

• 综 述 •

中药渣综合利用研究进展及生态化综合利用模式

杨冰¹, 丁斐², 李伟东³, 金俊杰⁴, 田荣⁴, 蔡宝昌^{1,4}, 秦昆明^{4*}

1. 南京中医药大学, 江苏 南京 210023
2. 南京海源中药饮片有限公司, 江苏 南京 210061
3. 江苏海昇药业有限公司, 江苏 南京 210061
4. 南京海昌中药集团有限公司, 江苏 南京 210061

摘要: 近几年随着中药行业的迅速发展, 中药渣的排放量也逐年增加。目前对中药渣的处理方式仍以堆放、焚烧与填埋为主; 对中药渣的综合利用研究主要集中在中药渣堆肥育苗、栽培食用菌、做动物饲料、生产沼气等几个方面, 但这些研究只是对中药渣的一次利用, 并未体现出中药渣的真正价值。在查阅国内外文献的基础上, 对中药渣的利用方式及利用技术进行综述, 同时提出对中药渣生态化综合利用模式的新思路。

关键词: 中药渣; 综合应用; 生态化模式; 堆肥育苗; 食用菌

中图分类号: R282.23 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2017)02-0377-07

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2017.02.027

Research progress on comprehensive utilization of Chinese medicine residue and ecological comprehensive utilization pattern

YANG Bing¹, DING Fei², LI Wei-dong³, JIN Jun-jie⁴, TIAN Rong⁴, CAI Bao-chang^{1,4}, QIN Kun-ming⁴

1. Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing 210023, China
2. Nanjing Haiyuan Prepared Slices of Chinese Crude Drugs Co., Ltd., Nanjing 210061, China
3. Nanjing Haisheng Pharmaceutical Co., Ltd., Nanjing 210061, China
4. Nanjing Haichang Chinese Medicine Corporation, Nanjing 210061, China

Abstract: In recent years, with the rapid development of Chinese medicine industry, Chinese medicine residue also increased year by year. At present, the treatment on Chinese medicine residue is still stacking, incineration, and landfill; Comprehensive utilization of Chinese medicine residue mainly concentrated on compost seedling, cultivation of edible fungi, production of animal feed, production of biogas, and so on, but these studies utilized only once in Chinese medicine residue, did not reflect the true value of Chinese medicine residue. In this paper, utilization ways and technologies of Chinese medicine residue are summarized on the basis of the article at home and abroad, and put forward new idea about ecological comprehensive utilization pattern of Chinese medicine residue.

Key words: Chinese medicine residue; comprehensive utilization; ecological pattern; compost seedling; edible fungi

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的废弃物, 其中以中成药生产过程中产生的中药渣较多, 占总量的70%。近几年, 随着中药产业的快速发展, 中药渣的排放量也在逐年增加。据统计, 目前每年排放的中药渣已达1 000万吨^[1]。

目前, 中药渣的一般处理方式是堆放^[2]、焚烧与填埋, 这些处理方式不仅需要企业承担排污费, 而且对水质、空气、土壤造成一定的污染。中药渣中还含有丰富的纤维、半纤维素、木质素、多糖、蛋白质等有机物以及微量元素等成分, 仅仅简单地中药渣进行堆放、焚烧及填埋处理, 势必会造成

收稿日期: 2016-09-20

基金项目: 江苏省重点研发计划—社会发展项目(BE2016626); 江苏省自然科学基金项目(BK20141093); 南京市现代中药资源开发与利用工程中心建设项目

作者简介: 杨冰(1992—), 女, 江苏徐州人, 硕士在读, 研究方向为中药炮制机制及质量标准研究。

Tel: 15751151582 E-mail: 15751151582@163.com

*通信作者 秦昆明, 男, 中药学博士, 副研究员, 从事中药炮制机制及质量标准研究。Tel: (025)68193567 E-mail: qinkm123@126.com

中药资源的浪费。

研究开发中药渣的高效综合利用方法,既可以为企业带来经济效益,又可以保护环境,是亟待研究的课题^[3]。目前,研究人员已经尝试多种中药渣利用方法,如热解、造纸、做絮凝剂、做吸附剂、做动物饲料、堆肥育苗、栽培食用菌等。但这只是对中药渣的一次利用,并没有实现对中药渣的综合利用,尚未体现出药渣的真正价值。本文在查阅国内外文献的基础上,对中药渣的综合利用方式及利用技术进行总结,同时提出对中药渣生态化综

