

中药药渣生物有机肥的研究进展

贺超¹, 王文全^{1,2*}, 侯俊玲^{2,3}

1. 中国医学科学院 北京协和医学院药用植物研究所, 北京 100193

2. 北京中医药大学中药学院, 北京 100102

3. 中药材规范化生产教育部工程研究中心, 北京 100102

摘要: 随着我国中药行业的迅速发展, 大量中药药渣也随之产生, 中药药渣中残留大量纤维素、蛋白质、脂质及多种微量元素, 是一种可循环利用的生物资源, 可用于生产有新价值的产品。应用生物技术将中药药渣转化为生物有机肥料, 提高中药药渣的利用率, 是一种变废为宝的好方法。在查阅国内外文献的基础上, 从生物有机肥研究的现实意义、中药药渣利用价值和主要方式、中药药渣生物有机肥肥效、发酵微生物菌群、功能微生物菌群等方面对利用中药药渣生产生物有机肥的研究进展进行综述。

关键词: 中药药渣; 生物有机肥; 可循环; 发酵微生物; 功能微生物

中图分类号: R282.15 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2017)24-5286-07

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2017.24.035

Research progress on bio-organic fertilizer from Chinese materia medica residues

HE Chao¹, WANG Wen-quan^{1,2}, HOU Jun-ling^{2,3}

1. Institute of Medicinal Plant Development, Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College, Beijing 100193, China

2. School of Chinese Pharmacy, Beijing University of Chinese Medicine, Beijing 100102, China

3. Engineering Research Center of Good Agricultural Practice for Chinese Crude Drugs, Ministry of Education, Beijing 100102, China

Abstract: With the rapid development of traditional Chinese medicine industry, a large number of Chinese medicine residues were produced as byproducts. A large number of cellulose, protein, lipid and a variety of trace elements in Chinese medicine residues can be used to produce products with new value as the recyclable biomass resources. Chinese medicine residues can be transformed into bio-organic fertilizer through the application of biotechnology, which improves the utilization ratio of these materials. It is a good way to mine potential out of them. On the basis of reviewing domestic and foreign literature, this paper mainly focuses on producing bio-organic fertilizer by making full use of Chinese medicine residues. The practical significance of bio-organic fertilizer research, the value and main ways of recycling residues, the effects of bio-organic fertilizer, the fermentation microbial flora, and the functional microbial flora were described in details in this paper.

Key words: Chinese materia medica residue; bio-organic fertilizer; recycling; fermentation microbial flora; functional microbial flora

随着中医药产业的迅速发展, 在带来巨大经济效益的同时, 中药渣的排放量也在逐年增加, 据估计, 我国中药企业每年要消耗植物类药材数百万吨, 随之产生的植物类药渣多达几千万吨(含水分)^[1]。中药渣是中药材加工与炮制、中成药生产以及其他中药相关产品生产加工过程中产生的废弃物, 其中

中成药生产过程中产生的中药渣较多, 占总量的70%^[2]。早期药渣处理主要采用填埋、焚烧、堆放等方式, 这些方法不仅会占用大量土地, 而且造成环境的严重污染和资源的巨大浪费。因此, 对中药药渣进行合理应用不仅能够减少资源浪费, 提高中药药渣利用率, 改善生活环境, 同时对中药产业的

收稿日期: 2017-09-13

基金项目: 中医药行业科研专项项目(201407005)

作者简介: 贺超(1989—), 男, 在读博士研究生。Tel: 18801461215 E-mail: hc891215@126.com

*通信作者 王文全(1957—), 男, 博士生导师, 研究方向为中药材规范化生产及其调控机制。Tel: (010)84738334 E-mail: wwq57@126.com

良性循环发展也具有重要意义。以中药药渣为原料制备生物有机肥对实现资源节约型、环境友好型社会具有重要意义。

1 生物有机肥研发的现实意义

1.1 生物有机肥的功效

生物有机肥是指具有特定功能的微生物与主要以动植物残体(畜禽粪便、农作物秸秆、中药药渣等)为来源并经无害化处理、腐熟的有机物料复合而成的一类兼具微生物肥料和有机肥效应的肥料^[3-4]。生物有机肥是在堆肥的基础上,向腐熟物料中添加功能性微生物菌剂进行二次发酵而制成,含有大量功能性微生物。与其他肥料相比,生物有机肥不仅营养元素更为齐全,含有功能性微生物菌剂,可协助释放土壤中潜在养分的功效,促进作物根际有益微生物增殖,同时具有生物利用率高、作用周期长、成本低、对土壤及环境不会造成危害等优点。长期使用生物有机肥可有效改良土壤、提高土壤肥力、调控土壤及根际微生物生态平衡,提高作物抗病虫能力和作物产品质量。具体表现在:(1)生物有机肥含有的功能性微生物在土壤中大量定殖形成优势种群,占据根区生态位,拮抗或抑制病原微生物侵染作物根系,提高作物抗病性。刘艳霞等^[5]实验结果表明,在烟草青枯病发病较为严重的烟田施用生物有机肥可以显著提高拮抗菌数量,抑制根际土壤病原菌数量,提高土壤微生物群落功能多样性,使土壤保持健康的微生物生态平衡,显著降低青枯病发病率。(2)生物有机肥含有的功能菌群能够提高土壤肥力,如施用含固氮微生物的肥料,可以增加土壤氮素来源;施用含解磷、解钾微生物的肥料可以分解土壤中难溶性磷和钾盐,供作物吸收利用^[6]。(3)生物有机肥富含维生素、氨基酸、核苷酸、吡啶乙酸、赤霉素、有机酸、酶类、抗生素等多种生理活性物质,具有刺激作物根系生长、分解转化各种复杂有机物、快速活化土壤养分、提高养分有效性和作物抗病能力等作用。李志友^[7]研究发现,生物有机肥能够提高蓝莓根区土壤有机碳、全氮、全钾、有效磷和有效钾的量,有效促进蓝莓根区土壤养分吸收和营养代谢均衡,确保蓝莓高产优质。(4)生物有机肥中既含氨基酸、蛋白质、糖、脂肪等有机成分,还有氮、磷、钾以及对作物生长有益的中量元素(钙、镁、硫等)和微量元素(铁、锰、铜、锌、钼等),这些养分不仅能供作物直接吸收利用,还能有效改善土壤保肥性、保水性、缓冲性和通气

