

Practical exploration of environmental engineering methods for remediation of polluted farmland soil

Tangpu Ma Shuang Chen Mengting Wang Jie Wang

Hubei Liangqing Agricultural Technology Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430000, China

Abstract

With the extensive use of industrial activities and agricultural inputs, various pollution factors such as heavy metals and organic pollutants are affecting farmland soil, causing a decline in soil quality and widespread concern for farmland safety. In the context of promoting green agricultural development, environmental engineering technology provides diversified solutions for the remediation of polluted farmland. Physical methods can quickly isolate and control pollutants, chemical methods can improve soil safety by transforming pollution forms, biological methods can promote ecosystem reconstruction and stabilization, and comprehensive use of multiple remediation methods, combined with regional characteristics and soil properties, can meet the needs of efficient and sustainable soil management. Scientific measures are adopted to implement remediation projects, enhance soil ecological functions and agricultural production capacity, becoming a key support pathway for ensuring food and ecological security.

Keywords

environmental engineering; Soil remediation; Farmland pollution; Sustainable use

环境工程方法修复污染农田土壤的实践探索

马堂普 陈爽 王梦婷 王洁

湖北良顷农业科技有限公司, 中国 · 湖北 武汉 430000

摘要

伴随工业活动与农业投入品的大量使用, 多种污染因子如重金属、有机污染物等影响着农田土壤, 引起土壤质量下降, 耕地安全性受到广泛关注, 在推动农业绿色发展的背景下, 环境工程技术为污染农田的修复提供了多样化方案, 物理方法可迅速实现对污染物的隔离与控制, 化学方法利用转化污染形态的手段提高土壤安全性, 生物方法可促进生态系统重建及稳定化, 综合采用多种修复手段, 结合区域特点及土壤性状, 可满足高效、可持续的土壤治理需求, 采用科学举措实施修复工程, 提升土壤生态功能及农业生产能力, 成为保障粮食与生态安全的关键支撑途径。

关键词

环境工程; 土壤修复; 农田污染; 可持续利用

1 引言

由于农业生产长期依赖化肥农药, 还有工业排放引起的重金属累积, 导致部分农田土壤渐渐失去其原有的生态功能, 在生态文明建设不断推进的背景下, 提升土壤质量水平、改善结构、恢复肥力成为关键任务, 环境工程技术在不同地域条件下显示出良好适应特性, 为农田修复工作提供了多样化技术路线, 凭借具备针对性的修复行动, 有望实现土壤稳定性及功能性的双重恢复效果, 为农业迈向高质量发展筑牢根基。

2 物理性环境工程方法的应用实践

2.1 土壤置换技术的实施与成效

作为传统又直接的修复途径, 土壤置换技术, 多应用

于污染物浓度高、面积相对能控制的农田区域, 当具体操作实施阶段, 一般借助机械设备将表层受污染的土壤剥离并清除, 而后回填已检测达标的清洁土壤, 恢复土地的耕作能力, 该办法可有效去除重金属、有机污染物这类不易分解的污染因子, 快速改善土壤的物理化学性质及农作物生长环境。鉴于其起效迅速、可控性佳, 常应用到重度污染重点区域的治理里, 该方法能跟后续开展的生物修复以及土壤改良手段联合运用, 增强修复成效的稳定及持久能力, 在实施运作的阶段, 要加大对置换土壤来源及质量的监管力度, 杜绝引入新的风险成分。

2.2 土壤通气与曝气系统的应用

在农田土壤里搭建合理的通气体系, 利于增强氧气在土壤里的扩散与分布效果, 提升微生物群体针对污染物的分解活性, 曝气系统大多结合地下通风管、表层鼓风机或植物根际增氧装置来进行设置, 推动空气在土体中形成均匀分

【作者简介】马堂普 (1994-), 男, 中国湖北黄冈人, 本科, 助理工程师, 从事环境工程研究。

布格局,适宜的通气状况可优化土壤的团粒结构,降低有害气体的积聚,为土壤生态系统功能的恢复搭建有利的环境框架,尤其是在有机污染物污染过的区域,曝气可加速污染物氧化分解的步伐,降低其在土壤中的残留量,该技术对轻度污染区域具备较强的适应能力,操作当中能根据地形与作物的需求灵活去调整,增强土壤净化与恢复的实力^[1]。

2.3 覆盖与隔离层的稳定措施

覆盖技术主要靠诸如无纺布、稻壳炭、膨润土层等覆盖材料支撑,对受污染的土壤实施物理性隔离操作,抑制风蚀、水蚀等外力扰动引起的污染迁移,隔离层可拦断污染物在土壤剖面内的垂直移动趋势,降低其跟农作物根系接触的风险,此方法可在中低污染水平农田区域开展原位管理,在保障短期作物生长安全之际,给后续修复打造一个稳定的环境基础。可降解生物覆盖材料的研制跟运用,使该技术的生态友好性与土壤适应性因之得到了进一步提高,在实际实施操作期间,应根据污染物类型、其分布深度和作物种类选定合适的覆盖材料及厚度,以保障修复效果和农业生产相互配合、共同前行。