合利用模式的新思路。

1 中药渣的利用方式

1.1 有效成分再提取

传统的中药提取方法是水提法,且仍是中药提取最常用的方法。水提法虽符合中药应用传统,但其对水溶性较差的物质提取效率较低,中药提取过程中存在着单一药用成分提取及提取率低等问题,造成中药资源浪费。在中成药生产、中药饮片的加工与炮制,以及其他中药相关产品生产过程中会产生大量含有效成分的中药渣废弃物(表 1)。

表 1 中药渣中残留成分实例分析

Table 1 Analysis on residue composition in Chinese medicine residue

中药渣种类	药渣成分鉴定结果	参考文献
丹参药渣	丹参酮类成分几乎未被利用	4
甘草药渣	提取出大量黄酮类成分,并分离鉴定出 10 个黄酮类化合物,分别为甘草黄酮、甘草黄酮 C、甘草素、异甘草素、甘草查尔酮甲、甘草异黄酮乙、光甘草酮、半甘草异黄酮 B、甘草异黄酮甲、芒柄花素	5
五味子药渣	含丰富的木脂素类、蛋白质、多糖类及粗纤维素类等成分	6
何首乌药渣	药渣中残留有具有免疫调节作用的多糖成分,可以作为潜在的免疫调节剂	7
黄芪药渣	药渣含有较多黄芪多糖	8
丹参和三七药渣	药渣中丹参酮 II _A 、次甲丹参酮、隐丹参酮、丹参酮 I 质量分数分别为 3.62%、1.02%、2.56%、2.75%	9
三七药渣	药渣中仍含有大量氨基酸	10

1.2 中药渣堆肥育苗

中药渣中木质素的量较高,腐殖化速度较快,可以用于堆肥^[11]。将中药渣适当粉碎,在适宜的条件下,经微生物腐熟堆肥处理,可以获得优质的农肥成品。中药渣富含有机质及磷、钾、氮养分,能满足蔬菜苗期所需养分。同时中药渣还具有孔隙度、基质容重、pH 值适中等特点,提高蔬菜幼苗的壮苗指数及光合能力,促进蔬菜根系对养分的吸收,此外中药渣堆肥比一般的食物垃圾具有更强的抗病原体的特性,可以减少抗菌剂的使用^[12]。

研究发现中药渣配制的蔬菜育苗基质可以提高蔬菜的产量,南京市蔬菜科学研究所研究人员利用“脉络宁”的药渣,研制出生物有机肥、有机无机复混肥、育苗基质和栽培基质^[13]。有研究将中药渣和腐熟玉米秸作烤烟漂浮育苗基质,发现该基质配方基本具备作为烤烟漂浮育苗基质的基本条件^[14];板蓝根药渣经粉碎、堆肥沤制后,可用于种植菠菜^[15];中药渣与牛粪混合发酵后饲喂蚯蚓获得蚓粪,蚓粪与草炭以不同比例混合后,可作为

番茄育苗的基质,且 10% 蚓粪和 90% 草炭组成的基质,番茄出苗率最高^[16]。

1.3 中药渣栽培食用菌

食用菌栽培常用的基质有麦秸、稻草、玉米芯等,而中药渣中含有大量适用于食用菌生长的营养成分,并且还含有丰富的纤维素、木质素类成分,同样适用于食用菌的栽培^[17]。而且研究发现由中药渣培育的食用菌比麦秸、稻草、玉米芯等其他栽培基质所栽培出的食用菌具有菌株生长状态好、产量高等优点(表 2)。

1.4 动物饲料

制做成动物饲料也是中药渣利用的一种方式。研究表明(表 3),中药渣开发成动物饲料不仅可以增强动物的免疫功能,减少抗生素的使用,而且可以促进动物生长、改善肉质。

1.5 生产沼气

中药主要有植物药、动物药与矿物药,其中植物药占中药材总量的 87% 以上。中药渣中含有淀粉、多糖、纤维素、半纤维素、蛋白质等物质以及 N、

表 2 中药渣栽培食用菌的实例分析

Table 2 Analysis on Chinese medicine residue used to cultivate edible fungi

中药渣种类	菌种	结果	参考文献
葛根汤的药渣	平菇	菌丝生长茁壮	17
小柴胡汤的药渣	金针菇	菌丝长势浓白、旺盛	18
加味藿香正气丸的药渣	裂褶菌	裂褶菌菌丝体长势较好	19
丹参、黄芪、元胡、黄芩、枸杞药渣	杏鲍菇	长势良好，生长周期短	20
汉方浸膏 4 号药渣	榆黄菇	生长速度快、长势好、产量高	21

