

生活垃圾热解炭化产物的成分分析及其在土壤改良中的应用潜力

孙崧淘

(1. 山东诺泰环保科技有限公司, 山东 招远 265400;
2. 招远市汇潮新能源科技有限公司, 山东 招远 265400)

【摘要】本研究探讨了生活垃圾热解炭化技术及其产物在土壤改良中的应用潜力。热解炭化技术通过高温分解生活垃圾,生成稳定的炭化产物,减少了传统处理方法带来的环境污染。研究对炭化产物进行成分分析,结果显示产物富含碳、氮、磷、钾等元素,并含有有机酸和酚类化合物,这些成分可有效改善土壤结构,提高土壤肥力,并调节土壤pH值。不同垃圾成分在热解过程中生成的炭化产物在特性上存在差异,这为垃圾分类处理提供了新思路。尽管热解炭化产物在农业和环境领域展现出巨大潜力,但需进一步评估其长期使用的环境影响。

【关键词】热解炭化; 生活垃圾; 土壤改良; 资源化利用; 环境影响

引言:

随着全球城市化进程的加快,世界各地的城市人口迅速增加,生活垃圾的产量也随之急剧上升。根据世界银行的报告,全球每年产生的城市固体废弃物量已达20亿吨,预计到2050年这一数字将增加至34亿吨。这些垃圾的处理成为全球面临的严峻挑战,尤其是在发展中国家和新兴市场国家,由于基础设施不足和管理系统不完善,垃圾处理的问题更加突出。传统的垃圾处理方法如填埋和焚烧,尽管被广泛应用,但存在显著的环境问题。填埋场占用大量土地资源,且垃圾在填埋过程中会释放温室气体和污染地下水的有害渗滤液;焚烧虽能减少垃圾体积,但会产生有害气体和重金属残留,造成大气污染。随着环境保护意识的提高,人们逐渐认识到传统垃圾处理方法的弊端,迫切需要寻找更加环保和可持续的垃圾处理途径。

一、生活垃圾热解炭化技术概述

(一) 热解炭化的原理与工艺

热解炭化是一种将有机废弃物在无氧环境中、一定温度下进行热解,生成生物炭、气体和液体产物的过程。其核心原理是在脱氧或无氧环境中,通过热解作用将有机物质中的碳固定下来,释放出挥发性物质。具体来说,热解炭化过程可以分为三个主要阶段:首先是干燥阶段,垃圾中的水分被蒸发;其次是热解阶段,有机物质在200℃至300℃之间的高温下分解为挥发性气体和固体碳质物;最后是炭化阶段,在更高的温度下(如350℃至550℃),固体炭产物进一步转化为生物炭,同时释放出更多的挥发性物质。热解炭化工艺的实施方式

多种多样,常见的工艺包括固定床反应器、流化床反应器和旋转窑反应器等。不同的工艺设计影响热解过程的温度分布、反应时间以及最终产物的产量和质量。

(二) 影响热解炭化效果的因素

热解炭化效果受到多种因素的影响,其中垃圾成分、热解温度、时间和气氛是决定炭化产物性质的主要变量。生活垃圾的成分复杂多样,包含有机物和无机物。不同成分的热解行为差异显著。纤维素和木质素等生物质成分在热解过程中易于生成高碳含量的生物炭,而塑料和橡胶等成分则更倾向于生成挥发性气体和液体产物。垃圾成分的变化直接影响炭化产物的数量和质量。热解温度是影响炭化效果的最关键因素之一。更低温或不充分的热解会产生更多的液体产物和较少的生物炭,而充分或达到一定温度的热解则有助于提升生物炭的产量和碳含量。温度的升高也能促进有害气体分解,减少环境污染。但过高的温度可能导致生物炭的多孔结构破坏,从而降低其在土壤改良中的应用效果。热解时间也在一定程度上影响产物的分布。较长的热解时间有助于挥发性物质的完全释放,提高生物炭的碳含量,但可能会降低炭化效率。相反,过短的热解时间则可能导致炭化不完全,生成大量未分解的残渣。

二、热解炭化产物的成分分析

(一) 不同垃圾成分对炭化产物成分的影响

生活垃圾成分的多样性使得其热解炭化产物的化学组成和物理特性各异,不同类型的垃圾在热解过程中生成的产物具有明显差异。厨余垃圾主要由

有机物质，热解炭化后生成的产物通常具有较高的挥发性物质和较低的固定碳含量。由于厨余垃圾富含氮、磷等营养元素，这些元素在炭化过程中部分保留下来，使得产物在土壤改良中具有良好的肥效。厨余垃圾中的油脂类物质在高温条件下可能生成芳香烃类化合物，这些化合物对炭化产物的吸附性能和化学反应活性产生影响。塑料垃圾的热解则复杂得多。塑料垃圾主要由合成聚合物如聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯等组成。在热解过程中，塑料通常分解生成大量的液态和气态产物，而固态炭化产物的产量较低。这些炭化产物中可能残留部分未完全分解的聚合物链段，这会影响产物的物理化学性质。塑料垃圾中含有的添加剂，在热解过程中可能生成有害物质，这些物质的存在限制了炭化产物在土壤改良中的直接应用。

