

- [57] 谭红雁, 胡霞, 谭雯, 等. 加味凉血消风散对寻常型银屑病患者外周血 JAK3、STAT3、Bcl-2、p53 基因及蛋白表达的影响[J]. 时珍国医国药, 2020, 31(3): 591-593.
- [58] 李鹏英, 丰靓, 刘红霞. 中药 2 号方联合健脾解毒汤治疗寻常型银屑病脾虚湿盛证的疗效观察及对外周血 T 淋巴细胞的表达影响[J]. 中华中医药学刊, 2019, 37(11): 2609-2613.
- [59] 刘朝霞, 魏建华, 姚尚萍, 等. 调控 JAKS/STATS 通路探讨健脾祛湿法治疗寻常型银屑病的机制[J]. 中国中西医结合皮肤性病学杂志, 2020, 19(4): 310-314.
- [60] 段紫钰, 李建国, 陈静, 等. 凉血消银颗粒剂对银屑病转基因小鼠模型 miR-155/SOCS1 轴的影响[J]. 天津医药, 2020, 48(11): 1045-1049.
- [61] 张诚昊, 杨恩品, 杨灵敏, 等. 山海棠合剂治疗血热型寻常型银屑病疗效及对 IL-12、IL-23 的影响[J]. 时珍国医国药, 2018, 29(8): 1923-1925.
- [62] 韩盈盈, 徐曦, 王景乐, 等. 紫草素联合当归饮子方调控 IL-23/IL-17 轴对咪喹莫特诱导银屑病样小鼠模型的保护作用[J]. 中国皮肤性病杂志, 2022, 36(10): 1137-1143; 1171.
- [63] 胡辉莹, 胡霞, 刘昌顺, 等. 润燥止痒胶囊对银屑病样皮损大鼠肠道菌群和炎症反应的影响[J]. 中国临床解剖学杂志, 2020, 38(5): 574-577.
- [64] 郭斐斐, 王思农, 周文丽, 等. 龙胆泻肝汤对银屑病大鼠模型皮损及血清 IL-17、VEGF 的调节作用[J]. 中华中医药学刊, 2021, 39(9): 122-124; 270-272.
- [65] 张利达, 韩为, 朱才丰, 等. 艾灸督脉调控 PI3K/Akt/mTOR 信号通路增强 APP/PS1 双转基因 AD 小鼠自噬水平的研究[J]. 中国针灸, 2019, 39(12): 1313-1319.
- [66] 蒙玉娇, 刘宇, 刘正荣, 等. 艾灸对银屑病小鼠皮损表现和免疫炎性反应的影响[J]. 中国针灸, 2022, 42(1): 66-72.
- [67] 纪好, 李文彬, 林雨青, 等. 基于“络病理论”探讨火针联合贴棉灸治疗斑块型银屑病[J]. 辽宁中医药大学学报, 2022, 24(1): 143-146.
- [68] 冯放, 王燕, 赵京霞, 等. 火针对咪喹莫特诱导的银屑病样小鼠皮损及 STAT3 通路的影响[J]. 中国针灸, 2022, 42(5): 541-548.
- [69] 陈楚, 欧阳厚淦, 齐艳喆, 等. 热敏灸手少阳三焦经可改善银屑病样大鼠模型的皮损病变[J]. 中国组织工程研究, 2022, 26(35): 5602-5606.
- [70] 黄梅, 李伯华. 针灸对寻常型银屑病患者血清 IL-6、TNF- α 水平的影响及安全性分析[J]. 现代医学与健康研究电子杂志, 2020, 4(3): 113-114.
- [71] 曹爽, 周妍妍, 杨素清, 等. 中医药干预银屑病 Th17/Treg 平衡的研究进展[J]. 中国实验方剂学杂志, 2021, 27(19): 225-232.

中药渣资源化利用研究进展

高静静¹, 庄新辉^{2*}, 谭雪松³, 苗长林³, 兰天晴⁴, 张宇³, 孙悦^{1*}

(1. 广东药科大学中药学院, 广东广州 510006; 2. 武夷学院图书馆, 福建武夷山 354300; 3. 中国科学院广州能源研究所中国科学院可再生能源重点实验, 广东广州 510640; 4. 昆明理工大学食品科学与工程学院, 云南昆明 650500)

