

农业废弃物制备活性炭的资源化利用研究

陶德波

四川省工业环境监测研究院

DOI:10.12238/eep.v8i7.2763

[摘要] 农业废弃物资源化利用是改善农业环境、发展循环经济、实现农业可持续健康发展的有效途径。本文从活性炭制备的理论基础与反应机理出发,系统分析了物理活化与化学活化两种主要工艺的技术原理与结构调控机制,探讨了农业废弃物收集、运输、处理体系的构建及制备工艺的产业化路径设计,提出了区域循环经济模式与绿色低碳发展策略,并论述了政策支持、技术推广与市场化机制的协同作用。研究表明,构建以技术创新、产业协同与政策驱动为核心的系统化资源化利用体系,是实现农业废弃物高值化转化与生态经济融合发展的关键路径。

[关键词] 农业废弃物; 制备活性炭; 资源化利用

中图分类号: F062.1 **文献标识码:** A

Research on the Resource Utilization of Activated Carbon Prepared from Agricultural Waste

Debo Tao

Sichuan Institute of Industrial Environmental Monitoring

[Abstract] The resource utilization of agricultural waste is an effective way to improve the agricultural environment, develop a circular economy, and achieve sustainable and healthy agricultural development. Starting from the theoretical basis and reaction mechanism of activated carbon preparation, this paper systematically analyzes the technical principles and structural regulation mechanisms of the two main processes of physical activation and chemical activation, discusses the construction of the collection, transportation and treatment system of agricultural and forestry waste and the industrialization path design of the preparation process, and proposes a regional circular economy model and green and low-carbon development strategy. It also discusses the synergistic effects of policy support, technology promotion and market-oriented mechanisms. Research shows that building a systematic resource utilization system centered on technological innovation, industrial collaboration and policy-driven development is the key path to achieving the high-value conversion of agricultural waste and the integrated development of ecological economy.

[Key words] Agricultural waste; Prepare activated carbon; Resource utilization

引言

农业废弃物指农业生产产生的一种非产品废弃物,作为一种特殊形态的可利用资源,大多具有养分低、体积大的特点。随着我国现代种植业规模化的快速发展,农业废弃物产量急剧上升,高达40多亿t,造成的面源污染已经威胁到国家环境安全,引起社会广泛关注。传统的农业废弃物再利用方式只是对这些废弃物进行简单的利用,如秸秆用作有机肥、燃料、饲料等;畜禽粪便当作肥料等。利用粗放低效,技术落后,产业化水平滞后,且对农业环境造成严重污染。近年来,我国农业废弃物的资源化利用技术取得了一些进展,但面对产量如此巨大的废弃物,依然需要探寻高效、高值、科学的资源化利用新途径。为此,有必要从理论机理、工艺优化、产业体系与政策支持等多维角度系统

研究农业废弃物制备活性炭的资源化路径,建立技术先进、经济高效与生态友好的绿色循环体系,为农业绿色转型与碳中和战略提供科学依据。

1 活性炭制备的理论基础与反应机理

活性炭的制备过程本质上是以含碳有机原料在特定热解与活化条件下发生碳化反应与孔结构发育的物理化学转化过程,其理论基础主要包括热化学反应动力学、气固界面传质机制与孔结构形成机理三方面。农业废弃物作为生物质碳源,其主要成分为纤维素、半纤维素与木质素,在高温无氧或限氧环境下经历脱水、裂解与缩聚反应,形成含碳骨架的初级炭结构。碳化阶段中,原料经热解生成挥发性有机物与固态炭质残渣,分子结构由线性链状向芳香化环状结构转变,碳氢比逐渐升高,形成具有不

完全结晶特征的无定形碳基材料。活化阶段通过物理气体(如水蒸气、二氧化碳)或化学活化剂(如氢氧化钾、氯化锌、磷酸)与炭质反应,促使碳骨架发生氧化蚀刻与结构重排,形成发达的微孔与中孔体系。活化反应属于固气界面非均相反应过程,其速率受温度、气氛组成、时间及活化剂浓度影响,伴随有碳氧反应、碳氢化与官能团重构等多重反应机制。孔结构的生成遵循“碳骨架氧化—气体逸出一孔隙扩展”三阶段规律,孔径分布受原料微观组织与活化温度的协同调控。随着温度升高与活化深入,活性炭比表面积显著提升,表面含氧官能团(羧基、羟基、羰基)逐步形成,增强其表面吸附性与化学反应活性。该理论体系揭示了农业废弃物制备活性炭过程中热解动力学与孔结构演化的内在机理,为工艺参数优化、活化剂选择与产品性能控制提供了坚实的理论支撑。