表 3 中药渣开发成动物饲料的实例分析

Table 3 Analysis on Chinese medicine residue used to develop into animal feed

中药渣种类	研究对象	结果	参考文献
水飞蓟药渣	猪	猪增重，养分消化率提高，氮磷排泄率降低	22
黄芪药渣	白羽肉仔鸡	提高白羽肉仔鸡粗蛋白表现代谢率	23
黄芪药渣	岭南黄鸡	增加肉鸡肉的系水力，降低肉的含水量，改善肉质	24
红景天药渣	肉鸡	增强肉鸡的抗病能力，提高肉鸡存活率	25
“催奶灵”药渣	奶牛	提高杂交奶牛产奶量具有显著的效果	26

P、K 等无机元素，其丰富的营养物质可以为甲烷菌繁殖提供所需养分，是具有发展潜力的良好厌氧发酵材料^[27-29]。目前，中药渣厌氧发酵生产沼气是减少环境污染，合理利用药渣的有效方法，实现环境和经济的双赢。

地黄是一味常用中药，具有抑制动脉粥样硬化、抗衰老、抗氧化、免疫调节等作用^[30-32]。研究发现，地黄药渣是一种良好的厌氧发酵材料，发酵过程中甲烷聚集量随着厌氧反应时间的变化而变化，且厌氧发酵过程中甲烷的生产分为 2 个阶段：第一阶段是 0~20 h，第 2 个阶段是 20~168 h。第 1 阶段是零级反应，是甲烷积累的过程，其中甲烷产生呈线性增长；第 2 阶段是一级反应，在这个阶段中没有挥发性脂肪酸的积累^[33]。张顺喜等^[34]将中药药渣接种到污水处理厂的厌氧污泥上，研究多种因素对药渣发酵产沼气的影响。中药渣生产沼气不仅为中药渣的资源化利用开辟了新的途径，而且还能解决部分以畜禽粪便为原料的沼气工程缺乏发酵原料而闲置的问题^[35]。

1.6 废水处理

中药渣作为一种低成本的吸附剂可以进行废水处理。废水中的重金属严重影响着人类的健康，目前去除水中重金属的方法主要有化学沉淀法、离子交换法、生物膜过滤法及活性炭吸附法等，但这些方法在使用中常受到技术及经济的束缚，故研究人员致力于寻找低成本重金属吸附剂^[36-37]。研究发现

麻黄药渣可以作为生物吸附剂去除水溶液中的 Pb^{2+} ，而且发现在麻黄药渣吸附 Pb^{2+} 的过程中 pH 值具有重要的作用，随着 pH 值从 1.6 增加至 6.0，麻黄药渣对 Pb^{2+} 的吸附能力逐渐增强，并且麻黄药渣对 Pb^{2+} 的吸附能力大于稻谷壳、烟草粉尘等生活残渣^[38]。

亚甲蓝是纺织工业废水中常见的一种有害物质^[39]，研究发现稻壳、麸皮、咖啡壳等对亚甲蓝具有一定的去除能力^[40]，也有文献报道丹参药渣是一种潜在的去除水中亚甲蓝的生物吸附剂，对污水中亚甲蓝具有很强的吸附作用，并且丹参药渣对亚甲蓝的吸附量与丹参药渣的粒径、剂量、溶液的 pH 值及接触时间有关，丹参药渣对亚甲蓝的吸收峰在 pH=7 时出现^[41]。研究发现悬铃木落叶作为吸附剂吸附水溶液中的亚甲蓝，也是在 pH=7 时吸附量最大^[42]；麦秸秆对亚甲蓝及 Cu^{2+} 的吸附量也随 pH 值的变化而变化^[43]。

黄静^[44]采用三七药渣制备活性炭，发现其具有良好的重金属吸附性能。中药渣除了直接作为生物吸附剂以外，还可以将其制备成具有良好吸附性能的活性炭，用于处理含 Cu^{2+} 、 Pb^{2+} 等重金属的废水，达到了以废治废、资源化利用的目的。