摘要: 随着中医药产业的发展, 中药使用量的增加, 中药渣的排放和处理对生态环境造成较大影响, 中药渣的资源化利用对中医药产业、生态学、经济、社会的发展都有着重大意义。中药渣含有丰富的有机物质和微量元素, 是较好的低成本生物质原料, 可用于制备生物炭、复合材料、电催化剂、生物质能源等一系列高附加值产品, 具有较大的发展潜力。本文采用 Fulink 数字平台对中药渣处理方式学术论文发表情况进行汇总, 从论文数量发展趋势在一定程度上表明中药渣用于动物饲料的制备、生物有机肥是较好的利用方式, 同时综述了中药渣的处理现状和综合利用方式且对比了不同处理方式的优缺点, 探讨了中药渣处理面临的问题并进行展望, 以期对中药渣的高价值利用和可持续发展提供参考。

关键词: 中药渣; 可再生利用; 高值化; 资源化; 生态

中图分类号: R28

文献标志码: A

文章编号: 1001-1528(2024)02-0536-06

doi: 10. 3969/j. issn. 1001-1528. 2024. 02. 029

收稿日期: 2023-02-16

基金项目: 国家自然科学基金(51976221); 广东省重点领域研发计划项目(2020B0101070001)

作者简介: 高静静(1998—), 女, 硕士生, 研究方向为中药分析。Tel: 13343997543, E-mail: Gaojingj13@163.com

*共同第一作者: 庄新辉(1971—), 男, 硕士, 研究方向为图书情报。Tel: 18950609060, E-mail: 717316828@qq.com

*通信作者: 孙悦(1977—), 女, 教授, 研究方向为中药分析。Tel: 13427545966, E-mail: sunyuesdz@163.com

中医药文化源远流长、底蕴深厚，是我国传统优势产业。而中药作为中医药产业的重要组成部分，具有资源丰富、产量大的特点。随着中药的广泛应用，中药渣的产量愈来愈大。因此对中药渣进行资源化利用研究和开发具有巨大的发展空间和潜力。本文就中药渣的不同利用方式及优缺点进行梳理，以期对中药渣的进一步探索研究和应用提供参考。

1 中药渣研究现状

随着人们对中医药产业的认可，中药的使用更为广泛，中药渣的排放量也逐年增多，与此同时中药渣的处理也给环境和中药企业带来了沉重的负担。据统计，我国每年的中药渣产量有3 000~7 000万吨^[1]。中药废弃物是中药材的非药用部位以及中药材加工生产过程中产生的固体废弃物。目前，企业和医疗机构对中药废弃物处理的常用方法

为简单的堆放、填埋、焚烧等^[2]，然而中药渣大多为湿物料，异味重、易腐烂，处理不当则会对土壤、空气质量、水质造成严重的污染。

中药材提取加工后产生的中药渣依然剩余约40%的有效成分^[3]，还含有纤维、半纤维素、木质素、多糖、蛋白质等有机物质以及氮、磷、钾等微量元素^[4]，且中药渣中的重金属含量较低，故其用于食用菌的栽培，有机肥、动物饲料、生物炭、生物质能源、电催化剂、复合材料、生物化学品等的制备具有巨大潜力，见图1。中药渣的高价值利用，不仅可以减少对环境的污染，同时可以降低企业生产成本，为企业带来较高的生产利润，有利于中药企业的可持续发展。通过Fulink数字平台在“只检索学术文章”的条件下查询2007年至2021年中药渣利用情况，15年内关于中药渣的学术论文发表情况见图2。