2 农业废弃物制备活性炭的主要工艺路线

2.1 物理活化法

物理活化法是农业废弃物制备活性炭过程中最具代表性的传统工艺,其基本原理是利用高温热处理和气体氧化反应促进原料碳质结构的重组和孔隙结构的形成。该方法一般分为碳化和活化两个阶段,碳化阶段在无氧或惰性气氛条件下进行,通过对农业废弃物如秸秆、稻壳、果壳、玉米芯等的高温热解,使其中的纤维素、半纤维素和木质素等有机成分发生脱水、裂解和缩聚反应,形成含碳量高、结构不完全有序的碳骨架材料。在活化阶段,通过引入水蒸气或二氧化碳等氧化性气体,在800至1000摄氏度的高温条件下与碳化产物表面发生气化反应,使部分碳原子被氧化生成气态产物,从而形成发达的微孔和中孔结构。水蒸气活化以吸热反应为主,其反应速率快、孔隙发育充分,可获得比表面积大且孔径分布合理的活性炭;二氧化碳活化则反应缓慢、氧化均匀,适合制备孔径稳定、强度高的活性炭材料。物理活化法的优点在于活化剂无残留、产品纯度高、环境污染小,尤其适合大规模连续化生产。其关键控制参数包括活化温度、气体流速、反应时间及原料粒径等,其中温度过高会导致孔隙坍塌、比表面积下降,而温度过低则孔隙发育不充分。为实现能效优化与过程稳定,现代物理活化工艺常采用多段炉结构与自动化控制系统,通过调节温度梯度和气体比例实现孔径可控。与此同时,可将碳化阶段产生的可燃气体作为热源循环利用,提高整体能源利用效率。通过对活化动力学与孔结构演化机理的精细控制,物理活化法能够制备出具有高比表面积、结构稳定性强和吸附性能优异的活性炭,为农业废弃物资源化利用提供了可靠的技术支撑。

2.2 化学活化法

化学活化法是一种以化学试剂促进农业废弃物碳化与孔隙结构生成的热化学反应过程,其本质机理是活化剂在加热条件下对炭质骨架产生脱水、膨胀、氧化与蚀刻作用,进而实现孔隙的形成与结构重构。该方法通常将农业废弃物粉碎后与活化剂充分混合或浸渍,干燥后在惰性气氛下于400至800摄氏度条件下进行热处理。常用的活化剂包括氯化锌、磷酸、氢氧化钾、氢

氧化钠等,其中氯化锌通过促进原料脱水与阻止焦化反应形成发达的中孔结构;磷酸可促进原料分子间的交联与缩聚反应,使碳骨架形成稳定的多孔网络;氢氧化钾与碳反应时生成的气态产物可对碳骨架进行强烈腐蚀与刻蚀,从而产生大量微孔并显著提高比表面积。化学活化法的最大优势在于活化温度低、活化时间短、孔隙分布可控且产物比表面积大,其比表面积可达2000平方米每克以上,尤其适用于制备高性能吸附材料。该方法的工艺参数主要包括活化剂种类、浸渍比、升温速率、保温时间及洗涤方式,活化剂浓度的增加可显著促进孔隙发育,但过量使用可能导致碳骨架塌陷或孔道堵塞。为降低化学活化带来的环境压力,现代化学活化工艺多采用循环利用体系,将洗涤液中的活化剂通过化学沉淀或电解回收后再利用,从而实现资源闭环与绿色生产。化学活化法制备的活性炭不仅孔径分布可调,而且表面官能团种类丰富,具有优异的吸附、催化和电学特性,广泛应用于废水净化、空气治理、能源存储及土壤改良等领域。该方法的应用有效推动了农业废弃物向高附加值功能材料的转化,是农业碳资源利用体系中最具发展潜力的核心技术路径之一。

3 农业废弃物制备活性炭的资源化利用模式

3.1 农业废弃物收集、运输与集中处理体系构建

农业废弃物收集、运输与集中处理体系的构建是农业废弃物制备活性炭资源化利用的基础环节,其核心在于实现原料来源的稳定化、运输流程的规范化与处理体系的集约化。农业生产过程中产生的大量秸秆、稻壳、玉米芯、果壳及林业修剪残枝等具有分布广、体积大、季节性强的特征,若缺乏科学的收储体系,极易造成资源浪费与环境污染。体系构建应以区域化规划为原则,建立“农户收集—乡镇集中—园区处理”的多级联动机制,通过农机设备化收集、压缩打包与分类堆放实现废弃物的高效集约。运输环节可采用模块化集装箱运输与密闭车辆调度模式,结合信息化管理平台实现动态调度与能耗优化。在集中处理环节,应建立具备破碎、干燥、碳化预处理等功能的一体化处理中心,配置烟气收集、余热回收与除尘净化系统,确保原料加工的环境友好与能源高效。为保障体系长期运行,可通过建立原料收购价格补贴机制与农户参与激励机制,构建以企业主导、政府引导、农户参与的多元化合作体系。该体系的完善不仅实现农业废弃物的减量化与无害化处理,还为活性炭制备提供稳定原料基础,促进农业产业链延伸与生态经济的可持续发展。

3.2 制备工艺与产品应用的产业化路径设计

农业废弃物制备活性炭的产业化路径设计应以清洁生产、工艺优化与产品多元化为核心导向,形成从原料处理、炭化活化到产品精制与应用开发的系统化产业链。工艺设计需根据不同原料特性选择最优活化技术路线,如高纤维素原料采用化学活化法以形成均匀微孔结构,高木质素原料则宜采用物理活化法以增强碳骨架稳定性。产业化生产中应采用连续化碳化炉与可控气氛活化炉,实现温度分区控制与自动进料系统,保障产品孔径分布与比表面积的稳定性。为提升能效水平,可构建余热利用

