

doi:10.11751/ISSN.1002-1280.2023.08.09

新时期中药渣资源化利用的多样性和局限性

李朝年^{1,2}, 范迎赛², 符乐¹, 王珏¹, 王惟帅³, 马宁²,张宁¹, 杨威¹, 李杰峰^{1*}, 官新城^{2*}

(1. 河北省畜牧兽医研究所, 河北保定 071000; 2. 河北农业大学中兽医学院, 河北保定 071000;

3. 中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心, 石家庄 050022)

[收稿日期] 2023-02-18 [文献标识码] A [文章编号] 1002-1280(2023)08-0063-09 [中图分类号] S851.66

[摘要] 中药资源产业化过程要走资源节约型、环境友好型循环经济发展模式, 解决中药渣资源化痛点问题是前提和保障。大量的药渣因无有效利用途径而废弃, 传统的处理方式不仅威胁生态环境安全同时造成了资源的浪费。现阶段中药渣在农业、畜牧业、能源和医药等领域的应用处于起步阶段, 存在应用的弊端和局限性, 对中药渣未来资源化利用途径进行探讨, 提出中药渣资源转化高附加值产品的相关思考和建议, 以期解决中药渣消纳难的问题, 延伸中药资源产业链, 将助力中药资源循环经济产业高质量、绿色发展。

[关键词] 中药渣; 多样性; 局限性

Diversity and Limitations of Resource Utilization of Traditional Chinese Medicine Residue in the New Period

LI Zhao - Nian^{1,2}, FAN Ying - Sai², FU Le¹, WANG Jue¹, WANG Wei - Shuai³, MA Ning²,ZHANG Ning¹, YANG Wei¹, LI Jie - Feng^{1*}, GONG Xing - Cheng^{2*}

(1. Institute of Animal Husbandry and Veterinary Medicine of Hebei Province, Baoding 071000, China;

2. College of Traditional Chinese Veterinary Medicine, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China; 3. Center for Agricultural Resources Research, Institute of Genetics and Developmental Biology, Chinese Academy of Sciences, Shijiazhuang 050022, China)

Abstract: The process of industrialization of traditional Chinese medicine resources must follow a resource - saving and environment - friendly circular economy development model, and solving the pain points of traditional Chinese medicine residue resource utilization is the premise and guarantee. A large amount of medicinal residues are discarded because there is no effective way to use them. The traditional treatment method not only threatens the safety of the ecological environment, but also causes a waste of resources. At present, the application of traditional Chinese medicine dregs in the fields of agriculture, animal husbandry, energy and medicine is in its

基金项目: 河北省重点研发计划项目 (21326603D)

作者简介: 李朝年, 硕士研究生, 从事中兽医学研究。

通讯作者: 李杰峰, E - mail: lijiefeng417@126.com; 官新城, E - mail: gongxin6328@sina.com

infancy, and there are disadvantages and limitations of application. The future resource utilization of traditional Chinese medicine dregs is discussed, and the transformation of traditional Chinese medicine dregs resources into high value-added products is proposed. Relevant thinking and suggestions, in order to solve the problem of difficult consumption of traditional Chinese medicine dregs, extend the industrial chain of traditional Chinese medicine resources, and will help the high-quality and green development of the circular economy industry of traditional Chinese medicine resources.

Key words: traditional Chinese medicine residue; diversity; limitation

党的十八大以来,国家先后颁布了一系列促进中医药产业发展的相关政策,如 2022 年 1 月国家中医药管理局印发《推进中医药高质量融入共建“一带一路”发展规划(2021-2025)》、2022 年 3 月国务院办公厅印发《“十四五”中医药发展规划》等,推动和落实中医药产业新时期下的高质量、高水平发展,同时也暴露出一些痛点问题亟待解决。如中药渣是中药资源产业化过程中的固体废弃物,全国中药渣的年排放量达 $7 \times 10^7 \text{ t}^{[1]}$ 。如何解决大量药渣的排放和处理问题,正成为制约中药制药行业发展的瓶颈问题之一^[2]。中药渣主要来源于原料药、中成药生产、饮片加工等,其中以湿物料为主约占药渣产量的 70%^[3]。中药渣中含有纤维素、半纤维素、木质素、粗蛋白、氨基酸、生物碱、黄酮类及苷类等生物活性物质及微量元素。将未被利用的有效成分高效释放及多途径多方面应用药渣资源,提高其生态价值和经济价值将是未来发展的方向。

1 中药渣利用现状

1.1 动物饲料添加剂 我国应用中药作为饲料添加剂具有悠久的历史,早在两千多年前就开始用于促进动物生长和防治疾病。明代李时珍所著《本草纲目》记载“乌药,猪、犬百病,并可磨服”,植物中药在提取后由于提取技术的限制仍有 40% 药用成分和营养物质仍残留在药渣中未被利用,将其作为畜禽类饲料添加剂,可以减少常规饲料用量,在提高动物存活率和增强抵抗力的同时,还可以提高产品质量和饲料转化率。王旭东^[4]使用党参、黄芪渣对羊进行饲喂发现,羊肉中的必需脂肪酸均有所提高。张旭等^[5]向蛋鸡饲料中添加姜黄渣可显著降