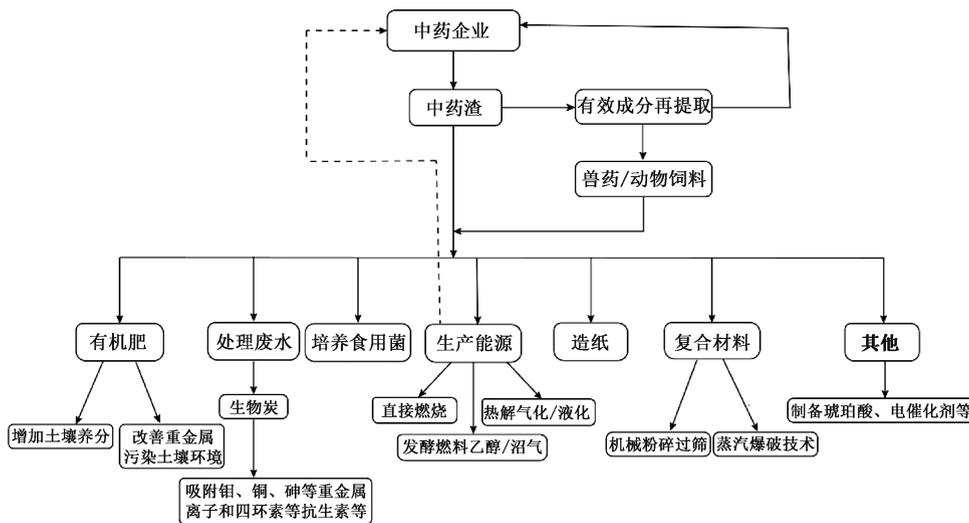


图1 中药废弃物资源化利用方式

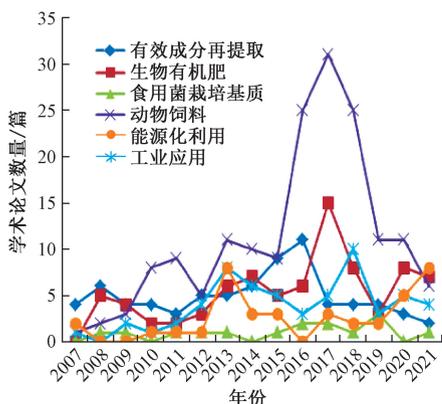


图2 中药渣各种利用方式发表学术论文情况

2 中药渣综合利用方式

2.1 中药渣有效成分再提取 中药企业和医疗机构通常采用水提法对中药材中的有效成分进行提取，然而中药材中往往还有相当一部分微溶于水或不溶于水的有效成分滞留在中药材中未被提出。目前中药渣再提取分离方法有溶剂提取法、水蒸气蒸馏法、超声波提取法、超临界流体萃取

法、微波提取法、酶提取法、色谱法等，较常用的是超声波提取法，具有提取速度快、时间短、无需加热、操作简单等特点。中药渣中剩余有效成分含量较高，且活性较好，可再次提取利用，减少中药资源的浪费，见表1。

2.2 中药渣在农业种植与养殖业中的应用

2.2.1 生物有机肥 中药在有效成分被提取后依然含有丰富的有机物质，可为土壤提供氮、磷、钾等微量元素，提高作物产量，见表2。

Zhou等^[22]研究发现，中药渣可以作为理想的填充剂，且中药渣具有开发高价值的抗病原堆肥的潜力。中药渣还可以改善重金属污染土壤性质，吸附土壤中镉、汞等重金属离子，从而钝化土壤中的重金属元素，进而可以改善重金属污染土壤理化性质，减少农作物对污染土壤中重金属的吸收富集^[23]。故中药渣是一种具有较大潜力的堆肥原料。

2.2.2 食用菌栽培基质 中药渣中含有较为丰富的氨基酸、蛋白质、多糖、纤维素、半纤维素、木质素类成分，故中药渣可用于食用菌的栽培基质，为食用菌的生长提供营养物质，降低食用菌类的生产成本。然而不同中药渣中

表1 中药渣有效成分再提取实例分析

中药渣种类	有效成分再提取/利用	文献
黄精药渣	药渣中可提取大约0.41%的总黄酮	[5]
丹参药渣、香茅药渣	药渣可作为天然抗氧化剂的潜在来源	[6-7]
六味地黄丸药渣	药渣在质量浓度为25 mg/mL时对DPPH自由基和ABTS自由基有较好的清除作用	[8]
黄芪药渣	药渣中分离得到半纤维素多糖AX-I-3b能抑制人肺腺癌A549细胞的增殖,诱导细胞凋亡	[9]
鸡胆子药渣	药渣中的抗肿瘤活性成分鸡胆子苦素A和鸡胆子苦醇的含量与鸡胆子饮片没有显著的差异	[10]
灵芝孢子粉药渣	药渣中还含有大量的多糖等多种活性物质,多糖的提取率可达到6.31%	[11]
管花肉苁蓉药渣	药渣中管花肉苁蓉多糖提取率为5.76%	[12]
三七药渣	药渣中三七素的含量为0.72%,且药渣中的三七素能明显缩短凝血时间,具有较好的止血活性	[13]
温莪术药渣	药渣中总姜黄素平均提取得率为6.38 mg/g,提取物具有一定的抗氧化作用,并且能有效抑制B16细胞黑色素合成及酪氨酸酶活性	[14]
五味子药渣	药渣中五味子甲素、五味子乙素、五味子丙素以及粗纤维类成分在药渣中的含量甚至高于药材中的含量	[15]

