

菌糠资源化技术

邹德勋¹, 潘斯亮², 黄芳³, 汪群慧^{1,2}

(1. 哈尔滨工业大学 市政环境工程学院 黑龙江 哈尔滨 150090; 2. 北京科技大学 土木与环境学院, 北京 100083;

3. 北京东昇农业技术开发(集团)有限公司 北京 101105)

摘要: 介绍了菌糠的产生量、理化性质以及污染现状, 指出资源化技术是处置菌糠的有效方法, 详细论述了菌糠的主要资源化途径和技术。

关键词: 菌糠; 土壤改良剂; 有机肥料; 栽培基质

中图分类号: R 124.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2010)19-0182-04

食用菌是一种具有重要经济价值的农业产品, 随着经济的发展以及人们对食物品质和种类需求的提高, 世界各国对食用菌需求量均呈增加趋势, 产量不断提高。根据世界粮农组织(FAO)的统计, 中国是世界食用菌产量最大的国家, 2008年已接近161万t, 约占世界总产量的50%。然而, 食用菌产量大幅度的提高, 也带来了一定的环境问题。其中, 大量固体废物菌糠的处理问题成为影响食用菌产业良性发展的重要因素之一。以世界

食用菌产量最大的几个国家为例, 美国每年菌糠产生量达340万 m^3 ^[1], 荷兰每年菌糠产生量达210万 m^3 ^[2], 而我国每年的菌糠产生量则至少有400万 t ^[3]。另外, 有研究显示每生产1kg的食用菌大约可产生5kg的菌糠^[4]。

传统上菌糠处理的方法主要是简易堆置和燃烧, 但由于菌糠容易滋生微生物, 不仅成为周边食用菌生产的主要杂菌污染源, 还可能造成潜在的生物安全风险; 将产生的大量菌糠随意堆置, 不仅侵占大量土地, 而且会成为周边水、土、气污染的主要源头; 另外, 菌糠的燃烧既污染空气, 又浪费了菌糠中所富含的生物质能量和有用物质。因而, 如何处理菌糠成为食用菌行业亟需解决的重要课题。菌糠的资源化利用不仅可以解决其对环境的污染问题, 而且还要变废为宝、生产有用物质, 进一步提高食用菌产业的可持续发展水平。

1 菌糠的定义及其理化性质

1.1 菌糠的定义

菌糠(Spend Mushroom Substrate, SMS), 又可称为

第一作者简介: 邹德勋(1980-), 男, 博士, 主要研究方向为固体废物资源化和环境微生物技术。

通讯作者: 汪群慧(1959-), 女, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为固体废物资源化、环境生物技术和环境化学。E-mail: wangqh59@sina.com。

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划资助项目(2006BAJ04A06); 国家“863”高新技术研究发展计划资助项目(2008AA06Z34)。

收稿日期: 2010-07-13

Effect of Blackfungus Mushroom Bran Complex Substrate on the Growth of *Salvia splendens*

YU Xin, YAO Fang-jie

(Horticultural College of Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118)

Abstract: This text used grass peat : vermiculite = 2 : 1 for the contrast which was the most popular stroma formula, then studied the effect of seven different mixture ratio of blackfungus mushroom bran complex on the growth and development indicators of plant height, stem diameter, strong seedling index, crown, leaf area, leaf area index, dry, fresh weight and budding time of *Salvia splendens*. The results showed that the volume ratio as 4 : 3 : 3 was the best substrate for *Salvia splendens*.

Key words: *Salvia splendens*; blackfungus mushroom bran; substrate; growth and development indicators

蘑菇渣、菇渣和菌渣等, 是指在生产上已不具有或较少具有养分提供能力的食用菌培育基质。常在食用菌收获后被丢弃, 是食用菌行业产生的主要废物。根据所栽培食用菌种类的不同, 培养基质的差异也很大。一般来说培养基质的原料主要包括: 木屑、秸秆、干草、棉籽壳、玉米芯等高木质纤维性物料, 玉米粉、豆饼、米糠、麦麸、畜禽粪便、尿素等养分调理性物料, 以及石灰粉、石膏粉等 pH 调理性物料等, 有的还会施加消毒剂、杀虫剂等农药。当培养基质经一个或几个生产周期后, 其中的大部分养分被利用或是积累了足够多的有害代谢产物, 导致其难以获得具有商业价值的食用菌时, 就会作为废物而丢弃。对于工业化的食用菌栽培, 为了保证高出菇效率和成本, 培养基质仅栽培一次食用菌后即被丢弃而成为菌糠。菌糠虽然经过了食用菌的利用而被吸收了大部分的营养物质, 但作为生物质废物而言, 其中所含有的有机物质、氮素以及各类微量元素等还是相当丰富的。