1.7 其他应用

中药渣除了以上的应用方式以外，还可用于发酵食品与造纸。廖湘萍等^[45]以灵芝药渣与白酒厂酒糟为原料，经活性酵母、醋酸菌等发酵后，生产出醋酸总量在 5%~6% 的食醋，该醋营养丰富、风味

独特、色泽紫红鲜亮。袁琳^[46]研究香茶菜茎秆药渣的造纸性能,发现由香茶菜药渣所得浆料适用于制备纸浆及纸浆模塑产品,中药渣是优质的天然植物纤维资源,将其用于造纸会产生可观的经济效益,也可以解决目前造纸原料紧张的局面,减轻环境负担,意义重大。

2 中药渣开发利用的技术

2.1 生物质气化技术

生物质能是储存在生物质中的能量,生物质能可以通过发酵、热化学等方式转化成气态、液态或固态,具有普遍适用性^[47],是人类能源的重要来源,被称为“绿色煤炭”。中药渣就是一种典型的生物质。生物质气化技术^[48]可以将生物质原料转化为清洁燃气,并且整个过程具有清洁、高效的特点。

生物质气化技术有固定床气化技术和流化床气化技术两大类,其中流化床气化具有反应器易放大、气化效率高等优点。若将生物质气化技术用于中药渣,不仅能实现中药渣的规模化处理转化,而且产生的生物质燃气还能用于工业生产,以取代化石燃料,实现节能降耗。

2.2 汽爆技术

汽爆技术是将植物中药原料在一定的压强和温度的水蒸气下蒸煮,使植物中淀粉、半纤维素等成分部分水解生成可溶性糖,同时使复合胞间层的木质素软化和部分降解,细胞壁破碎的一项技术。汽爆技术可以在不添加任何化学试剂的水蒸气条件下,使天然植物中的苷元与糖基分离,从而在植物物料中提取苷元,提高苷类物质提取和分离效率;汽爆技术还可以减少热敏性成分(如挥发油),其在高温条件下易随蒸气挥发损失。

生物质原料经过汽爆处理后,可以打破纤维素、半纤维素和木质素紧密的屏障结构,不仅有利于活性物质提取,还有利于后续的酶解发酵以生产乙醇、丁醇等能源^[49],最后剩余的残渣还可以制备饲料、肥料和燃料等。

2.3 催化裂解技术

中药渣的催化裂解是我国中药行业步入低碳经济的重要途径。催化裂解是在催化剂存在的条件下,对石油烃类进行高温裂解以生产乙烯、丙烯等低碳烯烃,以及轻质芳烃的过程。中药渣是一种典型的生物质,而生物质能就是一种典型的低碳能源。生物质可以采用裂解液化方法裂解后能转化成新的能源,实现高附加值转化^[50-51]。将中药渣催化裂解制

备生物燃油可以用于企业的生产功能,以替代部分煤炭使用。

2.4 微生物转化技术

微生物转化是利用微生物产生的酶对中药渣进行结构修饰的生物化学过程。微生物转化技术可以将中药渣转化为具有较高利用价值的资源型物质,提升中药渣的利用价值,实现中药渣的资源化利用。中药渣在微生物转化过程中会产生纤维素酶、木质素酶、淀粉酶等促使组织细胞破壁,从而有利于中药渣中有效物质的溶出;微生物还可以分解并转化中药中的成分,使之产生次级代谢产物^[52],增强疗效,如利用含有 β -葡萄糖醛酸酶的微生物对甘草进行生物转化,可将甘草酸转化为甘草次酸。微生物转化技术早就应用于中药的加工炮制中,人们所熟知的半夏曲、建曲、焦神曲、淡豆豉等中药制品都是采用微生物转化技术加工制作而成^[53]。

2.5 微生物复合菌群降解

利用微生物菌群联合降解中药渣,可以将纤维素、木质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^[54]。目前虽已经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^[55]。

2007年,Chaffron等^[56]在白蚁肠道内发现了白蚁肠道微生物,它是一类特殊厌氧环境下的微生物菌群,可以产生多种纤维素降解酶和半纤维素降解酶,具有木质纤维素降解能力。目前已发现的微生物菌群还有纤维素降解复合菌群^[57]、木质纤维素降解细菌菌群^[58]等。目前严格厌氧菌拟杆菌属是公认的纤维素降解菌^[59],严格厌氧的梭杆菌属细菌大多具有较强纤维素、半纤维素降解能力,研究发现真菌中木霉、曲霉、白腐真菌中的一些菌种也能分泌多种木质纤维素。