3 化学性环境工程方法的优化应用

3.1 稳定剂施用控制污染迁移

土壤中普遍存在的重金属污染表现出较强的持久性和迁移性,一旦为作物吸收并进入食物链,将为人类健康埋下潜在隐患,把石灰、磷酸盐、碳酸盐类等稳定剂添加进土壤,能有效降低重金属的活性水平,推动其与土壤颗粒紧密结合,成为难溶的形态,由此降低其在水分里的迁移速率以及生物可利用的程度。石灰通过拉高土壤 pH 值,促使铅、镉等元素生成沉淀,再吸附到土壤胶体表面;磷酸盐跟重金属结合形成难溶的磷酸盐矿物,增强重金属在土壤中的固定强度,应根据土壤类型及污染特征对稳定剂选择与施用进行精细调校,进而实现既稳定污染又不损害作物吸收养分能力的双重需求。

3.2 调理剂改善土壤理化性质

污染农田里,土壤结构多数出现一定程度的退化表现,体现出团粒破碎、有机质含量降低、酸碱度异常等情形,适度采用土壤调理剂,诸如腐殖酸、氨基酸、有机酸、腐植酸盐类物质,不仅能优化土壤的理化结构组成,提高土壤保水保肥能力,也能为修复进程中微生物的繁衍创造有利条件。此类调理剂多从天然矿物、有机废弃物等资源获取,既拥有环境友好的特质,又具备资源再利用的价值,通过调理剂的施用,土壤颗粒结构逐步恢复,有机质含量逐步提高,微生物活性增强,对构建良好的土壤生态体系有益,为其他修复方法协同效果的展现提供物质基础与生态支撑^[2]。

3.3 氧化还原反应降解有机污染

对于属于有机范畴的污染物,尤其像农药残留、石油类这类污染物,鉴于其结构稳定,于自然环境中不易迅速

降解,采用人工方式,通过化学氧化还原方法引入反应物,推动污染物进行分解反应,成为无害或低毒性的物质,诸如高锰酸钾、过硫酸盐、过氧化氢等为典型的氧化剂,可于土壤中诱导出自由基,进而引发有机分子碳链结构的断裂,实现原位高效降解。诸如零价铁、硫酸亚铁的代表性还原剂,适宜进行还原性反应,通过电子转移达成污染物分子的还原裂解,这一类技术的操作十分灵活,能在原位与异位条件下予以开展,可应用于多样复合污染情形,控制反应条件、投加剂量以及反应时长,为保障处理成效、杜绝副反应发生的关键。

4 生物性环境工程方法的融合技术

4.1 植物修复在农田中的定向应用

植物修复技术是通过特定植物针对污染物进行吸收、转化、固定或挥发的功能来实现的,使土壤里有害物质浓度逐渐降低,该方法在农田环境里具备不错的适应性和生态友好属性,通过选育与筛选拥有对重金属或有机污染物强吸收能力、高耐逆性的植物品种,诸如向日葵、美人蕉、荞麦、水葱等,可在多种污染场景下实现靶向性修复。在实际应用操作阶段,运用有规划的种植轮作及管理方式,有利于污染物的逐步迁出,还可维系地表植被覆盖以及农田景观,防范土地的水土流失,有部分植物可依靠挥发作用把污染物以气态形式排到大气中,由此达到削减土壤污染负荷的目的,植物修复所经历的周期相对较长,但它的运行费用低,对环境的干扰较小,适合长期治理与生态重建目标的实现。

4.2 微生物菌剂的土壤生态构建

微生物修复通过微生物的代谢活动,进行对污染物的生物降解与转化操作,为高效且绿色的土壤修复手段,在实施农田污染治理之际,普遍应用带有特定功能的菌剂,诸如可降解有机污染物的假单胞菌、木霉菌、放线菌,以及可实现富集并钝化重金属的芽孢杆菌、铁氧还原菌等。通过定向投加这些专性菌剂,可迅速启动针对污染物的生物处理进程,采用包含有机物诱导剂、酶活性刺激物等的手段,可激活原生土壤中土著菌群,实现其扩增,构建多样化且稳固的微生物群落形态,微生物活动可进一步提升土壤通气、营养循环及水分调节能力,为农业生产供给健康的土壤环境基础,面对不同气候与土壤的条件,合适地调整菌剂类型、施用途径与频次,可促进修复系统响应速度及稳定性的提升。

4.3 植物-微生物联合修复模式

植物跟微生物之间构建起密切的相互作用关系,造就以根际为核心的生物协同体系,植物通过根系分泌出碳源、有机酸等物质,为微生物供给营养及合适的生长场所;微生物通过分解污染物、释放酶类物质以及对营养元素循环进行调控,以行动反哺植物生长。联合修复模式针对重金属和有机污染共存的复合型污染农田,表现出不错的协同净化能力,通过选择恰当的植物与微生物组合,例如豆科植物固氮