低软破蛋率和次品蛋率,显著降低蛋黄中丙二醛和胆固醇含量。植物型药渣由于有细胞壁的存在,药用营养成分不易被释放出来,通过微生物转化发酵可提高活性药用成分溶出。毛歌^[6]利用“清热胶囊”等中药渣及制药污泥微发酵后作为基质养殖参环毛蚓“地龙”,基质配比为 5:5,湿度为 45%,养殖密度为 $5000 \text{ 条}/\text{m}^3$ 时,地龙水分、重金属、杂质、总灰分、酸不溶性灰分均低于国家标准,浸出物含量均高于国家标准,证明了中药渣养殖地龙的可行性。张玉千^[7]在饲料中添加五倍子、女贞子、山楂、甘草等发酵药渣,有效提升了仔猪生长性能,减少仔猪腹泻。解平超^[8]利用基础蛋白饲料与党参、黄芪等发酵药渣制的复配饲料饲养铁脚麻鸡,提升了铁脚麻鸡肌内蛋白的含量。许栋等^[9]研究发现,在京红蛋鸡产蛋后期饲料中添加 $4 \text{ g}/\text{kg}$ 利用枯草芽孢杆菌 $5 \times 10^8 \text{ CFU}/\text{g}$ 发酵党参、白术、白芍、茯苓等中草药能够提高产蛋后期的产蛋率,改善蛋品质和脂代谢能力。将中药渣作为饲料添加剂,在抗氧化、抑菌抗炎、增免疫保健等方面有着独特药用作用方式,同时减少了养殖过程中抗生素的使用,减少了环境污染且提高了动物产品的质量,具有较好的应用前景。

1.2 生物吸附剂 工业废水污染自然水体的现象时有发生,若人不慎饮用还会造成溶血性贫血、重金属中毒、传染病、寄生虫感染等病症。吸附法、膜过滤法、臭氧氧化法、离子交换法等都是废水处理的技术手段,其中吸附法是简单、低成本、快速有效的一种污水净化方式之一。曹阳等^[10]利用废弃鸡血藤药渣(SSD)作为生物吸附剂可通过络合、离子交换、静电吸附清除废水中 Cu^{2+} 。张威龙^[11]通过

真空热解法处理某中药煎煮后的固体残留物制备生物炭、酸改性生物炭、 $Mg(OH)_2$ 改性生物炭, 分别发挥静电吸附、阳离子交换、孔填充、氢键等作用吸附水中染料有较好的效果。朱振亚^[12]通过盐活化法对中药渣负载纳米零价铁改性, BS-Fe 对亚甲基蓝的吸附量达到了 366.95 mg/g。Lian 等^[13]用丹参药渣在不同温度下热解制备生物炭, 对比发现 250 °C 下制备的生物炭对磺胺甲恶唑的吸附容量约 1000 mg/kg, 是高温制备生物炭吸附能力的 2~7 倍。蔡思颖^[14]通过限氧热解法在 300 °C、500 °C、700 °C 制备中药渣生物炭, 研究对水中四环素的吸附效果, 结果表明通过 BC700 的吸附量高达 93.46 mg/g。以中药渣作为原料制备生物炭吸附剂, 其表面含有多种官能团, 为改性制备高性能吸附剂提供了条件。

1.3 栽培基质 基质在植物栽培过程中起着固定植株根系、输送水分和养分、促进根系气体交换等作用, 基质的理化性状直接影响着植株的正常生长状态。中药提取后药渣中剩余的营养成分及药用活性成分可以为作物栽培提供营养。陈亮等^[15]将发酵腐熟的中药渣 30% 复配牛粪、菇渣为基质栽培西瓜, 根系生长良好, 植株地上部分长势健壮, 光合作用强。刘杰等^[16]利用中药渣: 牛粪 = 4: 1 作为复合基质培养番茄提升了果实 Vc、番茄红素、总黄酮及可溶性蛋白等含量。李盛杰等^[17]将 60% 黄芪药渣栽培猴头菇与杨木屑栽培对比显示猴头菇的多糖和总多酚含量提高 11.43% 和 32.98%, 猴头菇多糖和多酚的提高可能与药渣基质中残留药用成分有关, 有助于开发功能性猴头菇产品。傅滢等^[18]利用 6 种药渣作为基质栽培姬菇, 评价其作物的质量及药物残留发现, 中药渣基质栽培姬菇营养成分优于棉籽壳基质栽培, 且用大败毒药渣栽培, 姬菇中仍可以检测到芦荟大黄素和大黄素甲醚, 可以让需要的患者通过食补而达到治疗的目的。使用特殊中药渣栽培作物, 在开发药食同源产品上具有较大潜力。

1.4 有效成分再提取 中药材含有多而复杂的成分, 由于提取工艺和设备的限制, 药材中的有效成

分只有部分被提取出来, 因此, 可摸索和优化工艺对部分药渣行二次提取, 减少中药资源的浪费。刘广等^[19]将连花清瘟药渣发酵后进行乙醇和水再提取发现提取物对猪副嗜血杆菌 (HPS)、猪链球菌二型 (SS2) 和肠毒性大肠杆菌 (ETEC) 均表现出抑制作用, 且表现出一定抗病毒活性。Jiang 等^[20]对丹参残渣采用热水法、超声波法、碱法和酶法再提取分别得到了 SMP-1、SMP-2、SMP-3 和 SMP4 四种粗多糖, SMP-1 可以作为一种新型天然抗氧化剂。宋玉琴^[21]采用 HPLC 法, 测定人参药渣中人参皂苷 Rg₁、Rb₁、Re, 含量为 0.27~0.45 mg/100 g, 通过优化工艺从人参残渣 (PGR) 中实现了多糖、人参皂苷和琥珀酸的联产^[22]。五味子经水提醇沉法产生的药渣富含木脂素、糖类等物质, 可进一步用于肝炎等疾病或开发为天然抗氧化剂等^[23]。王君明等^[24]对地黄醇提物与醇提地黄药渣的水提物对比发现二者具有相同的抗抑郁作用, 作用机制可能涉及单胺能神经系统。从药渣中再提取的药用活性物质和原材料直接提取的药效对比发现并无差异, 也证实了中药渣二次提取的可行性。