表2 中药渣施肥效果实例分析

中药渣施肥对象	施肥效果	文献
番茄	提高土壤微生物活性和多样性,可通过降低土壤盐分及改善土壤微生物性状进而增加番茄产量	[16]
玉米	有助于提高土壤中有机质、总氮和总钾的水平,在减少50%化肥施用的同时保持玉米产量	[17-18]
瓜蒌	增加瓜蒌的产量、提高瓜蒌的经济性状、改善瓜蒌籽的质量	[19]
黄瓜	提高了黄瓜苗的株高、茎粗、发芽率	[20]
小白菜	提高了小白菜的产量以及营养成分含量	[21]

成分不同,需要对其进行分类,以选择合适的中药渣作为食用菌的培养基质。李盛杰等^[24]研究发现,与对照组相比,将黄芪药渣用作猴头菇的栽培基质,其产量提高了28.5%,同时猴头菇中蛋白质等营养成分的含量也有提高。陈春等^[25]研究发现,急支糖浆药渣和稻壳以2:3的比例用作培养大球盖菇的培养基时,其生长速度快且产量大质量好,同时大球盖菇的生产成本降低,利润提高49.20%。Jin等^[26]在添加中药渣的基质上培养平菇,发现子实体中含有多种生物活性化合物具有较高的抗氧化活性,同时可以提高平菇的产量和生物降解能力。中药渣用于食用菌的培养,操作简单、可行性强,有助于中药渣的管理,可实现中药渣的资源化利用。

2.2.3 动物饲料 中药渣含有一定的药效成分和营养成分,可用于制作动物饲料、饲料添加剂、兽药等。刘倩等^[27]对21种中成药原渣进行检测,发现其pH值均呈酸性。较低的pH值更适合动物胃内酸性条件,有利于消化且酸性条件有利于中药渣的发酵,延长储存时间。以中药渣为原料制备的动物饲料不仅可以解决动物饲料短缺问题,同时对于禽畜的健康生长有着积极的作用,如增强动物免疫力抑制病原微生物的繁殖、调节动物机体代谢、改善禽畜肉的品质等,见表3。中药渣用于动物饲料可行性强,可以代替抗生素类饲料在动物养殖中的应用,具有较高的社会价值和生态价值。

表3 中药渣饲料喂养效果实例分析

饲养对象	饲养效果	文献
肉羊	肉羊血清中生长激素和免疫球蛋白的含量提高,平均日增重提高6.4%	[28]
母鸡	提高母鸡机体抗氧化能力和免疫力,有效改良母鸡产蛋品质,且具有一定保肝护肝的作用	[29]
肉牛	可增加肉牛的采食量和日增重以及提高肉牛的抗氧化能力和免疫力	[30]
断奶猪仔	提高断奶猪仔的免疫功能,促进猪仔机体白细胞生成,降低腹泻情况,促进断奶猪仔的生长	[31]

2.3 中药渣的工业应用

2.3.1 用作造纸原料 近年来,造纸纤维原料的供求矛盾日益严峻,寻找新型造纸原料对于我国造纸行业可持续发展具有极大意义。中药渣中含有较多的纤维,而纤维组分是一种非常优良的造纸用浆原料,故含有较高含量纤维的中药渣是造纸行业潜在的原料^[32]。吕毅东^[33]研究发现,混合灵芝药渣中纤维素含量为66.83%,且纤维的平均纤维长度为0.669 mm,平均纤维宽度为14.7 μm,长宽比为46:1,药渣纤维形态均一,混合灵芝药渣是一种可用的造纸原料。

2.3.2 制作吸附材料处理废水 中药渣是制备生物炭的潜在原料,生物炭是一种有广泛应用前景的吸附剂。Li等^[34]

研究发现微波活化和氯化铵浸渍的中药渣生物炭对汞有较好的吸附作用。Wang等^[35]以艾草药渣为原料采用简单炭活化法制备多孔炭样品,结果表明,钨在800℃下活化艾草药渣多孔炭上具有较好的吸附性能且经过5次吸附/解吸循环后,钨在艾草药渣生物炭上的吸附量保持在94%,表明艾草药渣多孔炭具有良好的可重复使用性。夏伟钦等^[36]对板蓝根药渣制备的活性炭进行研究,发现其对重金属废水中的砷具有较好的吸附效果,可使溶液中的砷浓度从2.0 mg/L降低到0.20 mg/L以下。张威龙等^[37]研究发现,采用真空热解方式制备的中药渣生物炭能够有效去除水中的活性蓝19。曹阳等^[38]研究发现,鸡血藤药渣可以通过与表面官能团络合作用、离子交换作用以及与材料所带负电荷之