1.2 菌糠的理化性质

作为一种生物质废物, 菌糠不仅具有较丰富的营养物质, 而且其结构疏松、通气性好, 因而具有较高的再利用价值, 比较适合进行资源化利用。菌糠的一般理化性质见表 1。

菌糠因所栽培的食用菌种类不同而具有不同的组成成分。Paredes C 等对于西班牙最常见的 2 种菌糠 SMS-AB(*Agaricus bisporus*) 和 SMS-P(*Pleurotus*) 进行了有机质成分的分析, 研究发现, 2 种菌糠都具有很高的有机质含量, 比较适宜的 C/N^[4]。Jordan S N 等研究了爱尔兰 13 个不同的食用菌厂的菌糠营养成分的组成, 针对干物质、有机物、总氮磷钾、C/N、植物可利用态氮磷钾、pH、EC、微量元素 (Ca、Mg、Na、Cu、Zn、Fe、Mn、Cd、Cr、Ni、Pb)、纤维素、半纤维素和木质素等进行了分析测定, 认为使用菌糠前应该对其营养成分进行测定, 以免得到价值不高的菌糠或者养分过高导致的土壤营养累积^[5]。

菌糠具有独特的理化性质, 其进行资源化的主要优势包括: 有机物含量高, 可以满足多种使用需求; 在气候干旱和潮湿的时候都能够涵养水源保持水土, 不会造成土壤营养成分的淋失; 如果菌糠的配方和出厂时间稳定, 则降低使用成本的风险; 菌糠具有疏松的质地和较高的孔隙率, 能保持水分和营养物质不流失; 抑制杂草生长, 充分的堆肥处理或蒸汽杀菌保证不存在杂草; 无氮素损失问题, 不同于其它废弃物(木屑纸张等)存在问题。菌糠具有保氮的作用; 不含重金属, 可以减除消费者的顾虑。

表 1 菌糠的理化性质^[1]

	性质描述	备注
外观	新鲜菌糠外表类似于泥炭, 浅棕色, 疏松的纤维素质地, 风干菌糠外表类似于深色的表层土壤, 结构松散易碎	
	粒径	取决于菌糠配方成分
含水率	30% ~ 50%	一般粒径小于 1.3 cm 的可用于草坪, 粒径较大的可用于土壤修复
有机质	40% ~ 60% (干基)	> 60% 的菌糠会对造成土壤的不利影响
C/N	大部分在 30 : 1 以下	根据有机质烧失量和灰分测定
pH	6.0 ~ 8.0	如果大于 30 : 1, 不利于微生物固氮
抑制杂草	有效	充分堆肥和合理储存可以抑制杂草
营养成分	1.5% ~ 3.0% 总氮 (干基);	
	0.5% ~ 2.0% 磷 (P ₂ O ₅); 1.0% ~ 3.0% 钾 (K ₂ O); 3% ~ 6% 钙	大部分氮素是以有机氮形式存在, 释放较为缓慢
	0.4% ~ 1.0% 镁	

2 资源化途径

根据菌糠独特的物理化学性质, 以及其所富含的利于植物生长营养元素, 目前菌糠的资源化主要应用于农业, 如栽培基质、土壤改良剂或修复剂、有机肥料、饲料以及景观规划和覆盖物等。

