

Exploration of the Coordinated Development Model of Soil Pollution Control and Ecological Restoration

Die Li Jinglei Lu

Ningbo Yuanda Testing Technology Co., Ltd., Ningbo, Zhejiang, 315100, China

Abstract

This study focuses on the synergistic development model of soil pollution remediation and ecological restoration, exploring its core mechanisms, technical pathways, and safeguard systems to provide theoretical and practical support for soil ecological improvement. The core mechanisms include three categories: coupled driving, feedback regulation, and long-term maintenance, which are reinforced through multidimensional coupling, multi-dimensional feedback control, and ecological stability assurance. The technical pathways establish a "core-support-safeguard" technological system, formulating differentiated approaches for different types of contaminated soils and clarifying optimization directions for low-cost and intelligent technologies. The safeguard system encompasses four aspects: policy and regulations, economic investment, scientific and technological talent, and monitoring and supervision, aiming to address the disconnect between the two and enhance the quality of soil ecological function restoration.

Keywords

soil pollution remediation; ecological restoration; coordinated development

土壤污染治理与生态修复协同发展模式探索

李蝶 陆敬磊

宁波远大检测技术有限公司, 中国·浙江 宁波 315100

摘要

本文聚焦土壤污染治理与生态修复协同发展模式, 探究其核心机制、技术路径与保障体系, 为土壤生态改善提供理论与实践支持。核心机制含耦合驱动、反馈调节与长效维持三类, 以多维耦合夯实基础、多维度反馈调控、生态稳定性保障长效; 技术路径搭建“核心-支撑-保障”技术体系, 针对不同污染土壤制定差异化路径, 明确低成本与智能化技术优化方向; 保障体系涵盖政策法规、经济投入、科技人才、监测监管四方面, 助力破解二者脱节难题, 提升土壤生态功能恢复质量。

关键词

土壤污染治理; 生态修复; 协同发展

1 引言

土壤污染治理与生态修复协同发展可实现污染管控与生态恢复的有机统一, 是改善土壤生态环境的关键。本文聚焦协同发展的核心机制、技术路径与保障体系, 为二者高质量推进提供参考。

2 土壤污染治理与生态修复协同发展的核心机制

2.1 耦合驱动机制

耦合驱动机制是土壤污染治理与生态修复协同发展的核心动力支撑, 通过技术、过程与功能的多维耦合构建协同基础。技术耦合聚焦治理技术与修复技术的适配性优化, 基

于土壤污染类型、污染程度及场地生态本底特征, 探索物理化学治理技术与生物修复技术、微生物修复技术与植物修复技术的融合路径, 实现治理效率与修复效果的双重提升; 过程耦合强调污染削减过程与生态系统重建过程的同步性调控, 避免治理过程对土壤生态系统的二次扰动, 在实施污染物质隔离、降解的同时, 同步开展土壤结构改良、植被重建等生态修复举措, 保障两大过程的时序匹配与强度适配; 功能耦合以污染控制功能与生态服务功能的协同提升为目标, 在实现土壤污染风险管控的基础上, 着力恢复土壤的水土保持、养分循环、生物栖息等生态服务功能, 构建“治理-修复-功能提升”的耦合闭环。

2.2 反馈调节机制

反馈调节机制为协同发展过程提供动态适配保障, 通过多维度反馈关系实现协同过程的精准调控。土壤理化性质变化是反馈调节的核心载体, 土壤pH值、有机质含量、孔隙度等指标的动态变化会直接影响治理药剂的作用效率、修

【作者简介】李蝶(1998-), 女, 中国浙江宁波人, 本科, 助理工程师, 从事环境工程研究。

复微生物的活性,进而反向作用于治理修复效果,形成“治理修复举措-理化性质变化-效果反馈”的单向反馈链条;生物群落演变与治理修复过程构成双向调节关系,治理修复举措会改变土壤生物群落的物种组成、丰度及多样性,而演变后的生物群落又会通过代谢活动优化土壤微环境,提升治理修复的持续性,实现两者的动态适配;外部环境因素则通过干扰作用参与调节过程,气候波动、降水变化、周边植被覆盖情况等外部因素会影响治理修复材料的稳定性、生态修复的进程,需通过实时监测与动态调控弱化干扰影响,保障协同过程的平稳推进,如图1所示。



(图1: 外部环境因素对治理修复影响图)

