,卫拯友,等.葛根菌糠生物有机肥在温室蔬菜上的应用效果研究[J].陕西农业科学,2009,6:61-63.
Wu F Q, Li Y M, Wei Z Y, *et al.* Effects of Kudzu root fungus chaff of bio-organic fertilizer on vegetables in greenhouses [J]. Shaanxi Agric. Sci., 2009, 6:61-63.
- [49] 段立军.番茄穴盘育苗中菇渣复配基质配方与不同肥料施用量的筛选[J].黑龙江农业科学,2014,1:37-40
Duan L J. Screening of mushroom residue compound matrix formula and amount of different fertilizers in plug seedling of tomatoes [J]. Heilongjiang Agric. Sci., 2014, 1:37-40.
- [50] 张殿宇,张云舒,朱建雯.蘑菇渣复合基质特性及对辣椒苗质量的影响[J].北方园艺,2009,3:39-41.
Zhang D Y, Zhang Y S, Zhu J W. The characteristics of compound substrate mushroom residue and influence on the quality of hot pepper seedlings [J]. Northern Horticul., 2009, 3:39-41.
- [51] 马海林,马丙尧,刘方春,等.菇渣用作育苗基质基础材料的研究进展[J].山东林业科技,2010,3:110-113.
Ma H L, Ma B Y, Liu F C, *et al.* Research progress of mushroom residue as basic seedling substrate material [J]. Shandong Forestry Sci. Technol., 2010, 3:110-113.