2.1 土壤改良剂和修复剂

施用土壤改良剂和修复剂是在现代化农业基础上发展起来的新方法, 通过有效地改善土壤理化性状和养分状况, 改善土壤微生物的生态环境, 促进植物对养分的吸收, 从而提高由于污染或者营养贫乏而退化的土壤生产力。菌糠具有特殊的物理结构, 富含丰富的纤维素, 符合作为新型土壤改良剂的基本条件, 因此国外很多学者都针对菌糠的土壤改良和修复做了很多研究。Lau K L 通过研究得出: 5% 的菌糠在 2 d 内可以使样品中的萘、菲、苯并芘等有机污染物得到完全去除, 由发光细菌的检测表明菌糠可以有效的降低多环芳烃的毒性, 证明菌糠具有异位生物修复潜力^[6]。Ribas L C C 等评价了 2 种菌糠 (*Agaricus subrufescens* 和 *Lentinula edodes*) 的物理、化学和微生物特性, 结果表明, *Agaricus subrufescens* 菌糠是一种优良的有机肥料, 而 *Lentinula edodes* 菌糠可以促进除草剂的降解^[7]。Jordan S N 等按照 0、50、100、200、400 t/hm² 的比率将菌糠施用到铅锌尾矿库中, 并种植黑麦草, 根据每公顷黑麦草的产量来检测菌糠的生物修复能力, 结果得出菌糠可以通过改善尾矿的结构状态, 来促进植物对养分的吸收和降低重金属含量, 但是此种做法并不能为尾矿库提供持续性的植被, 还需要其它修复手段^[8]。

虽然目前我国在菌糠做土壤改良剂和修复剂的研究还不多, 但在我国土壤退化和污染问题比较严重、亟

需寻求解决途径的大背景下,借鉴和发展其它国家经验,开发适宜国情的土壤改良和修复剂显得极为迫切。因此,菌糠在我国土壤改良和修复领域的研究与应用将会具有良好的前景。

2.2 栽培基质

无土栽培是设施栽培的一种重要形式,具有设施简单、投资成本低等优势。当前,大部分发达国家的观赏植物是以无土栽培作基负,如荷兰无土栽培面积占温室面积的90%以上。中国是目前世界上第一位的设施园艺大国,但无土栽培面积所占比例不足1%^[9]。传统的无土栽培基质主要是泥炭,需求量很大,例如荷兰的泥炭需求量达到每年340万m³^[2]。但是,泥炭价格偏高、资源有限,大量开采还会对当地的湿地生态环境造成严重的破坏,因此世界各国均在积极寻找泥炭的替代品。

国内外很多学者针对菌糠作为无土栽培基质泥炭的替代品做了相关研究。Medina E选取3种具有不同耐盐能力的蔬菜,对比菌糠和泥炭2种培养基质的栽培效果。研究得出75%菌糠+25%^[10]泥炭含量的培养基质可以用于蔬菜育种。时连辉等比较了菌糠与泥炭的理化性质,研究发现,菌糠透气透水性较好,持水孔隙少于泥炭,失水速率低于泥炭;经过适当的调节,菌糠在无土栽培中可以部分替代泥炭^[11]。除了可以替代泥炭以外,菌糠还被发现在其它方面有独特的作用。例如Donald D将菌糠施用于景观覆盖物中,可以抑制*Artillery fungus*对于建筑物表面和景观表面的侵蚀,100%的菌糠覆盖土,可以降低*Artillery fungus*的生长数量和种群^[12]。Calvin Chong等研究了菌糠作为容器育苗栽培中培养基质的可行性,发现供试的4种观赏植物均可良好生长,一周之内菌糠的含盐量大幅度下降,而且经菌糠培育的幼苗相比于传统基质有明显的耐盐性能^[1]。

2.3 有机肥料

我国是农业大国,每年都需要使用大量肥料,化肥的施用虽然可以短期内取得很好的产量,但是长期使用容易造成土壤有机质的流失和结构的恶化,因此,人们重新开始关注有机肥料的作用。近年来,由于化肥投入量大幅度增加,有机肥料使用所占的比例显著降低,但仍占总养分总投入量的36.7%^[13]。菌糠所具有的营养丰富的特点,有益于作物的生长,除了在园艺和土壤修复方面的应用之外,有机肥料是菌糠另外一个重要的资源化途径。

