

土壤重金属污染的有效治理及其生态修复方法的研究

陈明洋, 周黎明

山东蓝城分析测试有限公司, 山东 济南 250100

DOI: 10.61369/SSSD.2025060025

摘 要 : 土壤重金属污染已成为全球性的环境问题, 对生态环境、农产品安全及人体健康构成严重威胁。基于此, 本文对土壤重金属污染的影响和土壤重金属污染的有效治理及其生态修复的策略进行了深入的探究, 旨在结合土壤改良措施, 如添加有机物料、调节土壤酸碱度等策略, 改善土壤理化性质, 为生态系统的恢复创造良好条件。

关 键 词 : 土壤重金属污染; 治理方法; 生态修复; 环境危害

Research on Effective Treatment and Ecological Restoration Methods of Soil Heavy Metal Pollution

Chen Mingyang, Zhou Liming

Shandong Lancheng Analysis and Testing Co., Ltd., Jinan, Shandong 250100

Abstract : Soil heavy metal pollution has become a global environmental problem, posing a serious threat to the ecological environment, agricultural product safety and human health. Based on this, this paper conducts an in-depth exploration of the impacts of soil heavy metal pollution, as well as effective treatment and ecological restoration strategies for it. It aims to combine soil improvement measures, such as adding organic materials and adjusting soil pH, to improve the physical and chemical properties of soil and create favorable conditions for the restoration of the ecosystem.

Keywords : soil heavy metal pollution; treatment methods; ecological restoration; environmental hazards

引言

土壤, 作为生态系统的基础组成部分, 承载着万物生息繁衍的重任, 是人类赖以生存和发展的宝贵资源。然而, 随着工业化进程的加速、城市化规模的扩张以及农业活动的强化, 土壤重金属污染问题日益凸显, 成为全球关注的重大环境挑战。重金属如铅、镉、汞、砷等, 凭借其持久性、隐蔽性和生物累积性, 在土壤中不断积聚, 不仅严重破坏了土壤的物理化学性质和生态结构, 导致土壤肥力下降、微生物群落失衡, 还通过食物链的传递和放大作用, 对农产品质量安全构成直接威胁, 进而危及人类健康, 引发诸如癌症、神经系统疾病等一系列严重病症。面对严峻的土壤重金属污染形势, 开展有效的治理与生态修复研究迫在眉睫。这不仅关乎土壤资源的可持续利用和生态环境的稳定平衡, 更是保障国家粮食安全、维护人民群众身体健康的必然要求^[1]。

一、土壤重金属污染的影响

(一) 对土壤生态系统的影响

土壤遭受重金属污染后, 其理化性质会发生改变, 进而对土壤微生物的群落构成与功能产生影响。重金属会阻碍土壤里微生物的生长及繁殖进程, 削弱土壤酶的活性, 最终干扰土壤的物质转化过程与能量循环体系^[2]。比如, 镉、汞这类重金属会使土壤中的脲酶、磷酸酶等活性大幅降低, 进而影响土壤中氮、磷等养分的转化与释放效率。重金属污染还会破坏土壤团聚体的结构, 使土壤的通气性和透水性变差, 阻碍植物根系的正常生长与发育。倘若土壤长期受到重金属污染, 土壤生态系统将会失衡, 生物多样性降低, 一些对重金属敏感的土壤生物种类会减少, 甚至彻底消失, 这无疑会影响土壤生态系统的稳定性及其功能的正常

发挥。

(二) 对农作物的影响

农作物根系能够吸收土壤中的重金属, 这些重金属会在植物体内进行迁移与积累, 从而对农作物的生长发育和品质产生不良影响。重金属会干扰植物正常的生理代谢活动, 像光合作用、呼吸作用以及水分代谢等都会受到影响^[3]。以镉为例, 它会抑制植物根系对水分和养分的吸收, 致使植物生长迟缓、植株矮小, 叶片出现发黄现象。当重金属在农作物可食用部位积累到一定程度时, 会降低农产品的品质, 使其无法达到食品安全标准。例如: 水稻吸收过量的镉后, 稻米中的镉含量就会超标, 这不仅会影响大米的口感和营养价值, 严重时还会对人体健康构成威胁。除此之外, 重金属污染还会使农作物更容易遭受病虫害的侵袭, 导致农作物的产量降低、质量变差^[4]。

（三）对人体健康的影响

人们食用了含有重金属污染的大米、蔬菜等农产品，会引发一定的疾病。例如：人们吃了过量的镉后，会导致肾功能障碍和骨质疏松，引发“痛痛病”；食用过量的铅后会影响神经系统、血液系统和消化系统的功能，从而出现智力发育迟缓、贫血等症状；食用过量的镉会出现记忆力减退、失眠、震颤等症状；食用过量的砷可能会导致一定的皮肤癌、肺癌等癌症的风险^[5]。