菌、香根草偕解毒菌，能实现多维度、多渠道的污染管控模式，该复合修复手段不仅提升了污染物降解的效率，也促进了土壤微生态系统重建，有利于修复过程实现长期稳定运行并推动农业生态系统功能恢复^[9]。

5 综合修复工程的实践整合

5.1 多技术协同模式构建

农田土壤污染呈现出复杂多元的类型，单一修复途径大多难以全面应对重金属、有机污染等复合污染情形，为提高修复的效率及实用意义，渐次发展出将物理、化学、生物多种方法协同聚合的综合修复技术体系，物理方法在前期能迅速起到阻断污染路径或削减污染源的效果，给后续修复搭建有利根基；化学方法通过对土壤性质及污染物形态加以调节，提升污染控制的积极主动性；生物技术会进一步夯实修复的成果，让土壤生态功能与农业生产力恢复。处于实际操作阶段时，可通过技术模块化的组合，综合考虑污染类型、土壤结构、气候条件、作物类型等多种因素制订个性化修复配方，在重金属跟农药形成复合污染的区域，可采用由“稳定剂、植物修复及微生物接种”构成的联动技术路径，在提高污染治理成效的同时，实现土壤生态功能的重新塑造，采用多技术协同的修复模式，系统综合效能得以增强，也明显提升了工程的适应特性与经济属性，推动修复工作实际有效开展。

5.2 修复工程的分阶段实施策略

系统地推进农田修复相关工程，需按照科学有序的分阶段管理方案，通常可把整体划分为前期诊断、中期治理以及后期评估这三个重要阶段，前期诊断阶段通过全面采样和污染识别来开展，评鉴土壤类型、污染因子浓度分布情形与历史耕作记录等核心参数，确定修复目标与技术通路；中期治理阶段会聚焦开展土壤修复作业，统筹推进土壤翻耕、药剂施用、植被种植等工程操作，同时强化对水源、作物与生态要素的动态跟踪监控，杜绝次生污染与修复过程中的干扰；后期评估阶段着重验证修复效果，对生态功能恢复情况进行分析，把修复前后的土壤质量指标、作物生长状态和微生物群落的结构作对比，考量修复工作的有效性及可持续性，各阶段应构建起信息的闭环体系，通过数据反馈及时调整策略，实现修复路径的动态优化与工程目标的渐进推进，此分阶段实施模式提升了修复工作系统性与科学性水平，尤

为适用于规模大、污染类型多样的农田范围^[4]。

5.3 农田长期监测与管理机制

修复工程完毕，不代表治理工作就此结束，持续监测与管理，是实现修复成果长期稳定的关键要点，构建全面系统的农田土壤监测体系，需涵盖污染物残留的变化情况、土壤的理化指标、作物的安全性以及微生物生态系统的演替等多方面维度，借助遥感监测、自动采样、地理信息系统等现代信息技术手段，能够实现对修复区域精准定位及动态的跟踪，提高监测效率及响应能力。搭建修复数据库以及预警模型体系，方便归档资料分析及风险前期预控，应强化修复后农田管理相关制度建设，明确耕作限制、施肥规范、农药使用指导等方面的技术要求细则，防止污染再次回流及治理归于无效，促进农户融入监测与管理体制，有助于促成协同治理的格局形成，强化公众在农田生态治理中的参与度与社会接受水平，以科学有效的管理机制为凭借，让修复成效得以巩固及扩充，为农业绿色发展维持持续支撑。

6 结论

环境工程方法为农田土壤污染修复提供了技术支撑与实践经验，不同种类的方法在实际应用中各具长处，通过有机整合与科学调控，可实现污染农田生态功能恢复，推动农业可持续发展目标达成，后续应进一步加大技术集成、区域适应性研究及政策支持投入，引导修复工程往系统化与智能化方向迈进。

参考文献

- [1] 莫测辉,蔡全英,李彦文,等.典型新污染物污染农田土壤安全利用关键技术与应用[J].中国科技成果,2023,24(13):63-64.
- [2] 王喆等."地球化学工程技术修复农田土壤重金属污染研究进展."土壤52.3(2020):6.
- [3] 杨子杰,陈何潇,李杨,等.基于层次分析法,专家咨询与模糊综合评判法的双重污染农田土壤修复效益评估[C]//中国环境科学学会2022年科学技术年会——环境工程技术创新与应用分会场论文集(一).2022.
- [4] 王寅,谢荣焕,杜欢,etal.重金属污染农田土壤修复工程实施和面临的问题探讨——以阜阳市临泉县耕地土壤污染治理与修复示范工程为例[C]//中国土壤学会土壤环境专业委员会第十九次会议暨“农田土壤污染与修复研讨会”第二届山东省土壤污染防治与修复技术研讨会.0[2025-06-13].