2 中药渣未来的应用方向

2.1 中药渣有机肥(土壤生态改良剂) 随着环境的恶化, 土壤出现了沙化、水土流失、盐渍化、重金属污染等一系列威胁土壤生态的问题。中药渣生物有机肥是通过中药渣、畜禽排泄物及多功能菌种混合发酵加工而成, 添加到土壤中可以降解酶系快速分解, 改善土壤的理化性状及微生物群落分布等。陈芬等^[25]以中药渣生物有机肥土培试验验证对 Hg-Cd 复合污染土壤的影响, 研究发现土壤中的养分含量与施肥比例呈直线正相关, 土壤 HCl-Hg 和 DTPA-Cd 含量与施肥比例呈直线负相关, 土壤中的酶系对重金属含量有相关性影响。王光飞等^[26]使用中药渣有机肥耦合高效水溶肥减施 30% 化肥养分下显著减少中高肥力土壤盐分并削减速效养分, 增加土壤微生物活性和多样性, 抑制土壤真菌化进而提高番茄产量。赵鹏程^[27]利用二丁: 连翘 = 2: 1 药渣进行垛式好氧堆肥, 制得调理剂配合淋洗改良了苏打盐碱地的理化性状, 提高

了土壤的透水性和团聚体水稳定性。兰玉顺等^[13,28,29]发现污泥和中药渣热解后产生大量有机含氧官能团,可吸附络合钝化生物炭中的重金属,还可以钝化土壤内源重金属有效态组分,阻滞了重金属从土壤向植物迁移运输。董悦^[30]通过优化中药渣有机改良剂和市售改良剂应用对比发现,中药渣有机改良剂强化稀土矿区土壤团粒结构修复力和土壤团聚体稳定性及土壤养分含量。闫博^[31]通过对制药污泥添加及间歇通风对药渣好氧堆肥的研究表明,由于堆体中大量有机碳的分解,养分 N、P、K 浓缩呈上升趋势。罗友进等^[32]施用中药渣有机肥,随着用量的增加,土壤的细菌多样性表现出先增加后减少的趋势,可增加土壤中有机质、铵态氮、硝态氮和水溶性磷酸根含量。中药渣中有机质含量丰富,是优质的堆肥原料,好氧堆肥是将有机质通过微生物分解矿化和腐殖化而最终达到平衡的过程^[31]。通过利用中药渣有机肥还田促进植物的生长,改善土壤生态,实现循环利用。

2.2 生物基材

2.2.1 生物基阻燃剂

生物基材料具有绿色、环保、可降解等特性,如纤维素、半纤维素、木质素、淀粉是天然的碳源并含有丰富的官能团,随着人们防火意识和环保意识的提高,利用生物基材料开发高效阻燃剂,可通过化学改性及与其他物质混合构成新型膨胀阻燃体系以提高阻燃效率^[33]。Li 等^[34]采用木质素磺酸盐(LS)和壳聚糖(CS)通过 LBL 自组装在棉织物上,CS/LS 阻燃剂加入量为质量分数 25.2% 时,阻燃织物的 LOI 值可达 26.0%,N₂ 氛围下残炭量高达 27.1%。Pan 等^[35]采用带正电的聚乙烯亚胺/三聚氰胺和带负电的植酸组成的锌配位多层涂料制成了可再生阻燃纸,经过 8 层涂层处理并与锌离子配位后,有良好的自熄性、水耐久性,峰值放热速率和总放热分别降低了 43% 和 49%。Shao 等^[36]以淀粉及其衍生物和聚磷酸铵通过造纸工艺制备阻燃重构烟草片(RTS),阻燃改性的重构烟草片热释放值更低,能抑制烟草中有毒气体的产生,抑烟效果显著。生物基阻燃剂对高分子材料的阻燃效果显著,具有替代石油基阻燃剂的