2.6 固态发酵技术

固态发酵是微生物在没有或基本没有游离水的固态基质上,利用自然底物作为碳源与能源用一种或多种微生物而进行的生物反应过程。在现代固态发酵技术中,以木质纤维素原料基质使用最广泛,中药渣中含有丰富的木质素类成分,经固态发酵后可以制备成发酵食品。栝楼、丹参、厚朴、甘草 4

味中药的药渣经米曲霉固态发酵后可以提高药渣的利用率、增强功能性成分的释放，使之产生较强的抗氧化性及抑菌活性，具有更高的利用价值^[60]。

3 中药渣综合利用的生态化模式

中药渣综合利用生态化模式（图 1）首先将中药渣中的有效成分进行再次提取用于制备药物，减少中药中有效成分的浪费，其次将二次提取后的二级药渣采用微生物发酵技术、生物质气化技术等生产乙醇、沼气等生物质能源，为中药产品的制备提

供能源。二级药渣也可直接用于栽培食用菌生产菌产品或利用其生物吸附作用进行废水处理。制备生物质能后产生的三级药渣及栽培食用菌后产生的底质可用于生产动物饲料，而动物饲料经动物饲喂后产生的料渣及动物粪便可用于堆肥，制备有机肥料用于中药材的种植。同时制备生物质能后产生的三级药渣及用于废水处理的药渣可用于制备活性炭再次应用于废水处理，且活性炭在废水处理中还可以实现反复利用。

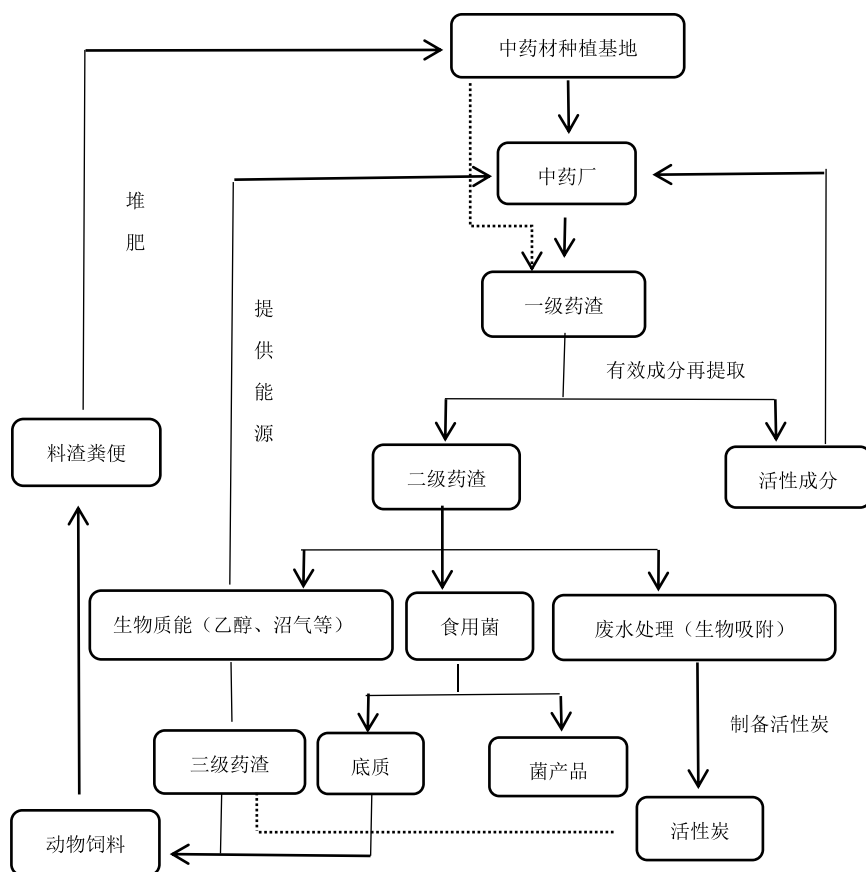


图 1 中药渣综合利用的生态化模式图

Fig. 1 Ecological model of comprehensive utilization of Chinese medicine residue

中药渣综合利用生态化模式主要目的是实现中药资源的综合、高效、循环利用，将中药材种植基地、中药厂、药渣处理间建立一种资源循环的途径，实现中药资源的综合利用，使中药渣的价值真正得到体现，而不仅仅是简单的一次利用。该中药渣综合利用生态园模式符合当今低碳经济、循环经济的发展模式。