国内外学者对菌糠在农业上的应用做了很多研究,发现菌糠的施用可以提高作物的产量。赵振等通过田间试验发现,施用未灭菌双孢蘑菇菌糠肥料可以有效促进小白菜的生长(小白菜的根长、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%),加快根际土壤速效磷的转化(使用菌糠处理较对照组增加了0.4%^[14])。朱小平^[15]等研究了同时施用微生物和菌糠对辣椒产量、营养元素吸收和土壤养分转化的影响。结果表明,辣椒果实、果柄干鲜重、N、P、K含量均明显高于对照组。林斌通过研究发现施用菌糠作为有机肥,可以显著提高脐橙产量,每株比对照组增加5.54kg^[16],同时,改善果实的糖酸比,改良种植脐橙的土壤理化特性。Weber L等通过连续2a种植玉米的试验,对比施用菌糠和其它常用肥料对土壤和玉米产量的影响,研究得出:菌糠可以使土壤有机质含量增加0.4%~0.7%,尽管玉米产量没有很大的差别,但从经济上考虑,因为使用了菌糠,可减少农民购买肥料的花费,所以菌糠肥料具有一定的竞争力^[1]。另外,有研究发现食用菌菌丝在生长过程中能够产生一些有利于植物生长的激素,在菌糠中可以提取植物激素,使大豆抗病力强,增产达2.6倍^[17]。阮晓东等发现菌糠可改善土壤团粒结构,提高有机质含量,从而提高土壤肥力水平^[18]。菌糠不仅具有有利于植物生长的营养元素,还有很多利于微生物生长的独特理化性质。朱小平等通过对有益微生物与菌糠联合试验,对小白菜产量、营养元素吸收和土壤养分转化进行了分析,发现微生物与菌糠的复合肥料可以促进土壤养分转化、增加植物对营养元素吸收比重^[19];另外,发现含有链霉菌和巨大芽孢杆菌的菌糠复合肥料,可以提高豌豆光合能力,提高产量^[20]。刘雯雯等以不同粒径菌糠为载体,接种1株根瘤菌和3株溶磷菌制作微生物肥料,以泥炭为对照,通过测定载体吸水率、不同保存期有效活菌数及保存40d时的种子发芽指数,发现种子发芽指数均高于80%,可以认为该肥料浸提液对植物无毒性,未经堆肥腐熟处理的菌糠作为微生物肥料的载体是可行的^[21]。菌糠同时被证明可以促进堆肥,成为优良的有机肥料。孙建华等进行的菌糠生产优质有机肥的试验,研究表明从发酵温度、高温持续时间、有机肥的养分含量和外观形态等方面分析,接种高温纤维维菌加猪粪处理菌糠的腐熟效果最好^[22]。陈广银以落叶、菌糠和鸡粪为原料,采用间歇式强制通风方式,进行为期44d的堆肥试验,结果表明,添加未灭菌的菌糠对落叶堆肥有促进作用,但对堆肥过程中的养分变化影响不大^[23]。Recep Kulcu在对菌糠、鸡粪、牛粪和康乃馨废物的联合堆肥中发现,50%康乃馨废弃物、25%菌糠、25%鸡粪的比率得到最高的有机物降解率,同时发现,堆肥进程中FAS(自由空域)是一项比较重要的因素,初始时应该调节到24%~32%^[24]。

3 菌糠资源化前景

国内外对于菌糠的资源化途径和技术进行了大量

的研究与应用工作, 具有比较广阔的发展前景。然而在菌糠资源化过程中所存在的限制因素也值得关注: 菌糠含有的成分包括石膏、碳酸钙等无机盐, 可能对于菌糠施用存在盐度问题, 如导致土壤的盐渍化等; 可能有残留的农药, 不合理的施用会给植物带来二次污染; 运输和施用成本较高。

针对上述问题, 可以通过以下方法解决: 一是建立完善的检测体系, 通过细致全面的检测, 判断菌糠农药浓度和含盐量, 提倡菌糠出厂前进行必要的蒸汽灭菌或者盐分淋洗; 二是完善菌糠从出厂到产品使用的产业链整合; 三是提倡政府财政鼓励, 作为环境污染物的菌糠, 其资源化不仅涉及到食用菌业和农业等部门, 同时也有利于可持续发展, 应该得到政府在政策和经济上的支持。