潜力。

2.2.2 纳米纤维素基材

植物药渣中含有丰富纤维素、半纤维素、木质素等丰富有机成分,长链纤维素分子是由纤维素与半纤维素和木质素结合的组成的微纤维,木质素作为纤维素和半纤维素组分之间的粘合剂。长链纤维素分子以螺旋微纤维形式存在,嵌入多糖和糖蛋白胶结基质^[37,38]。纤维素微纤维高度排列成层次化结构是纳米纤维素粒子的主要前体。从农业副产品和残留物中回收的纤维素纳米纤维(CNF)直径比木材中提取的更大。未来的可持续技术发展将越来越多的利用可再生材料来开发具有更好的环境友好型新产品。表面改性纳米纤维素的应用有助于赋予或增加复合包装材料的疏水性^[39]。纳米纤维素用作纸张中的无机填料的替代品,Espinosa 等^[40]使用 TEMPO 介导的氧化碳纳米纤维作为纸板的增强剂,纸板的力学性能显著提高。近年开发高性能储能系统的研究出现了热潮。含有纤维素的电池电极材料具有性能好、柔韧性高、成本低等特点。Wang 等^[41]创新性地 CNFS 与碳纳米纤维相结合,构建了具有高导电性的多孔纳米纤维素型金属锂电池。纳米纤维素作为一种单独的成分或混合物或复合材料的一部分,在生物学生物传感器、伤口辅料材料等有着广泛应用。Wang 等^[42]证明了纤维素纳米晶可以与银纳米颗粒结合使用来开发用于检测葡萄糖的比色和非酶生物传感器。Claro 等^[43]开发了 CNFS 基膜用作皮肤敷料,以实现细胞迁移和增殖,并提供物理屏障作用,加速创面愈合。郭泉泉等^[44]采用绿色可再生的纤维素纳米晶须(CNC)作为碳纳米管(CNT)的结构导向剂,在生物基植酸(PA)交联环氧化天然橡胶(ENR)基材中构筑隔离结构导电网络,所得柔性传感材料具有优异的力学性能、生物相容性和阻燃性能。纳米纤维素基材材料多用于包装、纸张和纸浆、能源存储、生物医学、环境修复、光电子学、涂料领域等,也越来越多用于电子、化妆品、食品等行业。

2.3 超级电容器

超级电容器作为一种新型的储能器件具有功率密度高、循环寿命长、充放电速度

快等特点,引起了研究者的广泛关注。中药渣具有开放的孔结构,较大的比表面积的特性。中药渣通过酸水解法、机械法、化学法处理提取的纳米纤维素,可与导电材料复合或直接进行炭化处理作为超级电容器的电极材料^[45]。Mondal 等^[46]将木质纤维素基生物废物材料作为超级电容器电极的原料,在充满惰性气体的环境中,用 KOH 活化法制备了活性多孔碳。实验结果表明,该活性多孔碳比表面积较高(为 811.8 m²/g),比电容为 565.2F/g,将其组装成固态对称超级电容器后仍能保持 96% 的比电容,比功率为 801.82 W/kg。Huang 等^[47]报道了一种分层多孔石墨烯碳基超级电容器。将石墨烯薄片夹在纳米纤维素转化的微/中孔活性炭中,此骨架具有更好的力学和导热性能,该电容器能量密度高达 67 Wh/kg,比电容为 300F/g。中药渣及其衍生物已被开发用于储能器件,将为环境友好型储能器件带来新的机遇。

2.4 生物质能源 由于环境污染和能源危机,人们对清洁能源和可再生能源的需求日益增加。中药渣中含有的纤维素、蛋白质、脂肪等可以通过多种预处理方式转化为沼气、生物油、生物乙醇等生物原料。于镇伟^[33]将银杏叶药渣与制药污泥按不同比例混合通过催化热解法分析了热解气 CO₂、CO、H₂ 的组成及生物油的组成。习彦花等^[48]以人参、赤芍和桂皮等混合中药渣为发酵原料进行厌氧发酵,结果发现,厌氧发酵该中药渣的沼气日产量可达 8.38L。张英等^[49]利用树干毕赤酵母(*Pichia stipitis*)与酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*)得到的融合菌株转化黄芪药渣来生产生物乙醇,融合菌株生产乙醇产量最高可达 20.4 g/L。余强等^[50]将木通药渣经过氯化胆碱-甲酸低共熔溶剂预处理后酶促糖化水平达到 98.0%,乙醇产率达到了 100%,证明了木通药渣发酵制备乙醇的可行性。将有机质转化成生物质能源,具有广阔的应用前景。

3 中药渣利用中存在的问题

3.1 中药渣安全性 中药渣安全评价包括农药残留及重金属残留、真菌毒素等指标。有相关研究表

明,控制中药渣施肥量低于 0.8% 时,可确保肥料的生态安全性,但在 0.8% - 1.0% 的处理下,重金属含量增加,会阻碍玉米幼苗的生长^[51]。建立起中药渣有机肥重金属含量风险评估体系,更好发挥有机肥力对作物的功效及对土壤生态的影响。傅滢等^[18]利用 6 种药渣栽培姬菇,以八正合剂胶囊药渣栽培的姬菇子实体,砷超标,含量为 0.506 mg/kg,汞超标,含量为 5.79 mg/kg,其余 5 种中药渣栽培的姬菇重金属达标且姬菇品质不同。中药渣药用成分复杂,转化降解机制不同造成品质差异。在进行栽培食用菌之前,应分析明确中药渣对食用菌安全性的影响。附子、雷公藤等有毒中药经过严格加工炮制入药,提取后药渣中毒力物质剩余含量的多少直接影响安全性。不同提取方式处理中草药后剩余的药渣药用含量不同,且不同产地药材药用成分参差不齐,应用在畜禽上作为饲料添加剂及非常规饲料原料还需深入研究。2020 版《中国药典》发布实施以来,药企加强对中药原料中重金属、农药残留、真菌毒素等风险物质的监测,为中药渣的高效、安全利用保驾护航。完善中药渣农药残留及重金属残留等相关检测技术,规定残留的限度并对中药渣风险进行评估,从而建立起完整的中药渣安全评价系统。