间的静电吸附作用,可对废水中铜离子进行吸附并去除,且吸附能力较好。Shen等^[39]通过以威灵仙药渣为制备生物炭原材料,采用化学共沉淀法制备了二氧化锰改性生物炭,发现其对四环素抗生素废水具有较好的吸附和去除效果。蔡思颖等^[40]采用限氧热解法制备中药渣生物炭,发现700℃制备的中药渣生物炭吸附性能最佳,且吸附过程主要以化学吸附为主。综上所述,以中药渣为原料制备的生物炭对汞、铅、砷、铜等重金属离子和四环素等抗生素的吸附效果较好,可用于处理工业废水,有利于实现中药渣的高价值利用。

2.3.3 制作复合材料 中药渣/塑料复合材料是一种无毒、可循环利用的环境友好型生物质复合材料。将中药渣中的高抗拉强度和高伸长率的纤维提取出来作为增强体,与聚合物复合后可以提高聚合物的某些性能,可以制备出性能优异的复合材料。中药渣具有成本低的特点,同时可以降低生产成本,解决中药渣排放带来的环境问题,在环保领域中具有较大的发展潜力^[41]。Feng等^[42]发现选择纤维细胞壁腔比大、木质素和纤维素含量高、杂细胞和半纤维素含量低的中药渣,有助于制备综合性能好的复合材料。施佳楠等^[43]研究发现,以黄芪药渣与聚乳酸为原料制备聚乳酸基天然可降解复合材料,在打印温度为220℃时,用于FDM-3D打印的效果最佳。罗焕虎等^[44]采用偶联剂KH570对杜仲药渣、鱼腥草药渣、葛根药渣、艾纳香药渣进行改性用于制备聚丙烯/中药渣复合材料,研究发现葛根中药渣填充聚丙烯的综合性能最好,可将其用于实际生产。故中药渣是一种优良的制备复合材料的新型原材料,可用于开发制备高值化资源性产品。

2.4 中药渣的能源化利用 中药渣中含有较为丰富的纤维素、半纤维素、木质素,是一种较好的生物质可再生能源制备原料。将中药渣进行能源转化,不仅可以解决能源短缺问题,生产出的能源还可以降低中药企业生产成本,增加生产利润,同时也可以减少中药渣排放对环境造成的污染。目前中药渣能源转化的方式有直接燃烧、发酵制备燃料乙醇和沼气、热解气化或者液化等。Xin等^[45]研究发现

烘烤后的中药渣的综合燃烧指数比原始样品增加了3~5倍,在较低温度下以及在二氧化碳和氧气下燃烧的中药渣具有更好的可燃性,可用于固体燃料的制备。丁伟婧^[46]通过对中药渣催化热解制气的研究发现,中药渣热解产氢气含量可达48.13%,热解得到燃气热值达到14.1 MJ/Nm³以上。董磊等^[47]采用循环流化床气化炉对制药过程中产生的药渣、污泥等废弃物进行共气化试验,发现空气当量比为0.35时气化效率达到最大值68.42%,对应的燃气热值为5.47 MJ/Nm³。Yu等^[48]研究发现,制药污泥和银杏叶药渣的共热解过程中,可以通过增加制药污泥的添加量从而使热解产生较高的能量。扬子江药业江苏中药渣综合利用项目将中药渣作为生物质能源锅炉燃料替代化石类能源煤炭生产蒸汽,该系统可产出蒸汽20 520 t,可减少原煤消耗10 800 t^[49]。中药渣生物质能源转化对于生态可持续发展和企业经济效益都具有较高的价值。

2.5 其他 中药渣可用于生物化学品生产。Su等^[50]研究发现,从100 g人参药渣中可获得18 g人参多糖、230 mg人参皂苷和39.43 g琥珀酸,1 000 kg人参药渣的总经济产量可达80 149元,该工艺可行性强且增值潜力巨大。中药渣也可用于电催化剂制备,赵悦等^[51]以中药渣为原料,制备了有开放的孔结构、较大比表面积、无金属、氮掺杂的多孔碳基氧还原电催化剂,其性能与商业催化剂20% Pt/C相近,且该电催化剂具有更好的稳定性和甲醇耐受性,可行性强。中药渣还可用于电极材料制备,Xu等^[52]从灵芝残渣中合成了一种三维分级多孔碳,通过熔融碱处理碳化工艺应用于超级电容器电极,灵芝残渣衍生的多孔碳电极具有分级孔结构和优异的电容和电阻,在电流密度为2 Ag⁻¹时进行10 000次循环,循环稳定性高达99%,灵芝残渣制备多孔炭电极可行性强。