状况等,为作物提供良好的生长环境^[8-9]。(5)生物有机肥能够改变作物根系分泌物的组成和含量,进而改善根区微生态环境,提高作物抗病性^[10-11]。

1.2 生物有机肥是绿色中药和循环经济发展的必然选择

基于目前化肥使用和农业废弃物现状,积极寻求高效环保的化肥替代品,探索农业(包括中药)废弃物资源化利用方式,已成为国内外农业研究的热点。首先,施用生物有机肥是提高土壤基础地力、改善农产品品质的重要途径。施用生物有机肥不仅能够改善土壤理化性质、培肥地力、提高土壤微生物活性,提高和优化植物产量和质量,还能减少无机肥料施用量,从根本上改善农产品品质,符合中国农业可持续发展和绿色环保理念^[12]。其次,生产生物有机肥是农业废弃物资源化利用的重要手段。农业废弃物中含有丰富的作物生长必需的营养元素和有机养分,将其资源化利用制成生物有机肥,通过微生物的作用使有机物矿质化、腐殖化和无害化,以供作物吸收利用,不仅可以缓解农业废弃物对环境的压力,而且可以变废为宝,获得可观的经济效益。

2 中药药渣资源开发利用价值和主要利用方式

由于传统提取方法单一,多数中药制药过程中的有效成分提取率仅为30%~70%,而经提取后的药渣和非入药部位则被归为废料一类^[13]。有报道显示,中药药渣包含植物纤维、脂类、蛋白质、多糖、黄酮、生物碱、萜类以及氮、磷、钾、硅、锰、铝、锌、铬、镁、铁等多种无机元素及少量维生素^[14]。因此,中药药渣不仅极具开发利用价值,而且通过加工处理,可以使中药药渣变废为宝、循环利用,达到节能减排、低碳环保、绿色可持续发展的目的^[15]。早期,中药药渣循环利用主要集中在家禽、家畜饲养领域,如中药药渣作为饲料或饲料添加剂,或堆肥后用于种植蔬菜、食用菌等^[16-18]。近年来,中药药渣再利用在有效成分再提取、食用菌栽培基质、饲料或饲料添加剂、有机肥料、生物质能源、发酵生产等方面取得了长足的发展^[19-22]。

中药药渣资源利用主要涉及种植业、养殖业、环境及能源等领域,目前中药渣利用方式主要包括:(1)有效成分富集提取利用。通过技术革新和技术集成,提升中药渣资源性物质的利用效率,或通过化学转化、发酵转化技术等,使中药渣有效成分得到富集再提取^[20,23]。(2)生态经济化利用。把中药药渣用以开发生产有机肥料,菌菇、作物、中药材

种植基质等,让中药渣最终回归大自然的生态循环,促进绿色农业发展^[24-25]。(3)高附加值化利用。加大药渣资源开发力度和深度,生产具有高附加值产品,如发酵生产乙醇、热解裂化生产生物柴油等^[26-27]。