2.3 长效维持机制

该机制以土壤生态系统稳定性构建为核心,通过优化治理修复技术组合、完善生态修复配套举措,促进土壤-植被-微生物复合生态系统的良性循环,强化系统内部的物质循环与能量流动,为协同效果的持续保障奠定基础;同时注重提升协同系统的抗干扰能力,针对自然环境波动、人类活动扰动等潜在干扰因素,构建“监测-预警-调控”的应对体系,通过常态化监测掌握协同系统的运行状态,提前预警潜在干扰风险,并针对性采取调控措施,同步强化系统的自我修复机制,确保在干扰消除后,协同系统能够快速恢复稳定运行状态,实现治理修复效果的长期维持。

3 土壤污染治理与生态修复协同发展的技术路径

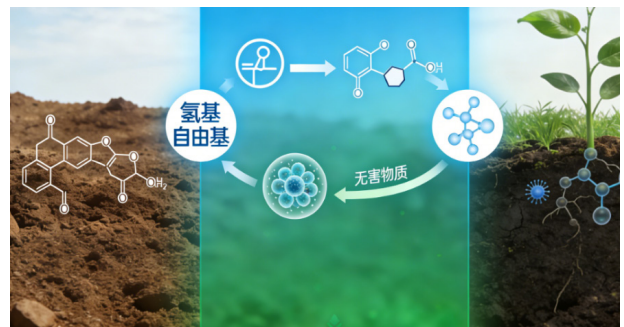
3.1 协同技术体系的构建框架

协同技术体系的构建是实现土壤污染治理与生态修复协同发展的基础框架,其核心在于建立科学的技术筛选标准与清晰的层级结构。技术筛选需以协同效率、生态安全性、经济性为核心准则,其中协同效率决定治理与修复的同步推进效果,生态安全性保障技术应用不会引发二次环境风险,经济性则确保技术具备规模化推广的可行性。在此基础上,协同技术体系可构建为核心技术-支撑技术-保障技术的层级结构,核心技术承担污染物去除与生态功能核心恢复的关键任务,支撑技术为核心技术的实施提供环境优化、介质改良等辅助作用,保障技术则通过过程监测、质量控制等手段为协同效果提供兜底保障,三者相互衔接形成完整的技术支

撑体系^[1]。

3.2 不同污染类型的协同技术路径

对于重金属污染土壤,核心思路是降低重金属活性与强化生态吸收的协同,可采用化学钝化与植物修复结合的路径,通过化学钝化剂降低重金属生物有效性,同时利用超积累植物定向吸收富集重金属;也可采用微生物强化与土壤改良协同技术,借助功能微生物转化重金属形态,搭配改良剂优化土壤理化性质以促进微生物活性与植物生长。对于有机污染土壤,重点实现污染物降解与生态重建的协同,高级氧化与微生物修复协同路径可通过高级氧化技术快速破解难降解有机污染物结构,再由微生物进一步降解中间产物,如下图2所示;植物-微生物联合降解路径则利用植物根系分泌物富集功能微生物,形成根际微环境强化有机污染物的原位降解,同时实现植被覆盖与土壤生态结构修复。对于复合污染土壤,需兼顾多污染物协同去除与生态功能综合恢复,通过整合重金属钝化、有机污染物降解、土壤理化性质改良等多重技术,构建“多技术耦合+生态系统重构”的协同路径,实现不同污染物的同步管控与土壤生态功能的逐步恢复。



(图2: 有机污染土壤修复相关图)

3.3 协同技术的优化方向

在低成本、易操作技术研发与集成方面,需针对当前部分协同技术成本高、操作复杂的痛点,开发适配中小规模污染场地与农村分散污染区域的简化型协同技术。在智能化技术应用方面,需推动监测预警与精准调控技术融入协同过程,利用传感器网络、遥感监测等技术构建土壤污染与生态状况的实时监测预警体系,精准捕捉污染物含量变化与生态功能恢复动态;基于监测数据借助大数据、人工智能等技术实现协同技术参数的动态调控,提升治理修复的精准性与效率^[2]。

4 土壤污染治理与生态修复协同发展的保障体系

4.1 政策与法规保障

政策与法规保障是筑牢土壤污染治理与生态修复协同发展根基的核心支撑,其核心在于以系统协同理念为引领,推动相关政策体系的系统性完善与精细化制度设计。一方面,要聚焦治理与修复各环节的政策衔接痛点,明确协同发

展政策的完善方向,强化跨区域、跨部门政策的协同联动,避免出现政策碎片化、标准不统一等问题,同时优化政策实施的配套措施,确保政策能够精准对接协同发展的实际需求。另一方面,需进一步健全相关法规体系,清晰界定政府、企业、社会组织及个人在协同发展中的权利与义务,尤其是在污染源管控、治理修复实施、后期管护等关键环节的责任划分,避免责任推诿。