3 中药渣不同处理方式优缺点

中药渣来源丰富、价格低廉,高价值化利用后不仅可以提高企业利润,同时可以实现中药渣的生态化处理^[53]。对中药渣的不同处理方式优缺点进行总结,见表4。

表4 不同处理方法的优缺点

处理方法	优点	缺点
有效成分再提取	抗氧化剂和天然活性多糖的替代和低成本来源	提取率有待提高,有机溶剂回收等问题也需考虑
制作生物有机肥	生产高营养的成熟堆肥,减少化肥使用的同时保持作物产量或增产,降低了农药的需求量,吸附土壤中的重金属离子,土壤有机质含量增加	安全性问题有待进一步研究
用作食用菌基质	生长快,产量高,蛋白质等有益成分含量增加	药效成分残留问题令人担忧
用作动物饲料	改善肉质,增强免疫力,调节动物机体代谢,提高日平均增重量,减少抗生素类药物的使用	安全问题有待进一步研究,一些中药渣具有特殊气味,可能会影响动物的进食量
用作造纸原料	比纯植物纤维纸具有更好的物理性能	颜色较深,表面不整齐
制作吸附材料	简单且低成本,具有良好的吸附性能和可重复使用性	吸附重金属离子后的吸附剂处理问题有待解决
制作复合材料	具有较好的拉伸强度	弯曲性能较差
能源化利用	转化的能源可以继续用于中药加工能耗	技术短缺,未能大规模应用于药企

4 结语与展望

中药渣资源化利用,不仅可以解决环境问题,同时可以给企业带来一定的经济效益,进一步推进中医药企业的

可持续发展。中药渣具有成本低的优势,但通常为湿物料,较难储存,且种类较多,成分复杂,还可能含有毒性的化学成分,目前还未能形成较好的产业化处理模式,可持续

资源化利用任重而道远。从论文数量发展趋势来看,一定程度上表明中药渣用于动物饲料的制备、生物有机肥是较好的解决方式,另外,有效成分再提取、工业应用也有很大潜力,近年来,能源化利用呈上升趋势。根据中药渣的不同性质进行高价值化利用,选择合适的处理方式,然而目前药企大多数都将药渣混合堆放,不利于中药渣的高价值,故建议药企根据中药渣性质分类堆放,如含蛋白质含量高的中药用于培养食用菌和制备动物饲料,同时要确立一定的生产规范,以提高其安全性。高纤维含量的中药渣可以用于造纸、制作复合材料以及能源的制备。目前多数药企处理中药渣的方式为堆肥处理,其他处理方式可能由于安全性、技术短缺、再处理成本高需要国家补贴才可以正常运行等原因暂时未被广泛利用。未来中药渣综合利用方式应进一步优化,降低中药渣处理成本,将中药渣高价值资源化利用技术普遍应用于各大药企,真正实现中药渣资源的高值化利用,这对社会、环境、经济的发展都具有非常重要的意义。

参考文献:

[1] 朱 彤,王亚犁,何继武,等. 发酵中药渣添加饲料对不同猪群粪污减排效果的影响[J]. 中国畜禽种业, 2021, 17(11): 64-65.

[2] 袁 琪,李伟东,郑艳萍,等. 中药渣的深加工及其资源化利用[J]. 生物加工过程, 2019, 17(2): 171-176.

[3] 刘梦佳,杨茂华,刘新育,等. 中药渣处理及其生命周期分析的研究进展[J]. 时珍国医国药, 2021, 32(7): 1714-1717.

[4] 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.

[5] 贺灵芝,李 翔,梁忠厚. 黄精药渣中总黄酮的再提取工艺研究[J]. 广东化工, 2021, 48(15): 51-53.

[6] Jiang Y Y, Wang L, Zhang L, et al. Optimization of extraction and antioxidant activity of polysaccharides from *Salvia miltiorrhiza* Bunge residue [J]. *Int J Biol Macromol*, 2015, 79: 533-541.

[7] Saha A, Basak B B, Manivel P, et al. Valorization of Java citronella (*Cymbopogon winterianus* Jowitt) distillation waste as a potential source of phenolics/antioxidant: influence of extraction solvents [J]. *J Food Sci Technol*, 2021, 58(1): 255-266.

[8] 梁诗瑶,刘倩倩,黄 胜,等. 六味地黄丸药渣中4种活性成分含量测定及抗氧化活性研究[J]. 湖南中医药大学学报, 2021, 41(5): 707-713.

[9] Li K, Li S Y, Wang D, et al. Extraction, characterization, antitumor and immunological activities of hemicellulose polysaccharide from *Astragalus radix* Herb residue [J]. *Molecules*, 2019, 24(20): 3644.