3 中药药渣与生物有机肥

中药药渣含有大量纤维素,微生物在一定温度和 pH 条件下,将其进行生物化学降解,使其形成一种稳定的腐殖质,该过程称为堆肥。根据堆肥化过程中是否需要氧气,可将堆肥化过程分为厌氧堆肥和好氧堆肥两类^[28]。厌氧堆肥是在环境中氧气不足或无氧情况下利用自然界中的厌氧菌和废弃物中的有机物质,将废弃物中有机物质转化为沼气和沼肥的过程^[29]。好氧堆肥是在有氧条件下,利用自然界中广泛存在的细菌、放线菌、真菌等微生物,将处于不稳定状态的有机物质转化为稳定腐殖质的过程^[30]。堆肥能够制造生物有机肥,利用中药药渣制备生物有机肥,可广泛用于蔬菜、水果、农作物、中药材等作物种植。中药药渣大多是植物的根、茎、叶,含有丰富的有机质、糖类、粗蛋白、生物碱以及多种无机元素和少量维生素,而且不含致病菌,重金属量远低于作为肥料或基质的允许量,即使重金属富集程度高的药渣,研究表明形成重金属污染主要是重金属阳离子,即带有正电荷,而微生物细胞壁多数带有负电荷,由于正负电荷的相互吸引,微生物细胞可以增加对阳离子的吸附性。此外,由于微生物细胞壁自身分子结构具有的活性,也可将重金属离子整合集中于细胞表面,从而达到对重金属污染进行净化处理的目的^[31]。同时,中药药渣通气性好,质轻,可改善土壤通透性,是一种极为安全、无公害的优质有机肥原材料^[32]。用生物发酵技术对其进行生物活化处理,就能生产出含丰富氮、磷、钾及有机质的生物有机肥^[33]。唐懋华等^[34]利用生产脉络宁的药渣并配合施用适量无机肥和生物菌肥,可快速提高生土供养能力与生土活性,促进生土团粒结构形成,使生土快速熟化,实现当年熟化当年丰产。周达彪^[35]总结了中药渣生产肥料的模式,经高温灭菌,适宜条件好氧性发酵处理后,可加工出无害、无味的肥料原材料,针对花卉、苗木、蔬菜、果树等需肥特性及生长要求,再配以有机无机肥料,制做成高肥效低成本的优质复合肥料。贾伍员等^[36]将板蓝根药渣粉碎后进行堆肥沤制,再用于种植菠菜,发现 20%板蓝根药渣和 80%牛粪制成的有机肥效果最好。王引权等^[37]研究发现,中药渣

堆肥能促进当归生长后期根系伸长及增粗,增加产量,提高阿魏酸和藁本内酯含量。李静娟等^[38]将蚯蚓加入到中药废渣中生产药渣蚓粪,发现药渣蚓粪可显著促进作物的生长,提高土壤容重、pH、有机质及全氮、速效钾含量。王茂等^[39]以板蓝根、连翘、芦根等抗病毒药渣为主料,以杏鲍菇菌渣和鸡粪为辅料,按照一定比例混合发酵用于生菜种植,结果显示,用中药废渣发酵的肥料可促进叶片生长,提高生菜产量及品质。万燕等^[40]研究表明,用妇科千金片药渣发酵制备的有机肥对半夏地下球茎质量、根质量、地下部位总质量及单株质量增加效果显著。李秀颖等^[41]在黄姜去皂苷后的药渣中加入有益微生物,发酵 20 d 后制得的生物有机肥,经检测合格,可应用于农业生产。刘金鹏等^[42]以中药药渣、玉米芯和黏土为原料,木屑为发酵菌液载体,经一系列加工处理后制得的有机肥料中有机质含量较高,具有改良土壤性质,提高土壤肥力,促进植物生长的作用。方练等^[43]将中药药渣经干湿化处理,适当添加粗纤维降解菌等进行混合发酵后得到中药渣有机肥半成品,根据有机肥料中所需的氮、磷、钾含量,定量加入硫酸铵、硫酸钾或氯化钾等,制成的肥料产品中既含有有机质,且无机成分氮、磷、钾养分丰富,是一款营养全面、高效、无公害的有机肥料。李瑞霞等^[44]研究发现,减施 25%化肥同时配施贵州木霉 *Trichoderma guizhouense* 制成的生物有机肥可以通过调控土壤养分有效性、土壤酶活性和土壤微生物区系来改善盐土的可耕种性,从而提高番茄产量和品质。Yuan 等^[45]研究表明,利用哈茨木霉 *Trichoderma harzianum* 发酵研制的生物有机肥结合丛枝菌根 (Arbuscular mycorrhiza, AM) 真菌摩西球囊霉 *Glomus mosseae* 能够提高烟草株高和茎、根干质量。因此,中药药渣制备生物有机肥具有广阔的应用前景。

4 中药药渣发酵微生物菌群

利用微生物菌群联合降解中药渣,可以将纤维素、木脂素等成分转化为小分子物质,释放药渣中残留的活性物质,有利于实现中药渣中大分子物质的降解^[46]。目前虽已获得一批具有微生物降解能力的菌种,但是单一菌种的分解能力有限,用单一菌种实现中药渣中大分子物质的彻底降解难度较大,而微生物复合菌群中各个菌种之间相互影响、相互制约,是实现中药渣中纤维素及木质素类成分完全降解的有效途径^[47-50]。纤维素降解常见真菌有木霉

Trichoderma、曲霉 *Aspergillus*、地霉 *Geotrichum* 等, 其中绿色木霉 *Trichoderma viride* 因具有菌体生长量大且迅速、酶系齐全、产酶量大、酶活性高、营养要求简单、发酵过程中既有固态发酵方式也有液体深层培养方式等优点, 而备受关注^[51-52]。绿色木霉产生的纤维素酶可将植物纤维素分解为葡萄糖, 能破坏植物细胞壁, 使其释放蛋白体、淀粉等营养成分, 能消除中药药渣中淀粉多糖的抗营养作用, 提高药渣利用率。van Wyk 等^[53]研究发现, 绿色木霉产生的纤维素酶可将废报纸中的纤维素转化为可发酵的糖, 不仅减少了环境污染, 还对废报纸进行了回收利用。Korenga 等^[54]报道了绿色木霉产生的纤维素酶对纤维素糖化作用的研究。谢小林等^[55]研究表明, 潮湿纤维单胞菌 *Cellomonasuda* 和绿色木霉混合接种能显著提高不同食用菌菌渣羧甲基纤维素酶活性。孟顺利等^[56]研究发现, 在稻草秸秆发酵中, 绿色木霉、红芝接种比例为 1:4、接种量为 35%、共同发酵时间 8 d; 二次发酵时, 酵母接种量 7%、发酵时间为 24 h 时培养基中纤维素、半纤维素、木质素降解率最好, 真蛋白含量最高。

