

• 中药现代化论坛 •

基于生态效应的中药废弃物资源化的模式与技术选择

袁盼¹, 申俊龙^{1*}, 申远^{2*}

1. 南京中医药大学, 江苏 南京 210023

2. 南京财经大学应用数学学院, 江苏 南京 210024

摘要: 中药资源产业化过程中产生的废弃物对生态环境造成了严重的污染, 形成了环境的承载压力。从外部性理论和循环经济理论角度, 探讨中药废弃物资源化的三大循环模式及其对生态环境产生的效应。同时, 基于生态效应的视角, 提出促进中药废弃物资源化转化的技术。这将促进中药废弃物的资源化, 保护生态环境, 有利于中药资源的可持续发展。

关键词: 中药废弃物; 循环经济; 生态环境效应; 外部性理论; 中药资源产业化

中图分类号: R282.23 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2015)19-2829-05

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2015.19.001

Selection of models and technologies of waste reutilization of Chinese materia medica based on ecological effects

YUAN Pan¹, SHEN Jun-long¹, SHEN Yuan²

1. Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing 210023, China

2. School of Applied Mathematics, Nanjing University of Finance & Economics, Nanjing 210024, China

Abstract: Waste generated in Chinese materia medica (CMM) resources industrialization pollutes the ecological environment seriously, forming the bearing pressure of the environment. From the perspective of the externality theory and the circular economy theory, three circular patterns of waste reutilization are discussed, as well as their effects on the ecological environment. In addition, based on the perspective of the ecological effect, the technologies used for promoting the conversion of waste reutilization of CMM are put forward. All of these will promote waste reutilization of CMM and protect the ecological environment, which are conducive to the sustainable development of CMM resources.

Key words: Chinese materia medica waste; circular economy; ecological environment effects; externality theory; industrialization of Chinese materia medica resources

我国当前经济正向处于工业化后期迈进, 经济发展正步入新常态。国家正在制定“中国制造 2025”规划, 这是中国版的工业 4.0, “绿色制造”是此规划中 5 项重大工程之一。高效、集约、环保、资源循环利用的可持续发展之路可促进我国经济的转型升级。当前我国生态环境的承载力已到上限, 环境污染成为制约中国经济转型升级的瓶颈。如我国农业废弃物大部分被当作垃圾丢弃或被排放, 而且每

年的增长率为 5%~10%, 是世界上排放农业废弃物的大国, 造成生态环境的污染和可利用资源的浪费^[1]。中药废弃物在农业废弃物中占很大比重, 尤其是中药在加工制造过程中产生的废渣、废水和废气更是造成中药资源产业化过程中废弃物的负外部性效应。经济转型升级需要对这种负外部性进行治理。段金廛教授^[2]指出, 中药废弃物是指那些在中药生产加工过程中未被利用的废弃组织器官、未被

收稿日期: 2015-02-25

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划项目 (2010BAI04B 03); 江苏高校中药资源产业化过程协同创新中心建设专项 (2013); 江苏省“333 高层次人才培养工程”第一层次培养对象资助项目 (2013); 江苏省高校自然科学研究面上项目 (13KJD110002); 江苏生物医药产业资源最优配置策略研究

作者简介: 袁盼 (1990—), 女, 江苏兴化人, 硕士研究生, 主要研究方向为中药资源学等。Tel: 15996257101 E-mail: ypnnet12345@163.com

***通信作者** 申俊龙, 男, 博士, 教授, 硕士生导师, 主要研究方向为中药资源学等。Tel: (025)85811116 E-mail: jlshen2005@126.com

申远, 男, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事数学及计算数学研究等。Tel: (025)85811116 E-mail: sjlnet12345@126.com

利用的可利用物质以及中药废气、废渣、废液等；而废弃物资源化指采用适宜的方法或技术回收利用废弃物，从废弃物中开发可利用的资源性产品。本文将围绕中药资源产业化过程中产生的中药废弃物开展资源化利用研究，将中药资源产业化中的废弃物转变为可用资源或可再生资源，解决中药废弃物产生的负外部性问题，推动该行业形成节约资源、循环利用、保护生态环境、发展绿色产业的良好局面^[3]。