系统,将碳化与活化过程产生的热能用于原料干燥与蒸汽供给,形成能源循环利用模式。产品精制环节通过表面改性、化学浸渍与热处理等手段实现功能化拓展,生产适用于水处理、空气净化、电化学储能及土壤改良等领域的专用型活性炭。产业化路径设计还需建立质量检测与标准化体系,确保产品性能与国家标准相匹配。在产业链延伸层面,可形成“原料收储—碳化生产—功能加工—终端应用”的循环经济结构,通过企业集群化布局与区域协同创新推动农业废弃物活性炭产业向绿色化、智能化和规模化方向发展。

3.3 区域循环经济模式与绿色低碳发展策略

区域循环经济模式与绿色低碳发展策略的构建是农业废弃物制备活性炭实现生态与经济双重效益的重要途径。该模式以“资源—能源—环境”耦合理念为基础,通过构建农业生产、废弃物处理与工业利用的闭环系统,实现资源的高效转化与多级利用。农业废弃物经碳化活化转化为高附加值活性炭产品,其副产物如生物油与合成气可进一步用于热能供应与化工原料生产,形成多能互补的循环体系。该模式强调区域内产业链协同布局,将农业基地、活性炭制造企业与环保材料应用企业有机整合,推动原料—能源—产品一体化发展。绿色低碳发展策略以减排增效为核心,通过优化能源结构、推广清洁燃料与引入碳捕集技术,降低生产全过程的碳排放强度;同时利用生命周期评价方法对产品全链条能耗与碳足迹进行监测,实现过程优化与动态调控。政策层面应鼓励区域内建立生态产业园区与资源循环利用示范区,以财政补贴、绿色信贷与碳交易等机制促进绿色产业集群发展,从而实现农业废弃物资源化利用、能源自给与生态保护的协调统一。

3.4 政策支持、技术推广与市场化机制研究

政策支持、技术推广与市场化机制研究是推动农业废弃物制备活性炭产业可持续发展的制度保障与动力机制。政策层面应构建多层次支持体系,包括财政补贴、税收优惠、绿色信贷与科技创新基金等,以降低企业初期投资风险并引导资本流向资源化利用领域。政府应制定农业废弃物分类收储与资源化利用标准,建立原料回收、运输与处理的规范体系,并通过立法形式明确产业准入与环境排放标准。技术推广方面,应依托高校、科研院所与企业共建技术创新平台,推动活性炭制备工艺、设备集

成与产品应用的协同研发与成果转化。同时,应加强技术培训与示范推广,建立区域性技术服务中心,提升基层企业的技术应用能力与管理水平。市场化机制方面,应通过价格调节与市场引导机制,建立原料交易、碳排放权交易及活性炭产品定价体系,实现产业价值链的市场驱动与良性竞争。此外,应鼓励龙头企业与地方政府共建资源循环产业联盟,形成“政策引导—技术创新—市场驱动”三位一体的发展格局。通过政策、技术与市场的系统联动,可构建农业废弃物活性炭产业高效、规范、可持续的运行机制,实现生态效益、经济效益与社会效益的有机统一。

4 结语

农业废弃物制备活性炭的资源化利用不仅是农业废弃物减量化与无害化处理的重要手段,更是促进绿色低碳循环经济体系构建的关键环节。通过科学构建原料收集与集中处理体系,优化活化工艺与产业化路径,推动区域循环经济政策体系协同发展,可实现技术、经济与生态的多重效益统一。未来应进一步加强跨领域技术融合与产业链延伸,完善标准体系与政策激励机制,促进农业废弃物制备活性炭产业向智能化、规模化、清洁化方向发展,从而为农业可持续发展与生态文明建设提供长效支撑。

【参考文献】

- [1]刘章林.农业废弃物制备炭基产品降异质化策略及其对功能稳定性调控的研究[D].四川农业大学,2024.
- [2]赵斌.生物质活性炭的制备及其化学改性的应用研究[J].环境与发展,2024,36(02):93-102.
- [3]徐荣声,孟泽,冯倩,等.氯化锌—水蒸气协同活化玉米芯制活性炭的研究[J].无机盐工业,2023,55(12):119-127.
- [4]努热曼古丽·图尔荪,陈鹏宇,韦良焕,等.农业废弃物制活性炭的研究进展及展望[J].江西农业学报,2023,35(6):164-169.
- [5]岳焱行.基于青稞秸秆制备的活性炭及其在吸附降解的应用研究[D].西藏大学,2023.
- [6]李德强,李君,张玲.农业废弃物活性炭制备及其对染料废水的吸附研究进展[J].工业用水与废水,2018,49(03):1-5.

作者简介:

陶德波(1995--),男,汉族,本科,助理工程师,研究方向:环保(环境治理)。