4 问题与展望

中药渣的综合利用是一项复杂而艰巨的任务，在我国中药渣的综合利用还处于理论阶段，仅仅是

一个开端，还有大量的工作要做。同时在实现中药渣综合利用的同时，也应该考虑到中药渣在利用时所产生的一些二次污染问题，同时也要注意特殊中药渣的处理问题，如含毒性成分的中药渣。故在中药渣综合利用前，首先对中药渣进行分类，对特殊中药如含有毒性成分的中药渣进行特殊处理并禁用于食用菌的栽培、动物饲料等。

近几年随着“治未病”理念的逐步形成，使得中药产品备受瞩目。随着中药产品市场需求量的不断上升，使得中药渣资源更加“丰富”。在大力提倡

低碳经济、循环经济的背景下,实现中药渣资源的健康可持续发展,需得到行业和社会的共同关注。正视中药渣的产生及其资源化利用问题,采取科学技术方法,结合中药渣综合利用理念,提高中药渣资源的综合利用效率。切实可行地引导和支持中药渣综合利用,以实现中药资源的综合、高效、循环利用,不仅会给中药企业带来良好的经济效益,同时也会取得很好的社会效益。中药行业只有立足长远,走绿色可持续发展道路,贯彻低碳理念,充分利用中药渣资源,才能使中药行业真正的形成低碳、环保、集约的新产业。

参考文献

- [1] Guo F, Dong Y, Zhang T, *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] Suthar S, Singh D. Phytotoxicity of composted herbal pharmaceutical industry wastes [J]. *Envir Sci Poll Res Int*, 2011, 19(7): 3054-3059.
- [3] Guo T, Wang Y, Zhu Y L, *et al.* The reutilization of herbal residues [J]. *Adv Mater Res*, 2013, 726/731: 2993-2996.
- [4] 沈飞, 宿树兰, 江曙, 等. 丹红注射液生产过程中丹参固体废弃物的资源性成分分析及其转化机制研究 [J]. *中草药*, 2015, 46(16): 2471-2476.
- [5] 方诗琦, 冷康, 段金彪, 等. 甘草药渣中黄酮类成分及其抗氧化活性的研究 [J]. *中成药*, 2015, 37(11): 2443-2448.
- [6] 陶小芳, 沈飞, 宿树兰, 等. 生脉注射液生产过程五味子药渣中资源性物质的分析与循环利用途径探讨 [J]. *中草药*, 2015, 46(18): 2712-2719.
- [7] Zhang Q, Yi X, Sheng Z, *et al.* Novel functional polysaccharides from *Radix Polygoni Multiflori* water extracted residue: Preliminary characterization and immunomodulatory activity [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2015, 137: 625-631.
- [8] Chen C Y, Zu Y G, Fu Y J, *et al.* Preparation and antioxidant activity of *Radix Astragali* residues extracts rich in calycosin and formononetin [J]. *Biochemical Eng J*, 2011, 56(1/2): 84-93.
- [9] Shi L. Study on tanshinone extracted from *Salvia miltiorrhiza* Bge. dregs [J]. *Agric Sci Technol*, 2010, 11(1): 103-106.
- [10] 赵薇, 徐香琴, 黄松, 等. 三七与三七药渣中游离氨基酸的含量比较及氨基酸提取工艺的研究 [J]. *北方药学*, 2016, 13(8): 97-99.
- [11] Ying Z, Selvam A, Wong J W C. Evaluation of humic substances during co-composting of food waste, sawdust and Chinese medicinal herbal residues [J]. *Bioresource Technol*, 2014, 168(3): 229-234.