1 中药工业化与环境承载能力分析

随着科学技术的发展以及经济社会发展的需要，我国中药产业已经从传统手工作坊式生产发展到当前大规模的工业化生产，成为我国医药产业的重要组成部分。据中国中药协会会长、国家中医药管理局原副局长房书亭表示，2012年我国中药工业总产值超过了医药工业总产值的1/4。据《中医药事业发展“十二五”规划》预测，在“十二五”期间，我国中药工业每年的增长速度将保持在12%以上，到2015年预计中药工业总产值将超过5590亿元。可见，中药产业已经从传统产业走向现代工业，成为了我国快速增长的朝阳产业。

然而，工业化发展的同时必须充分考虑环境承载能力。中药制药企业在产业化过程中必须消耗中药资源性原料，在加工和生产中必然会排放一些废弃物，包括废皮、废枝、废花等中药加工残余物及生产中的废气、废渣、废液、噪声等。中药企业将这些废弃物未经无害化处理就直接排放到环境中，对空气、土壤、水以及农、林质量造成了严重污染，形成了环境的承载压力。当前，中药资源产业化过程中废弃物的排放，压力不断增加，导致资源的过度消耗以及生态环境的污染，造成了较严重的负外部性问题。这种负外部性是由于市场失灵引起的，表明资源并未达到有效配置，因此需要运用政策机制来调整，例如可运用英国经济学家庇古提出的以内部化解决外部性问题的“庇古税”以及美国经济学家科斯提出的以界定产权解决外部性问题的“科斯手段”等来治理这些负外部性问题。

2 利用循环经济促进中药废弃物资源化的循环模式

解决环境污染最优的方法是利用循环经济转废为宝，形成产业链、生态化生产。借鉴国际成功经验，可根据各地区情况选择采用。

2.1 小循环模式与循环经济机制的环境生态效应

将经测量投资“三废”的费用补贴给企业进行

内部化运营，运用小循环模式与机制，保护生态环境。仿照杜邦公司模式和美国Acushnet公司模式。杜邦公司把循环经济理念运用到化学工业上，创造性地将3R原则发展为“3R制造法”。生产过程中，公司放弃某些对环境有害的化学物质的投入、尽量减少一些化学物质的使用量、发明回收本公司废弃物再利用的新技术。到1994年，杜邦公司减少排放25%的生产所致的塑料废弃物和70%的空气污染物。同时，还从废塑料中回收化学物质，开发出耐用的乙烯等新材料。

我国可以在大型中药制药企业进行试点，政府通过减税或补贴的方式鼓励企业将外部性问题内部化，建立循环型企业模式这种小循环模式与机制，贯彻清洁生产的理念以及“低消耗、低排放、高效率”的制造原则，实现企业内部间的物料循环，将污染控制在生产过程中，最大限度地利用可再生资源，达到减少排放甚至零排放的环境保护目的^[3-4]。如中药废渣可以制成生物肥料、生物质碳（吸附土壤中的镉、铅等重金属，改良土壤）或提取废渣中其他化学成分等，不仅减少了可再生资源的浪费，更保护了生态环境。

2.2 中循环模式与循环经济机制的环境生态效应

建立国家中药资源利用区域示范工程，循环利用资源和“三废”，运用中循环模式与机制，保护生态环境。参照卡伦堡模式，丹麦卡伦堡生态工业园是目前世界上生态系统运行的典型代表。园区内由炼油厂、发电厂、制药厂、石膏板厂四大核心厂以及其他小型企业组成，各企业间通过贸易的方式利用生产过程中产生的副产品和废弃物，进行物质和能量的交换与循环，减少了废弃物的排放和处理费用，不仅使经济效益得到了显著提升，也使得生态环境得到了大大的改善。据统计，制药厂的废水经过处理后，每年可有 $9 \times 10^5 \text{ m}^3$ 转化为淡水，炼油厂用水量减少 $1.2 \times 10^6 \text{ m}^3$ ；炼油厂将排空火焰气转供给电厂使用，电厂每年可减少煤使用量 $3 \times 10^4 \text{ t}$ ，油使用量 $1.9 \times 10^5 \text{ t}$ ；将制药厂的有机残渣转化成有机肥料，不再填埋；煤和油被逐渐代替，减少了二氧化硫和二氧化碳的排放，减轻了大气污染^[5]。