3.2 中药渣类别复杂 中药制剂由单方或复方组成,组成成分及来源复杂。经过简单的加工、粉碎制成饲料,其营养成分不定,作用机理及药用功效难以控制,无法形成流程化加工及量产添加,因此,在动物养殖上应选择已知成分的中药渣进行饲喂,对于新的药渣要进行成分明确,确认对动物无害后进行小规模预饲喂,确认安全后再扩大投喂范围。中药渣的来源广泛,不同制药企业对单方和复方提取工艺和组方不同,加大了单一的菌种有效转化的难度,同时微生物转化中药渣的菌种当前较少,给后续的开发利用造成了一定的难度。当前应加强可利用中药渣微生物菌种的筛选工作,加强不同复方型药渣的适用性。不同类别的中药渣其理化性质差异较大,在制备活性炭、制备生物质能源等方面也带来了一定难度。段金殿等对中药废弃物及

副产物进行分级分类,实现多层次对应多途径的精细化资源利用模式。

3.3 中药渣新产品未产业化 以中药渣为原料开发制备新产品,当前多处于研究或实验室研究阶段,不能真正的应用于生产并产生经济效益。朱振亚^[12]实验室制备出了高性能吸附亚甲基蓝的 BS-Fe-4,仅停留于实验室模拟,实际是否可循环使用及使用成本未深入研究。任丽丽^[53]发酵中药渣制备有机肥只是对可行性进行了初步探索,目前停留在实验室阶段,未进行大量药渣发酵地验证。于镇伟^[33]只对上海药厂的制药污泥和药渣进行了研究,未对其他类型的药渣进行特性研究与预测模型通用性的校验。在生物基料领域,中药渣的利用仍在评估中,实用性未得到证实且制备技术仍有待提高^[54]。利用中药渣生产纳米纤维素,使用机械法制备 NFC 时需消耗大量能量^[55],生产成本较高,可考虑通过化学预处理方法节约成本,提高经济效益。中药渣固废目前的研究应用专一性较强,对工艺、设备和预测模型适用性较差。

4 小结与展望

新时期,国家出台了一系列振兴发展中医药的政策,为中医药发展提供了理论指导和行动指南,中医药迎来了发展的新机遇。中药渣作为中医药产业分支,应依据药渣的特性及制备工艺的发展,搭乘中医药发展的快车,将相关领域的应用研究及适用性产品的开发从实验室转入工业化生产,切实提高固废资源的利用率。考虑建立如下中药渣产品生产的质量标准:

在生产方面:(1)杜绝重产量轻质量问题,合理使用化肥、农药等,及时控制病虫害;(2)杜绝采收抢青,严格标准化加工存储技术;(3)杜绝随意引种,扩大大地药材种植面积并推广。

在新产品开发方面:(1)多元化利用药渣,打破当前利用率低的僵局,细化药渣的用途分类;(2)结合其他领域对于环境友好型材料的需求,加强领域基础研究合作;(3)加强对于中药渣制备新产品工艺和设备等基础性研究,节约生产成本,加强工艺的适用性,扩大其经济效益。

在产品利用上:(1)生产出的中药渣产品,附带产品说明书,具体细化说明成分功效及利用价值,将产品商业化;(2)根据不同领域研制的中药渣产品建立起生产流程标准及产品标准;(3)产品商业化进入市场后加强综合评价,进行产品优化升级,加强产品的生命周期。

综上所述,中药渣固废资源的利用在创新性、综合性方面还有很大的发展空间,如何解决中药渣这个痛点难点问题,还需国家、企业、学术界共同努力,使中医药产业快速高质量发展,实现中医药现代化振兴。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 李峰,王娜,张师愚,等. 中药药渣的综合利用及其研究进展[J]. *中国医药工业杂志*, 2016, 47: 1322-6.
Li F, Wang N, Zhang S Y, *et al.* Comprehensive utilization of Chinese medicine dregs and its research progress [J]. *Chinese Journal of Pharmaceutical Industry*, 2016, 47: 1322-6.
- [3] 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: 377-83.
Yang B, Ding F, Li W D, *et al.* Research progress and ecological comprehensive utilization model of traditional Chinese medicine residues [J]. *Chinese Herbal Medicine*, 2017, 48: 377-83.
- [4] 王旭东. 日粮中添加党参、黄芪渣对羊肉品质的影响[J]. *中国草食动物科学*, 2015, 35: 32-6.
Wang X D. Effect of adding *Radix Codonopsis pilosulae* and *Astragalus membranaceus* residues to diets on the quality of lamb meat [J]. *Chinese Herbivore Science*, 2015, 35: 32-6.
- [5] 张旭,蒋桂韬,王向荣,等. 姜黄渣对蛋鸡生产性能、蛋品质及蛋黄胆固醇和丙二醛含量的影响[J]. *动物营养学报*, 2016, 28: 2795-801.
Zhang X, Jiang G T, Wang X R, *et al.* Effects of turmeric residues on egg performance, egg quality and yolk cholesterol and malondialdehyde content in laying hens [J]. *Journal of Animal Nutrition*, 2016, 28: 2795-801.
- [6] 毛歌. 利用中药渣养殖参环毛蚓技术研究[D]. 陕西:西北农林科技大学, 2019.
Mao G. Research on the technology of using Chinese medicinal