5 外源添加功能微生物菌群

生物有机肥的本质特征是含有一种或多种具有特定功能的、表现出一定肥料效应的微生物, 这些功能微生物的生命活动是生物有机肥优于其它肥料的关键因素, 加入这些外源功能微生物既可以通过产生纤维素酶、淀粉酶或乳糖酶实现对中药药渣或秸秆类废弃物的营养成分转化和再利用, 又可以通过改善植株生长的土壤等环境因素以及与植株根系建立共生关系, 从而提高植株对营养元素(肥料和土壤中)的吸收以及抗病防虫的能力^[57]。而生物有机肥质量的优劣主要取决于所含益生菌的作用强度和活菌数量, 目前在以发酵后中药药渣为主要成分的生物有机肥生产过程中, 加入的功能菌包括芽孢杆菌、假单胞菌、链霉菌、固氮菌、溶磷菌、光合细菌、菌根真菌、深色有隔内生真菌等^[6]。

5.1 功能细菌和放线菌群

芽孢杆菌 *Bacillus* 是一类应用广泛、安全性高、抗逆性强、环境友好的细菌, 其中许多菌株对多种植物病原菌和害虫有强烈的抑制和杀灭作用, 可提高作物成活率和农产品产量, 一些菌株能分泌纤维素酶降解秸秆类、中药药渣废弃物, 有利于自然界碳素循环, 具有固氮特性的芽孢杆菌可提高土壤氮素含量, 促进作物生长^[6]。枯草芽孢杆菌还能分泌

植酸酶分解植酸, 增加土壤中游离磷含量, 促进植物对磷的吸收^[58]。燕红等^[59]研究表明, 地衣芽孢杆菌 *Bacillus licheniformis* 可产生半纤维素酶、纤维素酶和木质素酶降解农业废弃物秸秆, 发酵 5 d 后, 纤维素降解率可达 14.91%。顾欣等^[60]通过研究不同有机肥和菌肥配施对拱棚西瓜土壤质量的影响, 结果表明, 生物有机肥配施解淀粉芽孢杆菌为改良培肥瓜田土壤的最优配施方案。假单胞菌 *Pseudomonas* 是植物根围促生细菌, 既能抑制多种植物病原菌生长, 还能分泌一些小分子物质诱导植株产生抗病性, 间接提高作物产量; 同时, 假单胞菌对农药污染的土壤有较好的修复作用, 有利于土壤微生物群落正常功能的恢复和维持^[61-62]。链霉菌 *Streptomyces* 隶属放线菌, 可产生抗生素等多种生物活性物质。阎淑珍等^[63]将分离到的一株链霉菌 R-2 配制成微生物肥料, 田间实验表明, 该肥料对棉花黄萎病和油菜菌核病的抑制率分别为 72% 和 97.2%。张忠良等^[64]研究表明, 生防娄彻氏链霉菌 *Streptomyces rochei* 生物有机肥对魔芋有显著的促生长作用, 其通过影响植株的光合生理、生化及诱导抗性提高魔芋产量, 改善球茎品质。周勇等^[65]通过研究 4 种不同菌种混合对复合中药渣进行固体发酵, 结果表明, 当枯草芽孢杆菌-乳酸芽孢杆菌-嗜酸乳杆菌-产朊假丝酵母菌比例为 2:1:2:1 时, 发酵 6 d 后, 多糖的质量分数为 6.08%; 菌体量为 1.5×10^7 cfu/g, 发酵效果较好。柳艳艳等^[66]研究表明, 中等浓度(菌剂 0.1 g/kg)巨大芽孢杆菌对增加油菜产量和根系生长有显著作用。李秀颖等^[67]通过向黄姜药渣中加入少量巨大芽孢杆菌、胶质芽孢杆菌、圆褐固氮菌和 EM 菌(由光合细菌、乳酸菌、芽孢杆菌、消化细菌等多种有益菌组成的 1 种复合菌群), 在 30~42 °C 环境下发酵 20 d, 获得发酵成品, 经检测符合生物有机肥料标准。

固氮菌是一类重要的植物促生细菌和放线菌, 占据着植物组织内有利于营养供应和微环境适宜的生态位, 能更好地发挥固氮、解磷、产植物生长素、产 1-氨基环丙烷-1-羧酸(ACC)脱氨酶、产铁载体及拮抗病害等功能^[68]。溶磷菌具有将植物难利用的磷转化为可利用形态磷的能力, 固氮菌和溶磷菌联合对红海榄 *Rhizophora stylosa* Griff. 施用后使其苗高、地下生物量、总生物量、根全氮量和根全磷量分别提高了 43.3%、44.8%、29.9%、29.3% 和 27%^[69]。光合细菌是一类利用太阳能生长繁殖的微生物, 以