政府应大力支持中医药事业的发展，运用政策机制鼓励建立现代中医药生态产业园区，按照循环经济理论和生态工业学原理，模仿自然生态系统的模式，建立类似于“食物链”的产业链，改变传统的“资源-产品-废弃物”的单向流动的直线经济模

式,将园区内各企业间的剩余物质相互交换,也就是将一个企业的废弃物投入到另一个企业中作为原料进行生产,实现企业相互依存,物质闭路循环,能量多级利用,最终实现资源有效利用最大化和废弃物排放量最小化,使得在发展经济的同时,保护了生态环境^[6]。例如,将中药 GAP 种植基地、中药饮片加工企业、中药制药企业、有机肥制造企业等进行一体化设计。将中药种植和饮片加工过程中产生的废弃物运给中药制药厂处理利用,将制药企业产生的废渣运给有机肥制造厂处理成有机肥,供给中药种植基地使用。这样使中药资源得到循环利用,提高中药资源的利用效率,使整个生态产业园作为一个整体参与循环经济。

2.3 大循环模式与循环经济机制的环境生态效应

政府组织成立中药资源统一回收系统和加工处理机构,运用大循环模式与机制,保护生态环境,可以德国的公共回收系统和包装物二元回收体系(duales system deutschland)为参照。德国人将可回收利用的垃圾分类放于2桶一袋(蓝色桶、棕色桶、黄色大袋)中,可回收利用的纸类放于蓝色桶,可降解的生物垃圾(有机物)放于棕色桶,印有回收标志的各类包装放于黄色大袋中;而不可回收利用的垃圾放于黑色桶;此外,还有专门的回收箱和回收站用来回收罐头、玻璃制品、废电池和旧家具。德国通过公共回收系统,实现了对垃圾的分类回收和有效利用,使资源得到了再生循环。德国的包装物二元回收体系简称DSD,又被称为绿点公司,是一个非盈利性的社会中介组织,负责德国范围内包装废弃物的搜集、运输、分类、处理,促进了德国包装废弃物的回收再利用^[7]。

政府支持建设废弃物再利用的回收资源公司,建成大循环模式与机制,并利用法律法规进行约束,保证资源的分类回收和分类处置等工作顺利开展。由于中药资源废弃物链比较长,可针对中药材种植、养护、采集、粗加工过程中的一些废枝、废叶、花果及碎屑等进行回收处理,在全国范围内建立“动、静脉回收系统”,通过静脉系统充分回收中药资源废弃物进入动脉系统再利用创造出新的价值,确保可再生资源得到充分有效的利用,促进中药资源废弃物回收利用产业化,建立循环经济产业链,平衡经济发展与生态环境之间的矛盾。

3 生态效应视角下中药废弃物资源化的技术与选择

在药材采收加工过程中,往往只选择某一或者

某些部分用于药用,其余传统的“非药用部位”则被废弃,此外还会产生很多废气、废液、废渣等^[8-9]。例如,当归只用了根部,地上的茎叶部分被废弃;白芍在加工过程中会舍去须根、根头、根皮等,产生废弃组织器官;甘草提取甘草酸类物质后,其余被废弃,这是中药资源性产品制造过程中形成的废渣。据统计,我国中药行业平均一年消耗植物类药材约 7×10^5 t,而由此产生的药渣数量高达约百万吨^[10]。这不仅造成了中药资源的浪费,更对生态环境产生了影响。因此必须采取适宜技术将中药废弃物进行资源化处理,使其转化为可利用的或可再生的资源,提高资源的利用率,延伸中药资源产业链。从而实现资源节约型、环境友好型的循环经济发展理念,促进我国中药资源及其产业化事业的健康可持续发展^[11]。