- [12] Ying Z, Selvam A, Wong J W C. Effect of Chinese medicinal herbal residues on microbial community succession and anti-pathogenic properties during co-composting with food waste [J]. *Bioresource Technol*, 2016, 217: 190-199.
- [13] 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.
- [14] 吴涛, 晋艳, 杨宇虹, 等. 药渣及秸秆替代基质中草炭进行烤烟漂浮育苗研究初报 [J]. *中国农学通报*, 2007, 23(1): 305-309.
- [15] 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.
- [16] 王耀晶, 王步宇, 刘鸣达. 药渣蚓粪对番茄幼苗生长发育的影响 [J]. *北方园艺*, 2010(10): 48-49.
- [17] 于杰, 安钢, 赵自立, 等. 中药渣用于食用菌生产的研究 [J]. *齐鲁药事*, 2006, 25(9): 564-566.
- [18] 余红, 岳文辉, 方建龙, 等. 中药药渣栽培金针菇试验 [J]. *食用菌*, 2006(6): 29.
- [19] 张英. 中药药渣培养裂褶菌试验 [J]. *食用菌*, 2007(1): 29.
- [20] 余红, 刘炳禄, 李富玉, 等. 中药药渣在杏鲍菇生产中的应用 [J]. *山东农业科学*, 2009(6): 50-51.
- [21] 刘正鲁. 汉方浸膏4号药渣栽培榆黄菇试验初报 [J]. *食用菌*, 2010(5): 41.
- [22] 耿春银, 韩美兰, 廖世国, 等. 用水飞蓟药渣与果寡糖改进猪饲料配方的研究 [J]. *饲料工业*, 2007, 28(24): 62-64.
- [23] 张登辉. 黄芪药渣作饲料添加剂对肉鸡表现代谢率影响的研究 [J]. *猪与禽*, 2008, 28(2): 77-78.
- [24] 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.
- [25] 丁保安, 李转见, 莫元春. 红景天药渣对肉鸡生长性能、营养物质代谢和血液指标的影响 [J]. *中国家禽*, 2010, 32(3): 16-19.
- [26] 王尚荣. 中药渣饲喂杂交奶牛试验 [J]. *中国奶牛*, 2007(1): 14.
- [27] 习彦花, 程辉彩, 崔冠慧, 等. 中药药渣沼气资源化利用技术初探 [J]. *中成药*, 2013, 35(6): 1340-1343.
- [28] 谭显东, 王向东, 黄健盛, 等. 中药渣资源化技术研究进展 [J]. *中成药*, 2010, 32(5): 847-849.
- [29] Fountoulakis M S, Drakopoulou S. Potential for methane production from typical mediterranean agro-industrial by-products [J]. *Biomass Bioenerg*, 2008, 32(2): 155-161.
- [30] Wang M, Zhao R, Wang W, *et al.* Lipid regulation effects of *Polygoni Multiflori Radix*, its processed products and its major substances on steatosis human liver cell line L02 [J]. *J Ethnopharmacol*, 2012, 139(1): 287-93.
- [31] Yu J, Xie J, Mao X J, *et al.* Hepatotoxicity of major constituents and extractions of *Radix Polygoni Multiflori* and *Radix Polygoni Multiflori Praeparata* [J]. *J Ethnopharmacol*, 2011, 137(3): 1291-1299.
- [32] Lv L, Cheng Y, Zheng T, *et al.* Purification, antioxidant