H₂S 或有机物为供氢体还原 CO₂, 并具有固氮功能, 在生物有机肥中加入光合细菌, 能促进稻田土壤中固氮菌和放线菌增殖, 提高土壤中微生物总量, 为作物创造良好的生长环境^[70]。

5.2 功能真菌群

在生物有机肥生产中, 引入促生抗逆真菌资源, 不仅能够提升生物有机肥质量和功效, 这些真菌随有机肥施入土壤后, 能够与中药材根系形成共生关系, 促进中药材健康生长, 而且为新型生物有机肥生产提供了新的功能微生物资源。AM 真菌是自然生态系统中根际微生物群落的重要组成部分, 能与陆地生态系统中大部分植物形成菌根联合体。菌根联合体能增加限制性营养吸收, 抵御病原微生物, 增强抗旱能力, 加速植株生长^[71-72]。马丽等^[73]利用盆栽接种实验探讨了在不同施磷量条件下 AM 真菌摩西球囊霉对生长、养分吸收和微量元素含量的影响, 结果表明, 接种 AM 真菌和施磷之间有显著交互作用, 适宜施磷水平下接种 AM 真菌能够显著提高黄芩产量和质量, 提高磷肥利用率, 减少磷肥施用量。张国漪等^[74]研究表明, 配合施用 AM 真菌与死谷芽孢杆菌 *Bacillus vallismortis* 生物有机肥显著降低了棉花黄萎病的发病指数, 与对照相比其病情指数下降了 72.80%, 根际可培养微生物数量和种类发生显著变化。祝英等^[75]利用 3 种自制植物根际促生菌 (plant growth promoting bacteria, PGPR)、AM 真菌、复合真菌菌剂和市场购买的“多利维生”寡雄腐霉卵孢子等 4 种植物益生菌菌剂进行当归拌种育苗试验, 结果表明, 添加外源微生物菌剂通过影响根际微生物类群数量和功能改善了根际土养分含量和植物吸收利用能力, 进而提高了当归苗的品质。

深色有隔内生真菌 (dark septate endophyte, DSE) 是指定居在植物根组织细胞内或细胞间隙的一群子囊菌和无性繁殖真菌, 这类真菌典型特征是细胞壁有黑色素沉淀, 能够形成深色有隔菌丝和微菌核等形态结构, DSE 具有与菌根真菌类似的生物学功能, 不仅能增强宿主对矿质元素和有机养分, 特别是氮和磷的吸收, 还能提高植物适应性, 增强植物抗逆性及抗病性^[76-77]。谢玲等^[78]研究表明, DSE 能与铁皮石斛苗共生, 明显提高铁皮石斛的生长能力, 具有较好的开发利用潜力。张晓蓉等^[79]研究表明, 接种 DSE 真菌甘瓶霉 *Phialophora mustea* 能够增强番茄植株抗氧化酶活性, 缓解由尖孢镰刀菌导致的脂膜过氧化胁迫, 提高植物对真菌病害的抗

性, 促进宿主植物生长。根据 AM 和 DSE 真菌等功能性真菌在植物根系的广泛定殖和促生抗逆功能, 必将在以中药药渣为原料的生物有机肥研发和应用过程中发挥重要作用。

6 结语

中药是中华文化的瑰宝, 中医药事业是我国传统优势产业。中药渣资源的科学利用是一项复杂而艰巨的任务, 正视中药渣的产生及其资源化利用问题, 以中药药渣为原料生产生物有机肥, 可提高中药材资源的利用价值。而生物有机肥的推广使用, 将在改善我国的生态环境, 提高农作物产量和品质, 保障国民身体健康, 促进农业可持续发展和循环经济方面发挥重要作用。由于中药药渣来源途径广, 使得中药渣的处理工作变得更为复杂。所以, 在中药渣资源利用中, 要根据不同种类药渣对其采用不同的方法进行处理, 比如有些中药渣可用于栽培食用菌, 有些可用作禽畜饲料或者添加剂, 还有些可用于制取生物质能源等, 这些需要依据中药渣的具体化学、物理性质才能合理地进行综合资源化利用。在中药药渣生产生物有机肥的过程中, 针对中药药渣来源多样性和安全性、中药药渣有效成分分析、微生物降解菌群和功能菌群筛选、生物发酵工艺的的科学性和稳定性等问题进行系统深入研究, 才能生产出具有高附加值的生物有机肥。