- residues to raise ginseng ring worm [D]. Shaanxi: Northwest Agriculture and Forestry University of Science and Technology, 2019.
- [7] 张玉千. 发酵中药渣对断奶仔猪生长性能、肠道菌群及免疫功能的影响[J]. 饲料研究, 2020, 43: 47-49.
- Zhang Y Q. Effect of fermented Chinese medicine residues on growth performance, intestinal flora and immune function of weaned piglets[J]. Feed Research, 2020, 43: 47-49.
- [8] 解超平. 饲料中添加发酵中药渣对铁脚麻鸡肉质性状的改善[J]. 畜禽业, 2019, 30: 9-12.
- Xie C P. Improvement of meat quality traits of iron-footed hemp chickens by adding fermented Chinese medicine residues to feed[J]. Livestock and Poultry Industry, 2019, 30: 9-12.
- [9] 许栋, 彭箫, 李海英, 等. 饲料中添加发酵中草药对蛋鸡产蛋后期生产性能、血清生化指标和脂代谢的影响[J]. 饲料研究, 2021, 44: 25-29.
- XU D, PENG X, LI H Y, *et al.* Effects of fermented Chinese herbs in feed on production performance, serum biochemical parameters and lipid metabolism of laying hens during the late laying period[J]. Feed Research, 2021, 44: 25-29.
- [10] 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: 798-805.
- Cao Y, Yang Y, Liu R Q, *et al.* Adsorption behavior of Cu²⁺ in wastewater by the residue of Chickweed[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2022, 39: 798-805.
- [11] 张威龙. 真空热解法制备中药渣生物炭及其对水中阴阳离子染料的吸附性能研究[D]. 郑州: 华北水利水电大学, 2021.
- Zhang W L. Preparation of biochar from Chinese medicine residue by vacuum pyrolysis and its adsorption performance on anionic and cationic dyes in water [D]. Zhengzhou: North China University of Water Conservancy and Hydropower, 2021.
- [12] 朱振亚. 中药渣复合改性吸附剂的制备及电化学性能的研究[D]. 兰州: 西北民族大学, 2021.
- Zhu Z Y. Preparation and electrochemical properties of composite modified adsorbents from Chinese medicine residues [D]. Lanzhou: Northwest University for Nationalities, 2021.
- [13] Lian F, Sun B, Song Z, *et al.* Physicochemical properties of herb-residue biochar and its sorption to ionizable antibiotic sulfamethoxazole[J]. Chemical Engineering Journal, 2014, 248: 128-34.
- [14] 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: 178-186.
- Cai S Y, Zhang W J, Chen K, *et al.* Preparation of biochar from Chinese medicine residues and its adsorption characteristics on tetracycline in water[J]. Safety and Environmental Engineering, 2022, 29: 178-186.
- [15] 陈亮, 栾倩倩, 蔺毅, 等. 中药渣复合基质对设施西瓜生长及果实产量品质的影响[J]. 福建农业学报, 2021, 36: 1422-1430.
- Chen L, Luan Q Q, Lin Y, *et al.* Influence of Chinese medicine residue on the growth and fruit yield quality of watermelon[J]. Fujian Journal of Agriculture, 2021, 36: 1422-1430.
- [16] 刘杰, 吴国瑞, 张金伟, 等. 保健型中药渣基质对日光温室袋培番茄产量及品质的影响[J]. 核农学报, 2021, 35: 1687-1695.
- Liu J, Wu G R, Zhang J W, *et al.* Effect of health-conserving Chinese medicinal residue substrate on yield and quality of tomatoes grown in bags in heliostats [J]. Journal of Nuclear Agriculture, 2021, 35: 1687-1695.
- [17] 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: 152-156.
- Li S J, Jiang H T, Zhou F, *et al.* Effect of Astragalus membranaceus residue culture on the yield and quality of monkey head mushroom [J]. Jiangsu Agricultural Science, 2021, 49: 152-156.
- [18] 傅滢, 全健, 杨天建, 等. 6种中药渣安全性评价与利用潜力研究[J]. 时珍国医国药, 2022, 33: 459-463.
- Fu Y, Quan J, Yang T J, *et al.* Safety evaluation and utilization potential of six kinds of Chinese medicine residues [J]. Shi-Zhen Guomao Guomao, 2022, 33: 459-463.
- [19] 刘广, 龚成燕, 牛凯敏, 等. 连花清瘟药渣及发酵产物的生物活性研究[J]. 畜牧兽医学报, 2023, 54: 1281-1299.
- Liu G, Gong C Y, Niu K M, *et al.* Study on the biological activity of the dregs and fermentation products of *Phytophthora purpurea* [J]. Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, 2023, 54: 1281-1299.
- [20] Jiang Y, Wang L, Zhang L, *et al.* Optimization of extraction and antioxidant activity of polysaccharides from *Salvia miltiorrhiza* Bunge residue [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2015, 79: 533-41.
- [21] 宋玉琴. 人参药渣添加到动物饲料调节动物抵抗力和肉质的实验研究[D]. 成都: 成都中医药大学, 2016.
- Song Y Q. Experimental study on the addition of ginseng pomace to animal feed to regulate animal resistance and meat quality [D]. Chengdu: Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, 2016.