4.2 经济保障机制

经济保障机制是破解土壤污染治理与生态修复协同发展资金瓶颈、激发市场活力的关键支撑,其核心在于构建多元化、可持续的资金投入与利益协调体系。在资金投入方面,要构建政府引导、市场主导、社会参与的多元化资金投入模式:政府需发挥宏观调控与引导作用,设立专项扶持资金,优化资金投向,重点支持公益性强、社会效益显著的协同治理修复项目;同时积极激活市场活力,通过完善市场化交易机制、落实税收优惠政策等方式,鼓励企业以市场化运作模式参与治理修复项目,提升企业参与的积极性;此外,要畅通社会资本参与渠道,搭建投融资对接平台,明确社会资本的投资回报路径,引导各类社会资本有序进入协同发展领域。在利益协调方面,需科学设计成本分摊与利益共享机制,结合污染源、污染程度、土地利用类型及受益范围等多重因素,合理划分各主体的治理修复成本,确保成本分摊的公平性与合理性;同时建立多元化的利益共享机制,让参与主体能够公平享受协同发展带来的生态效益、经济效益与社会效益。在此基础上,推动生态补偿机制在协同发展中的深度融合应用,明确补偿主体、补偿标准与补偿方式,对积极开展生态保护修复的主体给予足额、及时的补偿^[1]。

4.3 科技与人才保障

科技与人才保障是提升土壤污染治理与生态修复协同发展质量、增强核心竞争力的根本驱动力,需从技术研发突破与人才队伍建设两方面同步发力。在科技研发层面,要精准定位协同发展的技术需求,明确研发重点方向,聚焦土壤污染快速监测预警技术、高效低成本污染物去除技术、受损生态系统功能精准修复技术、治理修复过程的协同调控技术等关键核心领域,突破传统技术的局限性。同时,加强产学研用协同创新平台建设,推动高校、科研院所与企业深度合作,整合科研资源、技术资源与产业资源,加速技术成果的中试与产业化转化,解决技术研发与实际应用脱节的问题,为协同发展提供源源不断的技术支撑。在人才培养层面,需

构建跨学科、跨领域的复合型人才培养体系,立足协同发展对人才综合素养的需求,整合环境科学、生态学、土壤学、环境工程、农学等多学科资源,优化高校相关专业的课程设置,增加跨学科实践教学内容。同时,加强职业技能培训,针对基层治理修复从业人员开展专项技术培训,提升实操能力。

4.4 监测与监管保障

监测与监管保障是确保土壤污染治理与生态修复协同发展效果、提升工作规范性的重要支撑,需构建全链条、智能化、常态化的监测监管体系。在监测体系构建方面,要建立覆盖协同发展全流程的监测指标体系,指标设置需兼顾科学性与实用性,不仅要包含土壤中污染物含量、土壤理化性质等核心指标,还要涵盖生态系统结构与功能等生态指标,同时补充气象、水文等周边环境指标,形成全方位、多维度的监测指标网络。在此基础上,推广应用智能化监测技术,如无人机遥感监测、物联网传感器网络、大数据分析等,实现对污染源、治理修复过程、修复效果评估等关键环节的实时动态监测,提升监测数据的准确性、时效性与完整性。在监管机制建设方面,要整合环保、自然资源、农业农村等多部门的监管资源,打破部门壁垒,建立跨部门协同监管机制,搭建监管信息共享平台,实现监管数据互联互通。同时,建立常态化监管机制,通过日常巡查、随机抽查、专项检查等方式,加强对治理修复项目实施全过程的监督检查,严厉查处违法违规行为。

5 结语

综上所述,土壤污染治理与生态修复协同发展是系统性工程,依托三大核心机制、精准技术路径与全方位保障体系,有效解决了传统分治模式的效率低、效果不稳等问题,实现了治理修复效率与生态功能恢复质量的双重提升。未来,随着技术创新与保障体系完善,该模式将进一步推广应用,为土壤生态安全与可持续发展提供有力支撑。

参考文献

- [1] 刘之琨.生态修复治理技术在污染土壤中的应用实践研析[J].皮革制作与环保科技,2025,6(22):22-24.
- [2] 张祥明,罗帅.土壤重金属污染治理及生态修复研究[J].皮革制作与环保科技,2025,6(22):117-119.
- [3] 张翔.生态修复治理技术在土壤污染治理中的应用分析[J].皮革制作与环保科技,2025,6(17):130-131+137.