参考文献

- [1] Guo F Q, Dong Y P, Zhang T H, *et al.* Experimental study on herb residue gasification in an air-blown circulating fluidized bed gasifier [J]. *Ind Eng Chem Res*, 2014, 53(34): 13264-13273.
- [2] 吴薛明, 许婷婷, 何冰芳, 等. 非水相生物转化体系的建立及其在中药废弃物资源化中的应用 [J]. *中草药*, 2015, 46(3): 313-319.
- [3] NY 884-2012 生物有机肥 [S]. 2014.
- [4] 付小猛, 毛加梅, 沈正松, 等. 中国生物有机肥的发展现状与趋势 [J]. *湖北农业科学*, 2017, 56(3): 401-404.
- [5] 刘艳霞, 李想, 曹毅, 等. 抑制烟草青枯病型生物有机肥的田间防效研究 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2014, 20(5): 1203-1211.
- [6] 陈谦, 张新雄, 赵海, 等. 生物有机肥中几种功能微生物的研究及应用概况 [J]. *应用与环境生物学报*, 2010, 16(2): 294-300.
- [7] 李志友. 生物有机肥对蓝莓根区土壤养分及微生物学特性的影响 [J]. *水土保持研究*, 2017, 24(2): 36-42.
- [8] 孙芬芬, 周丽蓉, 伍海全, 等. 微生物菌群发酵稻秸制备有机肥的研究 [J]. *安徽农业大学学报*, 2016, 43(6): 967-971.

- [9] 魏 猛, 张爱君, 诸葛玉平, 等. 长期不同施肥方式对黄潮土肥力特征的影响 [J]. 应用生态学报, 2017, 28(3): 838-846.
- [10] Bais H P, Weir T L, Perry L G, *et al.* The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms [J]. *Ann Rev Plant Bio*, 2006, 57(1): 233-266.
- [11] 赵兰凤, 胡 伟, 刘小锋, 等. 生物有机肥对香蕉枯萎病及根系分泌物的影响 [J]. 生态环境学报, 2013, 22(3): 423-427.
- [12] 秦 梦, 黄璐琦, 裴 林, 等. 中药废弃物的开发与利用 [J]. 中国医药导报, 2017, 14(9): 38-41.
- [13] 刘海新, 马 浩, 黄海娟, 等. 中药药渣的综合利用研究进展 [J]. 发酵科技通讯, 2014, 43(1): 30-32.
- [14] 杨 冰, 丁 斐, 李伟东, 等. 中药渣综合利用研究进展及生态化综合利用模式 [J]. 中草药, 2017, 48(2): 377-383.
- [15] 袁 盼, 申俊龙, 申 远. 基于生态效应的中药废弃物资源化的模式与技术选择 [J]. 中草药, 2015, 46(19): 2829-2833.
- [16] 黎智华, 祝 倩, 姬玉娇, 等. 六种中药渣的营养成分 [J]. 天然产物研究与开发, 2017, 29(1): 91-95.
- [17] 吴 华, 张 辉, 兰小定. 黄芪药渣对放牧肉鸡肉品质的影响 [J]. 畜牧兽医杂志, 2010, 29(1): 26-28.
- [18] 金 茜, 曾启华, 李华刚, 等. 中药渣栽培食用菌中氨基酸含量的测定与分析 [J]. 遵义师范学院学报, 2015, 17(1): 103-105.
- [19] Shi L, Yu H S, Jin F X. Study on tanshinone extracted from *Salvia miltiorrhiza* Bge. dregs [J]. *Agr Sci Tech*, 2010, 11(1): 103-106.
- [20] Chen C Y, Zu Y G, Fu Y J, *et al.* Preparation and antioxidant activity of *Radix Astragali* residues extracts rich in calycosin and for mononetin [J]. *Biochem Eng J*, 2011, 56(1/2): 84-93.
- [21] Zhang Q, Yi X, Sheng Z, *et al.* Novel functional polysaccharides from *Radix Polygoni Multiflori* water extracted residue: Preliminary characterization and immunomodulatory activity [J]. *Carbohydr Polym*, 2015, 137(10): 625-631.
- [22] 张 英, 吴献跃, 李 馨, 等. 中药药渣同步糖化发酵生产乙醇的工艺研究 [J]. 中成药, 2013, 35(9): 2053-2056.