二、土壤重金属污染的有效治理及其生态修复的策略

（一）物理修复技术

1. 电动修复技术

电动修复技术基于电动力学原理开展工作。具体操作是在受污染的土壤两端施加直流电场，借助电场力，促使土壤里的重金属离子朝着电极的方向发生迁移。随后，通过收集电极周边区域的电解液，就能把重金属从土壤中分离出去。此技术尤其适用于渗透性较低、黏土占比相对较高的土壤类型。它的优势颇为明显，对土壤的扰动程度较小，能够实现原位修复，并且不会产生二次污染^[6]。

2. 客土法

客土法是将未被污染的土壤搬运到受污染的区域，然后将其覆盖在污染土壤的表面，或者与污染土壤进行混合处理，以此降低污染土壤中重金属的浓度。这种方法操作起来较为简便，修复效果也十分显著，比较适合用于小面积且污染程度较为严重的土壤修复工作。例如：在某一小型重金属污染场地的修复工程中，采用客土法，按照一定的比例将污染土壤和客土进行混合，有效地降低了土壤中重金属的含量。但由于客土的运输距离较远，导致整个修复工程的成本大幅攀升。

（二）化学修复技术

1. 稳定化/固化技术

稳定化/固化技术是向污染土壤中添加化学稳定剂或固化剂，以此来更好地将重金属转化为低溶解性、低迁移性和低生物有效性的形态，从而达到减少重金属的效果。例如：使用人员可在镉污染土壤中添加石灰，以此来提高土壤 pH 值，使镉离子形成氢氧化物沉淀，降低其在土壤中的活性；可在污染土壤加入如水泥、沥青等固化剂，并让其形成固化体，从而将重金属固定在其中^[7]。

2. 淋洗技术

淋洗技术是指用淋洗剂与土壤中的重金属发生化学反应，也就是将重金属从土壤颗粒表面吸附出来通过淋洗设备当中淋洗剂和有机酸（盐酸、硫酸、柠檬酸、EDTA）进行处理的工艺。例如：某地区在铜污染土壤修复中采用柠檬酸作为淋洗剂，从而更好地降低了土壤中铜的含量，去除了重金属的含量^[8]。

（三）生物修复技术

1. 植物修复技术

植物修复技术是指利用植物对重金属的吸收、积累、转化和固定等作用，来降低土壤中重金属含量或活性的一种修复方法^[9]。其中，植物提取是指利用超富集植物对重金属的超量吸收

特性，将土壤中的重金属吸收并积累在植物地上部分，以此来更好地去除土壤重金属。例如：蜈蚣草对砷具有很强的超富集能力，所以可以将其应用到土壤修复中。植物稳定是通过植物根系分泌物和根际微生物发生作用，从而使土壤中的重金属转化为稳定态，降低其生物有效性和迁移性；植物挥发是利用某些植物将土壤中的重金属转化为气态形式释放到大气中，以此来降低重金属含量。由此可见，植物修复技术具有成本低、环境友好、不破坏土壤结构等优点，但修复周期较长，受植物生长特性和环境条件影响较大。

2. 微生物修复技术

微生物修复技术是指使用土壤中的微生物对重金属进行吸附、转化和溶解，从而更好地改善土壤当中存在的毒性。其中，微生物不仅可以通过表面吸附、胞内积累等方式来吸附重金属，还能够通过分泌有机酸、酶等物质来改变土壤当中的 pH 值，以此来更好地使重金属进行转化和溶解。例如：一些细菌会将土壤当中的六价铬还原成三价铬，从而降低铬的毒性，保证农作物的生长。由此可见，微生物技术能够更好地调节土壤当中的元素，从而保证土壤的质量^[10]。

（四）联合修复技术

联合修复技术是指物理、化学和生物修复技术当中的几种进行融合，并发挥各自的优势，以此来提高土壤重金属污染修复效率。例子1：使用人员可将电动修复技术与植物修复技术进行融合，以此来将土壤深层的重金属迁移到土壤表层，去除表层土壤中的重金属，提高修复效率，缩短修复周期。例子2：使用人员可将化学稳定化技术与微生物修复技术进行融合，以此来更好地降低重金属的活性，改善土壤的环境，促进土壤生态系统的恢复。由此可见，联合修复技术不仅将不同种技术的优点进行更好地发挥，还能更好地解决土壤的问题，从而更好地提高土壤的利用效率。