3.1 组织结构破碎技术促进中药废弃物的资源化转化

由于植物类中药固态废弃物的组织结构主要由纤维素类物质构成,形成了比较稳定的网状结构,富含的资源性物质难以被有效充分利用。因此,首先需要对中药固态废弃物进行预处理,可采用蒸汽爆破、机械粉碎、辐射法、微波、超声波等物理技术,破碎其组织结构;采用酸水解、碱水解、臭氧分解、离子液处理等化学技术,破坏纤维素的晶体结构;采用真菌、酶类等生物处理技术降解纤维素和木质素;亦可将上述几种破碎技术进行联合使用^[12]。可采用生化技术将中药固态废弃物转化为各类糖类物质,这种糖化技术破坏了晶体的组织结构,降解了纤维素类物质,使中药废弃物可作为生产燃料、化学品、聚合物等各类资源性产品的原料。江苏宝应地区盛产莲藕,该地区进行藕制品深加工的企业达60多家,截止到2013年底,其藕制品的年出口量超过 5×10^4 t。而生产藕制品的过程中会产生大量的莲藕残渣,仅少部分被用作饲料,大部分莲藕残渣则被废弃,造成了资源的浪费。蔡宝玉等^[13]经研究发现,可采用组织结构破碎技术,降解莲藕残渣中半纤维素和木质素,破坏其结晶度,获得膳食纤维资源。以上说明该技术将有利于中药废弃物资源化处理,降低这类废弃物对生态环境造成的污染。

3.2 生物质能开发技术促进中药废弃物的资源化转化

从生态资源可持续发展的角度看,中药废弃物是洁净的、可再生能源资源,因此实现中药废弃物向生

物质能源的转化成为中药资源产业化中废弃物资源化利用和产业链形成的重要途径。可采用固化、压缩成型等物理技术,将中药资源采收加工过程中产生的废弃茎叶、废渣等直接作为燃料;采用厌氧发酵等生化技术,将中药固态废弃物中的有机原料在细菌的作用下转化为沼气、乙醇等能源物质;采用热化学转化技术,可将固态废弃物转化为洁净的固体、液体以及气体燃料,如对丹参在产业化加工过程中产生的废渣进行催化热解,可制得生物油^[14-15]。山东百川同创能源有限公司利用生物质热化学反应机制,将药渣转化为可燃气,制取高品质蒸汽,转化为燃气发电,回用于企业生产过程,实现了清洁能源的高效转化。不仅变废为宝,而且可以解决燃料短缺问题,提供了清洁能源,成为生物质能开发的重要来源。截止到2014年8月,山东百川已在全国13省市建设400多处生物质燃气示范工程。

3.3 发酵技术促进中药废弃物的资源化转化

中药废弃物中含有大量的大分子有机物如蛋白质、纤维素等,利用发酵技术可获得多种高附加值产品。如采用堆肥技术时,中药废弃物在微生物的作用下,可发酵出生物有机肥料,有益于改善土壤结构;采用发酵技术还可将中药废弃物转化为蛋白饲料,有益于家禽、家畜、鱼类等的生长;还可将中药废弃物通过发酵进行基质化,作为食用菌、树苗等的栽培基质^[16-18]。目前,发酵技术对于促进中药废弃物转化为有机肥的研究已经有了示范工程项目,由广东一力制药集团开发的“中药提取废弃物环保处理循环经济项目”,被列为国家“十二五”规划重点示范项目。该项目采用高温发酵技术,将中药废弃物转化为有机肥,回用于中药种植基地,每年可将 1.5×10^5 t的中药废弃物资源化为等量的有机肥基质,形成了中药种植-中药提取-有机肥制造的绿色循环经济产业链。

3.4 提取与富集技术促进中药废弃物的资源化转化

中药废弃物的资源性物质主要有黄酮类、多糖类、生物碱类、苷及其苷类等,因此可以利用提取与富集技术对其进行回收利用,对于保护生态环境有着重大的意义^[19]。对于一些中药固态废弃物而言,可通过固-液相平衡的提取分离、色谱分离富集等技术对废渣进行回收利用,如从丹参废渣中可提取富集出丹参酮II_A;对于中药液体废弃物而言,可通过吸附、膜过滤以及生物处理等技术对废液进行回收利用,不仅循环利用了水资源,更提取富集出