- [23] Guo F Q, Dong Y P, Lei D, *et al.* An innovative example of herb residues recycling by gasification in a fluidized bed [J]. *Waste Manage*, 2013, 33(4): 825-832.
- [24] 郭兰萍, 王铁霖, 杨婉珍, 等. 生态农业——中药农业的必由之路 [J]. 中国中药杂志, 2017, 42(2): 231-238.
- [25] 边三根, 谢 彦, 龙秋生, 等. 中药渣基质栽培番茄试验 [J]. 安徽农学通报, 2015, 21(2): 44-45.
- [26] Demirbas A. Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals [J]. *Energ Convers Manage*, 2001, 42(7): 1357-1378.
- [27] 张 英, 吴献跃, 李 馨, 等. 中药药渣同步糖化发酵生产乙醇的工艺研究 [J]. 中成药, 2013, 35(9): 2053-2056.
- [28] 马丽娜, 陈 静, 吴志伟, 等. 中药渣的生物学处理方式研究进展 [J]. 时珍国医国药, 2016, 27(1): 194-196.
- [29] 刘焕焕, 郭 枫, 许文迪, 等. 基于生物发酵技术的中药药渣开发应用研究进展 [J]. 中国酿造, 2017, 36(4): 6-9.
- [30] 马怀良, 许修宏. 畜禽粪便高温堆肥化处理技术 [J]. 东北农业大学学报, 2005, 36(4): 536.
- [31] 李 军. 微生物修复技术在处理重金属污染中的应用 [J]. 山西水土保持科技, 2014, 2(2): 22-23.
- [32] 杨绪勤, 袁 博, 蒋继宏. 中药渣资源综合再利用研究进展 [J]. 江苏师范大学学报: 自然科学版, 2015, 33(3): 40-44.
- [33] 王明威, 周 林, 刘顺会, 等. 中药渣资源化利用探讨 [J]. 广东药科大学学报, 2017, 33(1): 140-143.
- [34] 唐懋华, 成维东, 甘小虎. 中药渣快速熟化生土效果初报 [J]. 长江蔬菜, 2005(8): 54-55.
- [35] 周达彪. 基于农业循环利用的药渣种菜模式研究利用 [J]. 江苏农业科学, 2008(3): 172-174.
- [36] 贾伍员, 秦 坤, 刘 林. 板蓝根药渣成分的测定及其利用研究 [J]. 泰山医学院学报, 2010, 31(7): 520-521.
- [37] 王引权, Schuchardt F, 安培坤, 等. 中药渣堆肥与化肥配合施用对当归产量与品质的影响 [J]. 甘肃中医学院学报, 2012, 29(5): 51-56.
- [38] 李静娟, 周 波, 张 池, 等. 中药渣蚓粪对玉米生长及土壤肥力特性的影响 [J]. 应用生态学报, 2013, 24(9): 2651-2657.
- [39] 王 茂, 郭 鑫, 韩 峰, 等. 中药渣有氧发酵有机肥中试及田间肥效试验研究 [J]. 现代农业科技, 2014(18): 217-218.
- [40] 万 燕, 雨 田, 郭晓恒, 等. 妇科千金片药渣发酵制备有机肥在半夏种植上的应用 [J]. 成都大学学报: 自然科学版, 2017, 36(1): 39-41.
- [41] 李秀颖, 叶 华, 刘变变, 等. 药渣发酵再次利用研究初探 [J]. 腐植酸, 2016(2): 23-26.
- [42] 刘金鹏, 鞠美庭, 吴文韬, 等. 一种利用中药渣生产有机肥料的方法: 中国, CN102826918A [P]. 2012-12-19.
- [43] 方 练, 庄明儒, 肖卫彬. 一种由中药渣发酵物生产的有机-无机复混肥料及其方法: 中国, CN102731195A [P]. 2012-10-17.
- [44] 李瑞霞, 陈 巍, 蔡 枫, 等. 贵州木霉 NJAU4742 生物有机肥对番茄种植的影响 [J]. 南京农业大学学报, 2017, 40(3): 464-472.
- [45] Yuan S F, Li M Y, Fang Z Y, *et al.* Biological control of tobacco bacterial wilt using *Trichoderma harzianum* amended bioorganic fertilizer and the arbuscular mycorrhizal fungi *Glomus mosseae* [J]. *Biol Control*, 2016, 92: 164-171.
- [46] 李亚丹, 郭义东, 刘逆夫, 等. 微生物复合菌群联合降解中药药渣的研究进展 [J]. 化学与生物工程, 2015, 32(4): 12-14.
- [47] Wongwilaiwalin S, Rattanachomsri U, Laothanachareon T, *et al.* Analysis of a thermophilic lignocellulose