- [22] Su X, Xue Q, Sun M, *et al.* Co - Production of Polysaccharides, Ginsenosides and Succinic acid from Panax Ginseng Residue: A Typical Industrial Herbal Waste [J]. *Bioresource Technology*, 2021, 331(3): 125073.
- [23] 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]. 江苏: 江苏大学, 2016.
- Tao X F. Study on the resource utilization of Wu Wei Zi dregs in the production of Sheng Wei Zi injection [D]. Jiangsu: Jiangsu University, 2016.
- [24] 王君明, 冯卫生, 崔瑛, 等. 地黄醇提物及其药渣水提物抗抑郁作用的比较研究 [J]. *中国药学杂志*, 2014, 49: 2073 - 6.
- Wang J M, Feng W S, Cui Y, *et al.* Comparative study on the antidepressant effects of the alcoholic extract of Dihuanghuang and the aqueous extract of its residue [J]. *Chinese Journal of Pharmacy*, 2014, 49: 2073 - 6.
- [25] 陈芬, 余高, 张红丽, 等. 中药渣生物有机肥对 Hg - Cd 复合污染土壤重金属、微生物量碳氮含量及酶活性的影响 [J]. *河南农业科学*, 2021, 50: 66 - 75.
- Chen F, Yu G, Zhang H L, *et al.* Effect of bio - organic fertilizer from Chinese medicine residues on heavy metals, microbial carbon and nitrogen content and enzyme activity in Hg - Cd - contaminated soils [J]. *Henan Agricultural Science*, 2021, 50: 66 - 75.
- [26] 王光飞, 廖开志, 马艳, 等. 中药渣有机肥耦合高效水溶肥改良不同肥力设施番茄土壤效果 [J]. *中国土壤与肥料*, 2021, 103 - 111.
- Wang G F, Liao K Z, MA Y, *et al.* Effectiveness of organic fertilizer coupled with high efficiency water soluble fertilizer for improving tomato soil in different fertility facilities [J]. *China Soil and Fertilizer*, 2021, 103 - 111.
- [27] 赵程鹏. 二丁与连翘药渣联合堆肥对苏打盐碱土改良效果研究 [D]. 长春: 吉林农业大学, 2021.
- Zhao C P. Study on the effect of combined composting of ditin and forsythia residue on the improvement of soda saline soil [D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2021.
- [28] He E, Yang Y, Xu Z, *et al.* Two years of aging influences the distribution and lability of metal (loid)s in a contaminated soil amended with different biochars [J]. *Sci Total Environ*, 2019, 673: 245 - 253.
- [29] 兰玉顺, 刘维娜, 王丹, 等. 施用典型有机固废生物炭对土壤重金属生物有效性的影响 [J]. *环境工程学报*, 2021, 15: 2701 - 2710.
- Lan Y S, Liu W N, Wang D, *et al.* Effects of typical organic solid waste biochar application on the bioeffectiveness of heavy metals in soil [J]. *Journal of Environmental Engineering*, 2021, 15: 2701 - 2710.
- [30] 董悦. 中药渣制备土壤改良剂及在稀土矿区中的应用研究 [D]. 南昌: 南昌大学, 2021.
- Dong Y. Preparation of soil conditioner from Chinese medicine residue and its application in rare earth mining areas [D]. Nanchang: Nanchang University, 2021.
- [31] 闫博. 物料投配与通风策略对中药渣好氧堆肥过程的影响研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2021.
- Yan B. Study on the effect of material dosing and ventilation strategy on the aerobic composting process of Chinese medicine slag [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2021.
- [32] 罗友进, 廖敦秀, 韩国辉, 等. 施用中药渣堆肥对土地整治区新改土壤细菌多样性及群落结构的影响 [J]. *南方农业学报*, 2020, 51: 2394 - 400.
- Luo Y J, Liao D X, Han G H, *et al.* Effects of composting Chinese medicinal residues on bacterial diversity and community structure of newly converted soils in land reclamation areas [J]. *Southern Journal of Agriculture*, 2020, 51: 2394 - 400.
- [33] 于镇伟. 银杏叶药渣与制药污泥混合催化热解特性及干化焚烧系统的研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2020.
- Yu, Zhenwei. Study on the characteristics of catalytic pyrolysis of ginkgo biloba sludge mixed with pharmaceutical sludge and drying and blending system [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2020.
- [34] Li P, Liu C, Xu Y J, *et al.* Novel and eco - friendly flame - retardant cotton fabrics with lignosulfonate and chitosan through LbL: Flame retardancy, smoke suppression and flame - retardant mechanism [J]. *Polymer Degradation and Stability*, 2020: 109302.
- [35] Ying P, Liu L, Zhao H. Recyclable flame retardant paper made from layer - by - layer assembly of zinc coordinated multi - layered coatings [J]. *Cellulose*, 2018, 25: 5309 - 5321.
- [36] Shao N, Ya Q, Yong H, *et al.* Effect of starch - based flame retardant on the thermal degradation and combustion properties of reconstituted tobacco sheet [J]. *Cellulose*, 2021, 28: 741 - 755.
- [37] Dungani R, Abdul K H P S, Aprilia N, *et al.* Bionanomaterial from agricultural waste and its application [M]. *Cellulose - Reinforced Nanofibre Composites*, 2017.
- [38] NG H M, SIN L T, TEE T T, *et al.* Extraction of cellulose nanocrystals from plant sources for application as reinforcing agent in polymers [J]. *Composites Part B: Engineering*, 2015, 75: 176 - 200.