（二）热解炭化产物的元素组成

热解炭化产物的元素组成直接影响其在土壤改良和环境修复中的应用价值。炭化产物中主要元素包括碳、氮、磷、钾等，这些元素的含量和分布决定了产物的化学性质和环境行为。碳是炭化产物的主要成分，占到产物质量的50%以上，主要以石墨化碳和无定形碳形式存在。高温热解能增加石墨化碳的含量，使产物具有较高的化学惰性和热稳定性，在土壤中能够长期存在，改善土壤结构和持水能力。氮通常以氨基、吡啶氮、吡咯氮等形式存在，其含量和形态来源于垃圾中的蛋白质和含氮有机物。高含氮量的炭化产物具有较好的养分供应能力，能提升土壤肥力。然而，热解过程中氮的部分损失和复杂的氮形态可能影响其有效性。磷和钾分别以磷酸盐和碳酸钾或氧化钾形式存在，这些元素在炭化产物中具有缓释作用，能为植物提供长期稳定的养分。

（三）热解炭化产物的功能性成分

热解炭化产物中包含多种具有潜在应用价值的功能性成分，这些成分为其在土壤改良和环境修复中的独特功能提供了支撑。主要的功能性成分包括有机酸、酚类化合物、多环芳烃和活性炭成分等，它们对炭化产物的物理化学性质和应用效果产生重要影响。有机酸是热解过程中形成的功能性成分之一，如醋酸、甲酸、丙酸等。这些有机酸具备强螯合能力，能与土壤中的金属离子结合，形成稳定的螯合物，从而降低土壤中重金属的生物有效性，减少植物对有害金属的吸收。有机酸还能调节土壤pH值，改善土壤酸碱平衡，为植物生长创造更适宜的环境。酚类化合物在热解过程中也被生成，具有抗氧化和抗菌等多种生物活性。这些化合物能够抑制土壤中病原微生物的繁殖，减少植物病害。酚类化合物能与土壤腐殖质形成复合体，提升土壤的有机

质含量和保水能力。酚类化合物还能影响植物激素如乙烯和生长素的合成，促进植物生长和发育。

三、热解炭化产物在土壤改良中的应用潜力

（一）热解炭化产物的土壤改良机制

炭化产物由于其丰富的孔隙结构和较高的比表面积，能够显著改善土壤的物理结构。其微孔和中孔可以增加土壤的通气性和保水能力，促进土壤微生物的活性，从而提升土壤的肥力。炭化产物中的孔隙结构能够缓解土壤压实，增加土壤的团聚体结构，这对于保持土壤的结构稳定性和防止水土流失具有重要作用。炭化产物中的有机质含量是土壤改良的另一个关键因素。热解炭化过程中，生活垃圾中的有机物部分被转化为稳定的碳质物质，这些物质能够在土壤中长时间存在，不易被微生物降解。炭化产物可以作为长期有机质来源，持续为土壤提供有机碳，有助于提高土壤的有机质含量，促进土壤生物活性，提高土壤肥力和持水能力。在土壤pH值调节方面，炭化产物也具有一定的作用。由于热解过程中矿物质的保留和转化，炭化产物的pH值通常为中性到微碱性。

（二）热解炭化产物在不同土壤类型中的表现

热解炭化产物在不同类型的土壤中表现出不同的改良效果，主要由于其与土壤的物理化学性质和微生物群落的相互作用。对于砂质土壤而言，炭化产物由于其优异的持水和通气性能，可以有效提高砂质土壤的水分保留能力和结构稳定性。砂质土壤通常面临的问题是保水能力差和养分流失严重，施用炭化产物后，土壤中的孔隙度增加，水分和养分的保持能力增强，从而改善作物根系的生长环境，提升作物的抗旱能力。在黏土土壤中，热解炭化产物的施用能够改善土壤的通气性和透水性。黏土土壤由于其颗粒细小，常常容易板结，导致通气和排水不良。炭化产物的加入可以增加土壤颗粒间的空隙，提高土壤的渗透性和通气性，缓解土壤板结问题。炭化产物在黏土土壤中的应用还能促进土壤团聚体的形成，提升土壤的结构稳定性和抗侵蚀能力。对于有机质贫瘠的土壤，炭化产物的作用尤为显著。这类土壤缺乏必要的有机质，导致土壤肥力不足，作物生长缓慢。热解炭化产物中富含的稳定有机碳和营养元素能够持续为土壤提供养分，改善土壤的养分平衡和微生物活性。

（三）热解炭化产物对植物生长的影响

热解炭化产物在植物生长和农业生产中显示出多方面的积极影响，其关键在于改善土壤环境和提供持续的养分供应。研究表明，炭化产物能够显著促进作物的生长和提高产量。通过实验，科学家发现，施用炭化产物后，土壤的保水能力和通气性得到改善，促进了根系的生长和发育。更好的土壤环