[10] 严国俊,韩 露,谢 辉,等. 鸦胆子饮片及药渣的抗肿瘤活性比较及其鸦胆子苦醇和鸦胆子苦素A的含量测定[J]. 南京中医药大学学报, 2019, 35(6): 714-718.

[11] 侯廷花,杨锦颖,杨星星,等. 响应面法优化灵芝孢子粉药渣多糖提取工艺[J]. 时珍国医国药, 2020, 31(1): 199-202.

[12] 艾拉旦·麦提艾力,杨 婷,袁 洁,等. 管花肉苁蓉药渣中多糖提取工艺及体外抗氧化活性研究[J]. 化学与生物工程, 2020, 37(2): 36-41.

[13] 李 双,杨晓涵,李怀宇,等. 工业三七药渣中三七素的提取纯化及其止血药理活性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2019, 31(4): 663-668.

[14] 夏 禹,张文珍,黄 真,等. 温莪术药渣再提取工艺及其美白活性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2022, 34(3): 457-464.

[15] 陶小芳. 生脉注射液生产过程五味子药渣的资源化利用研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2016.

[16] 王光飞,郭德杰,马 艳,等. 中药渣有机肥改良富营养设施番茄土壤效果[J]. 中国农学通报, 2021, 37(1): 84-89.

[17] Ma J F, Chen Y P, Wang K B, et al. Re-utilization of Chinese medicinal herbal residues improved soil fertility and maintained maize yield under chemical fertilizer reduction [J]. *Chemosphere*, 2021, 283: 131262.

[18] Ma J F, Chen Y P, Wang H, et al. Traditional Chinese medicine residue act as a better fertilizer for improving soil aggregation and crop yields than manure [J]. *Soil Till Res*, 2019, 195: 104386.

[19] 秦 梦,段绪红,何 培,等. 板蓝根药渣生物有机肥对瓜蒌产量和品质的影响[J]. 北方园艺, 2021(5): 109-114.

[20] 赵青松,雷海英,闫志永,等. 发酵中药渣基质黄瓜穴盘育苗效果[J]. 山西农业科学, 2022, 50(2): 186-190.

[21] Wang Y W, Yang D W, Duan Y H, et al. Effects of Chinese medicine residue vermicompost application on pakchoi yield and nutrient content [J]. *Adv Mater Res*, 2014, 1073-1076: 689-692.

[22] Zhou Y, Selvam A, Wong J W C. Chinese medicinal herbal residues as a bulking agent for food waste composting [J]. *Bioresour Technol*, 2018, 249: 182-188.

[23] 陈 芬,余 高,吴涵茜,等. 中药渣生物有机肥对镉-汞复合污染土壤的钝化效果[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2020, 46(6): 737-747.

[24] 李盛杰,江海涛,周 峰,等. 黄芪药渣培养料对猴头菇产量和品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(23): 152-156.

[25] 陈 春,陈今朝,王慧超,等. 药渣栽培大球盖菇试验[J]. 北方园艺, 2019(10): 123-126.

[26] Jin Z Q, Hou Q W, Niu T Z. Effect of cultivating *Pleurotus ostreatus* on substrates supplemented with herb residues on yield characteristics, substrates degradation, and fruiting bodies' properties [J]. *J Sci Food Agric*, 2020, 100(13): 4901-4910.

[27] 刘 倩,钟 伟,杨 雪,等. 21种常用中药渣的营养价值分析及抑菌效果评价[J]. 饲料研究, 2022, 47(12):