- [39] Yang W, Bian H, Jiao L, *et al.* High wet – strength, thermally stable and transparent TEMPO – oxidized cellulose nanofibril film via cross – linking with poly – amide epichlorohydrin resin [J]. *Rsc Advances*, 2017, 7: 31567 – 31573.
- [40] Espinosa, Eduardo A, Rafael I B V, *et al.* Industrial application of orange tree nanocellulose as papermaking reinforcement agent [J]. *Cellulose*, 2020, 18:1 – 17.
- [41] Wang Z, Pan R, Rui S, *et al.* Nanocellulose Structured Paper – Based Lithium Metal Batteries [J]. *Acs Applied Energy Materials*, 2018,1:4341 – 4350.
- [42] Wang S, Sun J, Jia Y, *et al.* Nanocrystalline Cellulose – Assisted Generation of Silver Nanoparticles for Non – enzymatic Glucose Detection and Antibacterial Agent [J]. *Biomacromolecules*, 2016,17: 2472 – 2478.
- [43] Claro F C, Jordo C, Viveiros B, *et al.* Low cost membrane of wood nanocellulose obtained by mechanical defibrillation for potential applications as wound dressing [J]. *Cellulose*, 2020, 27: 10765 – 10779.
- [44] 郭泉泉, 卢灿辉, 张新星. 生物基多功能柔性传感材料. 中国化学会第一届全国纤维素学术研讨会: F 集 [C]. 中国四川成都, 2019.
- Guo Q Q, Lu C H, Zhang X X. Bio – based multifunctional flexible sensing materials. The First National Symposium on Cellulose of the Chinese Chemical Society: Collection F [C]. Chengdu, Sichuan, China, 2019.
- [45] Torvinen K, Lehtimäki S, Keränen J, *et al.* Pigment – cellulose nanofibril composite and its application as a separator – substrate in printed energy storages [J]. *Electronics Symposium 2015*, 11: 1040 – 1047.
- [46] Mondal M, Goswami D K, Bhattacharyya T K. Lignocellulose based Bio – waste Materials derived Activated Porous Carbon as Superior Electrode Materials for High – Performance Supercapacitor [J]. *The Journal of Energy Storage*, 2020, 34: 1 – 14.
- [47] Huang J, Wang J, Wang C, *et al.* Hierarchical Porous Graphene Carbon – Based Supercapacitors [J]. *Chemistry of Materials*, 2015, 27: 150219143725002.
- [48] 刁彦花, 张丽萍, 崔冠慧, 等. 中药渣不同有机负荷厌氧发酵工艺参数分析 [J]. *环境工程学报*, 2017, 11: 2433 – 2438.
- Xi Y H, Zhang L P, Cui G H, *et al.* Analysis of anaerobic fermentation process parameters of Chinese medicine residues with different organic loads [J]. *Journal of Environmental Engineering*, 2017, 11: 2433 – 2438.
- [49] 张英, 郑清炼, 周裕权, 等. 融合菌株转化黄芪药渣生产乙醇的工艺 [J]. *中成药*, 2016, 38: 1421 – 1424.
- Zhang Y, Zheng Q L, Zhou Y Q, *et al.* Process of converting *Astragalus membranaceus* pomace into ethanol production by fusion strains [J]. *Chinese Patent Medicine*, 2016, 38: 1421 – 1424.
- [50] Yu Q, Zhang A, Wang W, *et al.* Deep eutectic solvents from hemicellulose – derived acids for the cellulosic ethanol refining of *Akebia* herbal residues [J]. *Bioresource Technol*, 2018, 247: 705 – 710.
- [51] Ma J, Chen Y, Zhao Y, *et al.* Effects of traditional Chinese medicine residue on plant growth and soil properties: a case study with maize (*Zea mays* L.) [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2019, 26: 32880 – 32890.
- [52] 段金殿, 宿树兰, 郭盛, 等. 中药资源全产业链废弃物及副产物分级分类体系构建 [J]. *中国现代中药*, 2022, 24: 1830 – 1839.
- Duan J A, Su S L, Guo S, *et al.* Construction of a classification system for waste and by – products of the whole industrial chain of Chinese medicine resources [J]. *China Modern Traditional Chinese Medicine*, 2022, 24: 1830 – 1839.
- [53] 任丽丽. 中药渣发酵制备有机肥的研究 [D]. 天津: 天津中医药大学, 2020.
- Ren L L. Study on the preparation of organic fertilizer by fermentation of Chinese medicine residue [D]. Tianjin: Tianjin University of Traditional Chinese Medicine, 2020.
- [54] 刘苗, 陈启杰, 陈广, 等. 生物基阻燃剂在纤维素基材料中的应用研究进展 [J]. *现代化工*, 2022, 42: 50 – 54.
- Liu Z, Chen Q J, Chen G, *et al.* Advances in the application of bio – based flame retardants in cellulose – based materials [J]. *Modern Chemistry*, 2022, 42: 50 – 54.
- [55] 魏良, 王健恺, 刘凯歌, 等. 纳米纤维素的制备及其在储能领域的应用 [J]. *化工新型材料*, 2022, 50: 43 – 46 + 53.
- Wei L, Wang J K, Liu K G, *et al.* Preparation of nanocellulose and its application in energy storage [J]. *New Chemical Materials*, 2022, 50: 43 – 46 + 53.