参考文献

[1] Ami. American Mushroom Institute. Spent Mushroom Substrate: Scientific Research and Practical Applications[J]. 2005: 1- 23.
[2] Wever G, van der Burg A, Straatsma G. Potential of Adapted Mushroom Compost as a Growing Medium in Horticulture[J]. Acta Hort. (ISHS), 2005, 697: 171-177.
[3] 李学梅. 食用菌菌渣的开发利用[J]. 河南农业科学, 2003(5): 40-42
[4] Paredes G, Medina E, Moral R, et al. Characterization of the Different Organic Matter Fractions of Spent Mushroom Substrate[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2009, 40(1-6): 150-161.
[5] Jordan S N, Mullen G J, Murphy M C. Composition variability of spent mushroom compost in Ireland[J]. Bioresource Technology, 2008, 99(2): 411-418.
[6] 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.
[7] Ribas L C G, de Mendon A M M, Camelini C M, et al. Use of spent mushroom substrates from *Agaricus subrufescens* (syn. *A. blazei*, *A. brasiliensis*) and *Lentinula edodes* productions in the enrichment of a soil-based potting media for lettuce (*Lactuca sativa*) cultivation: Growth promotion and soil bioremediation[J]. Bioresource Technology, 2009, 100(20): 4750-4757.
[8] Jordan S N, Mullen G J, Courtney R G. Utilization of spent mushroom

compost for the revegetation of lead-zinc tailings: Effects on physico-chemical properties of tailings and growth of *Lolium perenne*[J]. Bioresource Technology, 2008, 99(17): 8125-8129.
[9] 郭世荣. 固体栽培基质研究、开发现状及发展趋势[J]. 农业工程学报, 2005(2): 1-4.
[10] Medina E, Paredes C, P Rez-Murcia M D, et al. Spent mushroom substrates as component of growing media for germination and growth of horticultural plants[J]. Bioresource Technology, 2009, 100(18): 4227-4232.
[11] 时连辉, 张志国, 刘登民, 等. 菇渣和泥炭基质理化特性比较及其调节[J]. 农业工程学报, 2008, 24(4): 199-203.
[12] Davis D D, Kuhns L J, Harpster T L. Use of mushroom compost to suppress artillery fungi [J]. Journal of Environmental Horticulture, 2005, 23(4): 212.
[13] 刘睿, 王正银, 朱洪霞. 中国有机肥料研究进展[J]. 中国农学通报, 2007, 23(1): 310-313.
[14] 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): 74-78.
[15] 朱小平, 王文颇, 刘微, 等. 施用微生物加菌糠对辣椒养分吸收及土壤养分转化的影响[J]. 中国农学通报, 2005, 21(5): 281-283.
[16] 林斌. 菌糠、沼渣有机肥对脐橙产量和品质的影响[J]. 福建农业学报, 2006, 21(3): 293-295.
[17] 刘政峰. 食用菌下脚料可制植物激素[J]. 中国食用菌, 1997, 16(4): 19.
[18] 阮晓东. 利用菌糠生产花土[J]. 农业科技与信息, 2005(6): 18.
[19] 朱小平, 刘微, 高书国. 有益微生物组合加菌糠对小白菜生长及土壤养分的影响[J]. 河南农业科学, 2004(6): 58-61.
[20] 朱小平, 刘微, 高书国, 等. NaCl 胁迫下施用有益微生物加菌糠对豌豆生长及结瘤的影响[J]. 河北科技师范学院学报, 2004, 18(1): 20-22.
[21] 刘雯雯, 姚拓, 孙丽娜, 等. 菌糠作为微生物肥料载体的研究[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(2): 787-791.
[22] 孙建华, 袁玲, 张翼. 利用食用菌菌渣生产有机肥料的研究[J]. 中国土壤与肥料, 2008(1): 52-55.
[23] 陈广银, 王德汉, 项钱彬. 蘑菇渣与落叶联合堆肥过程中养分变化的研究[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(5): 1347-1353.
[24] Kulcu R, Simez I, Yaldiz O, et al. Composting of spent mushroom compost, carnation wastes, chicken and cattle manures [J]. Bioresource Technology, 2008, 99(17): 8259-8264.

Resource Recycling Technology of Spent Mushroom Substrate

ZOU De-xun¹, PAN Si-liang², HUANG Fang³, WANG Qun-hui^{1, 2}

(1. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 150090; 2. Civil and Environmental Engineering School, University of Science and Technology of Beijing, Beijing 150083; 3. Beijing Dongsheng Agricultural Technology Development(Group)Limited Company, Beijing 101105)

Abstract: The generation, characteristics and pollution status of spent mushroom substrate were introduced. Pointing to that resource was an effective way to dispose of spent mushroom substrate and the mainly technology of recycling and resource spent mushroom were summarized.

Key words: spent mushroom substrate; soil amendment; organic fertilizer; growing media