了蛋白质、多糖类等成分;对于中药气态废弃物而言,可通过冷凝、吸附富集、生物净化等技术对废气进行回收利用,如藿香、薄荷等芳香类资源性物质在加工过程中易挥发,可利用富集技术对其进行回收利用^[20-21]。目前,利用提取与富集技术促进中药废弃物的资源化转化已经有成熟的案例。葛根为安康市的优势资源,葛根素的需求量很大,因此在生产葛根素过程中会产生大量废液,而废液中含有具有药用价值的异黄酮类成分,这就造成了安康市优势资源的浪费。安康市志朗生物资源应用研究所通过水提、膜分离技术从葛根废弃物中富集到了异黄酮类成分大豆苷元,可用于药品和保健食品的开发,延伸了安康市葛根产业发展的链条,促进优势资源的循环利用。

4 结语

中药资源产业化过程中废弃物的外部性问题比较明显,但是由于中药资源的产业链比较长,相比较其他产业而言,在中药产业领域更适宜采用循环经济模式,解决中药废弃物外部性问题,将中药废弃物转化为可利用或可再生资源。中药资源是我国的优势资源,其在栽培、鉴定、炮制等方面具有独特的优势技术,将中药废弃物资源化,不仅有利于中药资源的可持续发展,保护生态环境,更有利于充分发挥中药这一优势资源特色发展我国中医药事业,促进我国经济可持续发展。

参考文献

- [1] 吴群. 农业废弃物资源化利用的现实意义与对策建议[J]. 现代经济探讨, 2013(10): 50-52.
- [2] 段金彪, 宿树兰, 郭盛, 等. 中药资源产业化过程废弃物的产生及其利用策略与资源化模式[J]. 中草药, 2013, 44(20): 2787-2797.
- [3] 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.
- [4] 潘冬, 刘东皇, 仝群旺. 我国工业企业循环经济发展路径选择[J]. 兰州学刊, 2014(10): 163-166.
- [5] 刘亮. 发达国家循环经济模式借鉴及我国循环经济模式设计[D]. 长春: 东北师范大学, 2008.
- [6] 迟兴运. 区域循环经济模式及稳定性研究[D]. 济南: 山东大学, 2009.
- [7] 张静波. 基于循环经济的工业废弃物资源化模式研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2007.
- [8] 施建勇. 中药产业经济与发展[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2002.
- [9] 袁盼, 申俊龙. 道地中药材价格波动的成因与优化

- 策略 [J]. 中草药, 2014, 45(23): 3503-3508.
- [10] 中药提取废弃物可被循环环保处理 [J]. 中医药导报, 2012, 18(5): 119.
- [11] 段金廛, 宿树兰, 郭 盛, 等. 中药废弃物的转化增效资源化模式及其研究与实践 [J]. 中国中药杂志, 2013, 40(23): 3991-3996.
- [12] Pang F, Xue S L, Yu S S, *et al.* Effects of combination of steam explosion and microwave irradiation (SE-MI) pretreatment on enzymatic hydrolysis, sugar yields and structural properties of corn stover [J]. *Ind Crops Prod*, 2013, 42: 402-408.
- [13] 蔡宝玉, 王 雷, 陶冠军, 等. 莲藕残渣中纤维素的制备工艺 [J]. 食品工业, 2004(3): 14-15.
- [14] 付 鹏. 生物质热解气化气相产物释放特性和焦结构演化行为研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2010.
- [15] 王 攀, 展思辉, 于宏兵, 等. 废弃中药渣催化热解制取生物油的研究 [J]. 环境污染与防治, 2010, 32(5): 14-19.
- [16] 汪建飞, 于群英, 陈世勇, 等. 农业固体有机废弃物的环境危害及堆肥化技术展望 [J]. 安徽农业科学, 2006, 34(18): 4720-4722.
- [17] 黄小光, 邱哲师. 中药渣作为饲料添加剂的应用 [J]. 广东饲料, 2007, 16(6): 32-33.
- [18] 吴焱鑫, 冀彦锡, 任 昂. 中药渣栽培食 (药) 用真菌研究的概述 [J]. 中国食用菌, 2011, 30(4): 3-6.
- [19] 段金廛. 中药废弃物的资源化利用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2013.
- [20] 石 岭, 洪 皓, 张 雁, 等. 丹参药渣中丹参酮 II_A 的分离纯化 [J]. 大连工业大学学报, 2010, 29(2): 106-108.
- [21] 陈士林. 中药资源可持续利用导论 [M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2006.