- 94-99.
- [28] 张志红, 圣平, 何力, 等. 不同起始 pH 中药渣发酵特性、安全性评价和肉羊育肥效果研究[J]. 动物营养学报, 2020, 32(11): 5424-5432.
- [29] 冯智茂. 中草药渣发酵饲料对产蛋后期肉用种母鸡生产性能、抗氧化能力及血清指标的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2020.
- [30] 董彬厂, 马虎强, 畅文驰, 等. 发酵中药渣对肉牛生长性能、血液生化指标及免疫功能的影响[J]. 中国牛业科学, 2021, 47(4): 11-13; 17.
- [31] 李华磊, 杨桂芬, 任明晋, 等. “十全大补”发酵中药渣饲用安全及应用效果的研究[J]. 饲料研究, 2021, 44(17): 18-22.
- [32] 洪锦昌, 邓雁茹, 惠岚峰, 等. 关于环境保护的中药渣造纸探究[J]. 环境与发展, 2018, 30(8): 244; 246.
- [33] 吕毅东. 富含灵芝的中药渣用于制浆造纸和制备多孔炭材料的研究及应用[D]. 广州: 华南理工大学, 2018.
- [34] Li G L, Shen B X, Li Y W, *et al.* Removal of element mercury by medicine residue derived biochars in presence of various gas compositions [J]. *J Hazard Mater*, 2015, 298: 162-169.
- [35] Wang S H, Huang Y, Wu Y T, *et al.* Re-utilization of Chinese medicinal herbal residue: waste wormwood rod-derived porous carbon as a low-cost adsorbent for methyl orange removal [J]. *Water Sci Technol*, 2021, 84(9): 2601-2614.
- [36] 夏伟钦, 李豪鹏, 虞家穗, 等. 板蓝根药渣活性炭对溶液中砷的吸附特性研究[J]. 科技创新导报, 2017, 14(23): 132-133.
- [37] 张威龙, 张南, 帖靖玺. 中药渣生物炭对水中活性蓝 19 的吸附去除[J]. 供水技术, 2021, 15(6): 29-35.
- [38] 曹阳, 杨燕, 刘若琪, 等. 鸡血藤药渣对废水中 Cu²⁺ 的吸附行为[J]. 农业资源与环境学报, 2022, 39(4): 798-805.
- [39] Shen Q B, Wang Z Y, Yu Q, *et al.* Removal of tetracycline from an aqueous solution using manganese dioxide modified biochar derived from Chinese herbal medicine residues [J]. *Environ Res*, 2020, 183: 109195.
- [40] 蔡思颖, 张伟军, 陈康, 等. 中药渣生物炭的制备及其对水中四环素的吸附特性研究[J]. 安全与环境工程, 2022, 29(3): 178-186.
- [41] 李卫红, 包玉衡, 雷文, 等. 中药渣复合材料研究现状[J]. 塑料, 2017, 46(5): 81-83; 97.
- [42] Feng Y H, Li X L, Jin G, *et al.* Preparation and properties of several Chinese herbal residue/polylactic acid composites [J]. *J Thermoplast Compos*, 2015, 28(2): 214-224.
- [43] 施佳楠, 雷文. 打印温度对 3D 打印用黄芪药渣/聚乳酸材料性能的影响[J]. 塑料工业, 2021, 49(3): 69-73.
- [44] 罗焕虎, 刘彤, 邓浩, 等. 不同 CMR 对 WPP/CMR 复合材料加工性能与理化性能的影响[J]. 塑料科技, 2020, 48(4): 1-5.
- [45] Xin S Z, Huang F, Liu X Y, *et al.* Torrefaction of herbal medicine wastes: Characterization of the physicochemical properties and combustion behaviors [J]. *Bioresour Technol*, 2019, 287: 121408.
- [46] 丁伟婧. Ni/CaO 复合催化剂催化热解中药渣制气脱焦脱碳机制研究[D]. 鞍山: 辽宁科技大学, 2019.
- [47] 董磊, 常加富, 张兆玲, 等. 中药渣与污泥循环流化床共气化特性试验研究[J]. 环境科学与技术, 2020, 43(8): 137-144.
- [48] Yu Z W, Yousaf K, Ahmad M, *et al.* Efficient pyrolysis of ginkgo biloba leaf residue and pharmaceutical sludge (mixture) with high production of clean energy: Process optimization by particle swarm optimization and gradient boosting decision tree algorithm [J]. *Bioresour Technol*, 2020, 304: 123020.
- [49] 田浩杨, 路明哲, 肖倩. 中药渣综合利用技术及实际工程案例[J]. 节能与环保, 2021(11): 46-47.
- [50] Su X Y, Xue Q, Sun M C, *et al.* Co-production of polysaccharides, ginsenosides and succinic acid from *Panax ginseng* residue: A typical industrial herbal waste [J]. *Bioresour Technol*, 2021, 331: 125073.
- [51] 赵悦, 李德念, 阳济章, 等. 中药渣生物炭活化制备碳基电催化剂及其氧还原反应催化性能研究[J]. 材料导报, 2023, 37(2): 5-11.
- [52] Xu M M, Huang Y Q, Chen R W, *et al.* Green conversion of *Ganoderma lucidum* residues to electrode materials for supercapacitors [J]. *Adv Compos Hybrid Mater*, 2021, 4(4): 1270-1280.
- [53] 曾昭君, 鲁云, 刘燎原, 等. 丹参药渣资源化利用研究进展[J]. 中国现代中药, 2020, 22(12): 2115-2121.