三、土壤重金属污染生态修复的案例分析

（一）某重金属污染农田的植物修复案例

污染物镉和铅将我国南方某农田所污染，使农民的生产量有所减少。该地区在修复的过程中首先选择了对镉和铅具有较强富集能力的遏蓝菜和东南景天植物品种；其次将农田中添加了适量的有机肥和石灰来调节土壤 pH 值提高土壤肥力，从而为植物生长创造良好条件；再者，按照遏蓝菜和东南景天的种植密度来种植的同时，还进行灌溉、施肥、病虫害防治等田间管理。该地区五年之后将没有修复的田地与已经修复的田地进行比对，发现土壤中镉含量降低了30%左右，铅含量降低20%左右，遏蓝菜和东南景天等农作物当中的镉和铅的含量也明显下降，达到可食用的标准。由此可见，该地区通过植物修复的方式，不仅使农田的生态系统有了一定程度的恢复，还使土壤中的微生物活性得到了一定的增强，从而使农民可以更好地播种其他农作物。

（二）某矿山废弃地的生态重建案例

矿山由于长期的采矿活动使该地的土壤受到了一定的重金属

污染、植被受到了一定的破坏、生态环境受到了一定的影响。该地区针对该矿山废弃地的污染状况，首先通过平整土地、修筑梯田等措施对矿山废弃地的地貌进行重塑，从而更好地改善了地形，减少了水土的流失；其次，采用客土法和土壤改良相结合的方式在污染土壤中添加大量的客土、生物炭、有机肥等土壤改良剂，从而进一步降低了土壤当中的重金属活性，提高了土壤肥力；最后，在生态重建阶段，选择一些刺槐、紫花苜蓿等耐重金属的植物品种进行大面积种植。该地区通过这种“地貌重塑—土壤重构—生态重建”的综合修复技术体系，不仅能够提高矿山废弃地的植被覆盖率，还能够改善该地的生态环境，从而使周边水体和大气环境得到一定的保护，促进生态系统的重建。

四、结束语

土壤重金属污染的有效治理与生态修复是一项长期而艰巨的任务，关乎生态环境的稳定、农业的可持续发展以及人类的健康。随着研究的不断深入，在政府、科研机构、企业和社会各界的共同努力下，通过不断探索和实践，一定能够攻克土壤重金属污染治理与生态修复的技术难题，实现土壤生态环境的良性循环，为子孙后代创造一个绿色、健康、可持续的生存环境。

参考文献

[1] 廖飞, 傅开彬, 查威, 等. FeCl₃淋洗修复 Pb-Ni 复合污染土壤机制研究 [J]. 化工矿物与加工, 2024, 53(11): 38-44.

[2] 温学萍, 王昊, 任登成, 等. 套养蚯蚓对土壤重金属消解及鲜食番茄产量和品质的影响 [J]. 中国瓜菜, 2024, 37(12): 116-120.

[3] 黄玉峰, 史自军, 周嘉文, 等. 伴矿景天重金属吸收与土壤阳离子养分供应的关系——基于中国南方地区土壤大样本的盆栽试验 [J]. 土壤, 2024, 56(05): 1067-1076.

[4] 陈莲, 王雨茜, 林森, 等. 桑树根系分泌物对 Cd 胁迫的响应及其对 Cd 污染土壤的修复 [C]// 中国蚕学会. 中国蚕学会 2024 年学术年会论文集. 广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所; 农业农村部华南都市农业重点实验室; 2024: 118-119.

[5] 刘春红, 张亮, 贾学桦, 等. 我国土壤重金属污染环境风险评价方法及防治措施探讨 [J]. 环境影响评价, 2024, 46(06): 1-5+14.

[6] 林星杰, 张鸽, 苗雨, 等. 草木灰对矿区重金属复合污染土壤的修复效果研究 [J]. 环境影响评价, 2024, 46(06): 15-20.

[7] 赵奕乔, 刘嫦娥, 段昌群, 等. 蚯蚓-微生物互作调控重金属污染土壤生态系统研究进展 [J]. 环境污染与防治, 2024, 46(11): 1679-1687.

[8] 李睿, 卢杰, 许文燕, 等. ICP-MS 技术在土壤重金属污染研究中的应用现状及未来发展趋势 [J]. 现代农业研究, 2024, 30(11): 46-51.

[9] 廖用开, 钟雅琪, 沈悦, 等. 核壳结构 FeO@Fe₃O₄ 复合材料活化过硫酸盐降解土壤中华 [J]. 环境科学学报, 2025, 45(02): 239-249.

[10] 娄明坤, 解祯. 煤矸石对重金属污染土壤修复及潜在生态风险评价 [J]. 山西化工, 2024, 44(10): 269-270+282.