- activity and antiglycation of polysaccharides from *Polygonum multiflorum* Thunb. [J]. *J Food Lipids*, 2014, 99(2): 765-73.
- [33] Wang J, Bi Y. Beneficial anaerobic bacteria flora proliferation regularity in the process of *Rehmannia* waste residue anaerobic fermentation [J]. *Procedia Envir Sci*, 2016, 31: 18-25.
- [34] 张顺喜, 王文清, 张 剑, 等. 中药浸膏药渣厌氧发酵产沼气研究 [J]. *环境工程学报*, 2010, 4(11): 2608-2612.
- [35] Chu C F, Ebie Y, Xu K Q, *et al.* Characterization of microbial community in the two-stage process for hydrogen and methane production from food waste [J]. *Hydrogen Energy*, 2010, 35(15): 8253-8261.
- [36] Li Q, Chai L, Yang Z, *et al.* Kinetics and thermodynamics of Pb (II) adsorption onto modified spent grain from aqueous solutions [J]. *Appl Surface Sci*, 2009, 255(7): 4298-4303.
- [37] Witek-Krowiak A, Szafran R G, Modelski S. Biosorption of heavy metals from aqueous solutions onto peanut shell as a low-cost biosorbent [J]. *Desalination*, 2011, 265(1/3): 126-134.
- [38] Feng N, Zhang F. Untreated Chinese Ephedra residue as biosorbents for the removal of Pb²⁺, ions from aqueous solutions [J]. *Procedia Envir Sci*, 2013, 18: 794-799.
- [39] Rafatullah M, Sulaiman O, Hashim R, *et al.* Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents: A review [J]. *J Hazardous Mater*, 2010, 177(1/3): 70-80.
- [40] Rangabhashiyam S, Suganya E, Selvaraju N, *et al.* Significance of exploiting non-living biomaterials for the biosorption of wastewater pollutants [J]. *World J Microbiol Biotechnol*, 2014, 30(6): 1669-1689.
- [41] Sun X Z, Tong S Z. Biosorption of methylene blue from wastewater by an extraction residue of *Salvia miltiorrhiza* Bge. [J]. *Bioresource Technol*, 2016, 219: 330-337.
- [42] Kong L, Gong L, Wang J. Removal of methylene blue from wastewater using fallen leaves as an adsorbent [J]. *Desalination Water Treatment*, 2015, 53(9): 1-12.
- [43] Wu Y, Zhang L, Gao C, *et al.* Adsorption of copper ions and methylene blue in a single and binary system on wheat straw [J]. *J Chem Eng Data*, 2009, 54: 3229-3234.
- [44] 黄 静. 中药渣活性炭的制备及吸附处理重金属废水的研究 [D]. 成都: 成都信息工程学院, 2012.
- [45] 廖湘萍, 奚邦敏. 利用白酒酒糟、灵芝药渣发酵生产食醋的研究 [J]. *中国调味品*, 2009, 34(11): 81-83.
- [46] 袁 琳. 废弃植物纤维资源中药香茶菜药渣制浆造纸性能研究 [D]. 杭州: 浙江理工大学, 2009.
- [47] Demirbas M F, Balat M, Balat H. Potential contribution of biomass to the sustainable energy development [J]. *Energy Conversion Management*, 2009, 50(7): 1746-1760.
- [48] Biagini E, Federica B A, Tognotti L. Devolatilization of biomass fuels and biomass components studied by TG/FTIR technique [J]. *Ind Eng Chem Res*, 2006, 45(13): 4486-4493.
- [49] 陈洪章, 彭小伟. 汽爆技术促进中药资源高值化利用 [J]. *化学进展*, 2012, 24(9): 1857-1864.
- [50] Unri B B, Sarioglu N. Rapid and catalytic pyrolysis of corn stalks [J]. *Fuel Process Technol*, 2009, 90(5): 705-716.
- [51] Mohan D, Pittman C U, Steele P H. Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: a critical review [J]. *Energy Fuels*, 2006, 20(3): 848-889.
- [52] Fadahunsi I F. The effect of soaking, boiling and fermentation with *Rhizopus oligosporus* on the water soluble vitamin content of bambara groundnut [J]. *Pakistan J Nutr*, 2009, 8(6): 835-840.
- [53] 江 曙, 刘 培, 段金彪, 等. 基于微生物转化的中药废弃物利用价值提升策略探讨 [J]. *世界科学技术—中医药现代化*, 2014, 16(6): 1210-1216.
- [54] 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.
- [55] Wongwilaiwalin S, Rattanachomsri U, Laothanachareon T, *et al.* Analysis of a thermophilic lignocellulose degrading microbial consortium and multi-species lignocellulolytic enzyme system [J]. *Enzyme Microbial Technol*, 2010, 47(6): 283-290.
- [56] Chaffron S, Mering C V. Termites in the woodwork [J]. *Genome Biol*, 2007, 8(11): 1-4.
- [57] Wang W, Lei Y, Cui Z, *et al.* Characterization of a microbial consortium capable of degrading lignocellulose [J]. *Bioresource Technol*, 2011, 102(19): 9321-9324.
- [58] Feng Y, Yu Y, Wang X, *et al.* Degradation of raw corn stover powder (RCSP) by an enriched microbial consortium and its community structure [J]. *Bioresource Technol*, 2011, 102(2): 742-747.
- [59] Nishiyama T, Ueki A, Kaku N, *et al.* *Bacteroides graminisolvens* sp. nov. a xylanolytic anaerobe isolated from a methanogenic reactor treating cattle waste [J]. *Int J Systematic Evolutionary Microbiol*, 2009, 59(Pt 8): 1901-1907.
- [60] Wen Y L, Yan L P, Chen C S. Effects of fermentation treatment on antioxidant and antimicrobial activities of four common Chinese herbal medicinal residues by *Aspergillus oryzae* [J]. *J Food Drug Anal*, 2013, 21(2): 219-226.