境为作物提供了充足的水分和养分，增强了作物的抗旱能力和生长势，从而提高了作物的生长速度和产量。炭化产物中的营养元素以缓释形式存在，为植物提供长期稳定的养分供应。与传统化肥相比，炭化产物能够有效减少养分流失，提高肥料利用效率。这种缓释特性有助于减少施肥频率和用量，也减少了化肥使用对环境的负面影响。在重金属污染土壤中，热解炭化产物显示出降低重金属毒性的潜力。炭化产物的吸附性能和离子交换能力能够固定土壤中的重金属离子，减少它们的生物有效性，从而降低重金属对植物的毒性影响。这一特性对于受污染地区的土壤修复具有重要意义，不仅可以改善土壤质量，还能保护植物免受重金属的伤害，提高植物在污染土壤中的生长能力。

四、未来发展与展望

（一）热解炭化技术的优化

热解炭化技术作为一种新兴的废物处理和资源利用技术，仍然有很大的优化空间。当前，热解炭化技术的优化主要集中在提高产物的质量和产出率，以及降低能耗和操作成本。为了提高热解炭化效率，研究人员正在探索优化反应条件，包括反应温度、压力和时间等因素，以实现更高效的热解过程。优化这些参数，可以提高炭化产物的碳含量和稳定性，增强其在土壤改良和环境修复中的应用效果。另一项重要的优化方向是开发新型催化剂和反应器设计。催化剂的引入可以加速热解反应速率，提高产物选择性，减少焦油和气体的生成量，增强炭化产物的特性。新型反应器的设计，如流化床反应器和微波辅助热解设备，有助于实现更均匀的热分布和更高效能量利用，减少反应过程中热损失和副产物的产生。在工艺流程的集成与自动化方面，开发智能控制系统，以实现全过程的监控与调节，提升工艺的可控性和灵活性。

（二）热解炭化产物的多样化应用

随着对热解炭化产物性能的深入研究，其多样化应用前景逐渐显现。在土壤改良方面，炭化产物可以改善土壤结构、增加有机质和提升养分供应能力，广泛应用于农业和园艺中，促进作物生长和提高产量。炭化产物由于其吸附性强、孔隙率高，也被认为是一种理想的环境修复材料，能够有效吸附土壤和水体中的污染物，尤其是在重金属和有机污染治理中展现出潜力。在水处理领域，热解炭化产物作为活性炭的替代品，因其优异的吸附性能，被应用于废水处理和饮用水净化。炭化产物可以去除水中的有机污染物、重金属离子以及异味，改善水质。此外，热解炭化产物还可以作为一种成本效益高的过滤介质，用于工业和市政水处理设施中，提高水处理效率，降低运营成本。炭化产物在建筑材

料中的应用也受到关注。由于其耐火性和良好的绝缘性能，炭化产物可用作轻质隔热材料，应用于建筑物的隔热层和防火墙，提升建筑物的能源效率和安全性。在混凝土中添加炭化产物，能够提高材料的强度和耐久性，减少水泥的使用量，从而降低碳排放和生产成本。

结论：

热解炭化技术被证明是一种高效的垃圾处理方法。在不同温度和压力条件下对生活垃圾进行热解炭化，能够有效地将垃圾转化为稳定的炭化产物。这一技术不仅减少了垃圾体积，而且降低了传统垃圾处理方法如填埋和焚烧所带来的环境污染风险。研究深入探讨了热解炭化产物的成分特征及其分析方法。对炭化产物的化学组成进行了详细分析。结果显示，炭化产物富含碳、氮、磷、钾等元素，并具有一定数量的有机酸和酚类化合物，这些成分赋予其良好的土壤改良功能。尤其是在改良土壤结构、提高土壤肥力和调节土壤pH值方面，炭化产物展现出显著效果，能够有效促进作物生长和增加产量。不同垃圾成分对炭化产物性质的影响。通过对厨余垃圾、塑料不同垃圾成分的热解产物进行对比分析，发现不同成分的垃圾在热解过程中生成的炭化产物在结构和功能特性上存在差异。这些差异不仅影响炭化产物的物理化学特性，也对其在土壤中的应用效果产生影响。因此，在实际应用中，针对不同垃圾成分进行优化处理，是提高炭化产物质量的重要策略。

参考文献：

- [1]刘一秀，李文涛，王美净等.西安市生活垃圾全年物理特性研究[J].环境工程，2020(38): 221-224, 176.
- [2]李文涛，柴宝华，王美净等.不同生活垃圾组分热解炭化特性与热解焦傅里叶红外光谱表征[J].新能源进展，2020，1(8): 22-27.
- [3]刘高，钟辉.氢氧化铝沉淀法提锂的研究[J].盐业与化工，2011，40(2): 25-27.
- [4]刘高，钟辉.氢氧化铝沉淀法吸附提锂的研究[J].化工矿物与加工，2010，5: 17-20.
- [5]何争珍.氢氧化铝沉淀法提锂工艺研究[D].成都：成都理工大学，2012.
- [6]温俊明.城市生活垃圾热解特性试验研究及预测模型[D].杭州：浙江大学博士学位论文，2006.

作者简介：

孙崧淘（1986.10-），男，汉族，山东招远人，本科，中级社会工作师，研究方向：有机固废炭化应用，煤矸石气化炉渣热活化脱碳应用。