- degrading microbial consortium and multi-species lignocellulolytic enzyme system [J]. *Enzyme Microb Tech*, 2010, 47(6): 283-290.
- [48] Nishiyama T, Ueki A, Kaku N, *et al.* *Bacteroides graminisolvens* sp. nov. axylanolytic anaerobe isolated from a methanogenic reactor treating cattle waste [J]. *Int J Syst Evol Micr*, 2009, 59(8): 1901-1907.
- [49] Wang W, Lei Y, Cui Z, *et al.* Characterization of amicrobial consortium capable of degrading lignocellulose [J]. *Bioresource Technol*, 2011, 102(19): 9321-9324.
- [50] Feng Y, Yu Y, Wang X, *et al.* Degradation of raw cornstover powder (RCSP) by an enriched microbial consortium and its community structure [J]. *Bioresource Technol*, 2011, 102(2): 742-747.
- [51] 李兴江, 郑志, 姜绍通, 等. 利用木霉与根霉两步发酵秸秆制备L-乳酸研究 [J]. 菌物学报, 2009, 28(3): 445-450.
- [52] 王小明, 孙玉辉, 张欢, 等. 绿色木霉固态发酵生产纤维素酶条件优化与酶的固定化 [J]. 浙江农业学报, 2014, 26(1): 186-193.
- [53] van Wyk J P H, Mphulatsi M. Biodegradation of waste paper by cellulase from *Trichoderma viride* [J]. *Bioresource Technol*, 1996, 86(1): 21-23.
- [54] Korenaga T, Fujii S C. Separation and enzymatic Saccharification of cellulose from Wakame (*Undaria pinnatifida*) [J]. *J Food Comp Anal*, 2000, 13(5): 865-871.
- [55] 谢小林, 顾振红, 陈美标, 等. 潮湿纤维单胞菌和绿色木霉混合接种对不同食用菌菌渣相关酶活性的影响 [J]. 生物技术通报, 2013, 29(12): 162-166.
- [56] 孟顺利, 张力, 史兆国, 等. 绿色木霉、红芝、酵母三菌混合发酵稻草秸秆生产蛋白饲料条件的研究 [J]. 甘肃农业大学学报, 2015, 50(6): 6-11.
- [57] 李庆康, 张永春, 杨其飞, 等. 生物有机肥的概念、机理、影响因素和应用前景 [J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(2): 78-80.
- [58] 范继英, 何月秋. 枯草芽孢杆菌植酸酶的研究进展 [J]. 云南农业大学学报, 2006, 21(6): 715-720.
- [59] 燕红, 杨谦, 潘忠诚. *Bacillus licheniformis* 对水稻秸秆降解的研究 [J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2007, 33(4): 360-366.
- [60] 顾欣, 孙权, 王锐, 等. 菌肥与有机肥配施对拱棚西瓜土壤的改良效果 [J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(3): 219-225.
- [61] Igual J M, Valverde A, Cervantes E, *et al.* Phosphate-solubilizing bacteria as inoculants for agriculture: Use of updated molecular techniques in their study [J]. *Agronomie*, 2001, 21(6/7): 561-568.
- [62] 曾令涛, 王东升, 常江杰, 等. 蚯蚓堆肥与益生菌配施对西瓜生长和品质的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2017(1): 103-110.
- [63] 阎淑珍, 杨启银, 陈育如. 复合微生物肥对植物土传病原真菌的抑制作用 [J]. 中国生物防治, 2004, 20(1): 49-52.
- [64] 张忠良, 何斐, 薛泉宏. 魔芋专用生防放线菌有机肥对板栗林下魔芋的促生作用 [J]. 西北农业学报, 2016, 25(7): 1056-1061.
- [65] 周勇, 金鑫, 谢蓝华, 等. 复合中药渣发酵功能饲料的研究 [J]. 中国酿造, 2011(12): 122-125.
- [66] 柳艳艳, 骆洪义, 王凤忠, 等. 巨大芽孢杆菌 (BM002) 生物有机肥对油菜生长发育的影响 [J]. 山东农业科学, 2012, 44(7): 63-66.
- [67] 李秀颖, 叶华, 刘变变, 等. 药渣发酵再次利用研究初探 [J]. 腐植酸, 2016(2): 23-26.
- [68] 张磊, 袁梅, 孙建光, 等. 马铃薯内生固氮菌的分离及其促生特性研究 [J]. 中国土壤与肥料, 2016(6): 139-145.
- [69] 李玫, 何雪香, 廖宝文. 固氮菌与溶磷菌接种对红海榄生长的影响 [J]. 生态科学, 2008, 27(4): 222-226.
- [70] 李俊峰, 王梦亮. 光合细菌对农田生态系统的影响 [J]. 山西农业科学, 2002, 30(1): 52-56.
- [71] Krishnamoorthy R S, Kim K Y, Kim C G, *et al.* Changes of arbuscular mycorrhizal traits and community structure with respect to soil salinity in a coastal reclamation land [J]. *Soil Biol Biochem*, 2014, 72(1): 1-10.
- [72] Majewska M L, Rola K, Zube K S. The growth and phosphorus acquisition of invasive plants *Rudbeckiala ciniata* and *Solidago gigantea* are enhanced by arbuscular mycorrhizal fungi [J]. *Mycorrhiza*, 2017, 27(2): 83-94.
- [73] 马丽, 王平, 贺学礼, 等. AM 真菌和施磷量对黄芩生长、养分吸收和微量元素的影响 [J]. 中国中药杂志, 2011, 36(16): 2170-2175.
- [74] 张国漪, 丁传雨, 任丽轩, 等. 菌根真菌和死谷芽孢杆菌生物有机肥对连作棉花黄萎病的协同抑制 [J]. 南京农业大学学报, 2012, 35(6): 68-74.
- [75] 祝英, 彭铁楠, 巩晓芳, 等. 不同微生物菌剂对当归苗生长及根际土微生物和养分的影响 [J]. 应用与环境生物学报, 2017, 23(3): 511-519.
- [76] DellaMonica I F, Saparrat M C N, Godeas A M, *et al.* The co-existence between DSE and AMF symbionts affects plant P pools through P mineralization and solubilization processes [J]. *Fungal Ecol*, 2015, doi: 10.1016/j.funeco.2015.04.004.
- [77] Cassandra M A, Ken N P. Belowground fungal associations and water interact to influence the compensatory response of *Ipomopsis aggregate* [J]. *Oecologia*, 2016, doi: 10.1007/s00442-015-3470-8.
- [78] 谢玲, 张雯龙, 覃丽萍, 等. 深色有隔内生真菌 (DSE) 引进菌株对铁皮石斛的接种效应 [J]. 南方农业学报, 2014, 45(6): 1010-1014.
- [79] 张晓蓉, 李涛, 王超君, 等. 深色有隔内生真菌甘瓶霉对番茄抗枯萎病的作用 [J]. 中国生物防治学报, 2017, 33(6): 394-400.