

植物修复策略改善土壤持水能力与污染物降解速率的研究

杨晓宇

邯郸市环境保护研究所

DOI:10.32629/eep.v8i10.2916

[摘要] 植物修复策略可改善土壤持水能力、促进污染物降解,在农业与环境管理领域,土壤水分保持状态、污染物降解效率的提升关系生态系统稳定性。植物借根系吸水、根际微生物群落活动、根系分泌物释放等机制,提升土壤水分保持能力。植物修复能加速土壤有害物质分解,减轻环境污染。相关研究证实,部分植物种类可同步改善土壤水分保持状况,提升重金属、有机污染物降解效率,植物修复策略助力土壤质量恢复,提供污染治理方向的生态解决方案。

[关键词] 植物修复; 土壤持水能力; 污染物降解; 环境治理; 生态恢复

中图分类号: X171.5 文献标识码: A

Study on Plant-based Remediation Strategies for Improving Soil Water Holding Capacity and Degradation Rate of Pollutants

Xiaoyu Yang

Handan Institute of Environmental Protection

[Abstract] Phytoremediation strategies can enhance soil water retention capacity and promote pollutant degradation. In the fields of agriculture and environmental management, improving soil moisture retention and pollutant degradation efficiency are crucial for ecosystem stability. Plants enhance soil water retention through mechanisms such as root water absorption, rhizosphere microbial community activity, and root secretion release. Phytoremediation accelerates the decomposition of soil pollutants and mitigates environmental pollution. Studies have confirmed that certain plant species can simultaneously improve soil moisture retention and enhance the degradation efficiency of heavy metals and organic pollutants. Phytoremediation strategies contribute to soil quality restoration and provide ecological solutions for pollution control.

[Key words] phytoremediation; soil water-holding capacity; pollutant degradation; environmental remediation; ecological restoration

引言

环境污染加剧,土壤质量退化成为影响农业生产、生态环境的关键问题,土壤持水能力不足、污染物长期积累,影响植物生长,威胁生态系统可持续性。植物修复属绿色环保技术手段,依托植物根系作用、微生物共生、根际分泌物等机制,改善土壤物理性质与生化过程,提升土壤持水能力,加速污染物降解。诸多研究发现,部分植物可修复污染土壤,改善其水分保持特性。这类植物修复技术为解决土壤退化问题提供切实可行途径,探索不同植物种类在土壤修复中的应用,对未来土壤修复技术发展具备关键价值。

1 植物修复策略对土壤持水能力的影响

1.1 植物根系结构与土壤持水性关系

植物根系是与土壤接触最密切的部分,根系结构影响土壤持水性,根系生长、分布及形态结构,可在土壤中形成不同水分

通道,改善土壤水分保持能力。细根增加可提高土壤吸水能力,根系分泌有机物质改善土壤团粒结构,提高土壤水分保留能力。根系深度和广度决定植物对水分的吸收范围,深根系植物从较深土层中吸取水分,干旱时期提供更强土壤持水能力,植物根系对土壤中水分的利用效率,直接影响土壤水分分布和持水能力。

1.2 植物种类选择对土壤水分保持的作用

不同植物种类对土壤水分保持的影响存在差异,部分植物根系扩展与水分吸收能力较强,在干旱环境中可发挥良好水分保持作用,深根系植物凭借深入土层的根系,增加土壤持水深度,留存更多水分^[1]。浅根系植物则依赖表层水分,干旱时水分保持能力较弱,植物种类选择需结合具体土壤水分状况与修复目标。修复植物选择中,关注其根系结构、水分适应性及生长环境适配性,可有效提升土壤水分保持性能,部分草本与灌木能增强土壤有机质含量,提高土壤持水能力。

1.3 植物修复机制与土壤水分保持的耦合效应

植物修复过程中,根系分泌物与微生物群落作用,关乎土壤水分保持能力提升,植物根系分泌有机酸、糖类物质,改变土壤水分特性,促进微生物群落生长,改善土壤结构。微生物分解植物根系分泌物,形成土壤有机物质,这类物质增强土壤团粒结构,提高土壤持水能力。根系和微生物协同作用,在土壤中形成有效水分通道,让水分均匀分布在土壤之中,避免水分快速流失。植物修复机制依托根系直接吸水作用提高土壤持水能力,调节土壤物理、化学性质,构建动态平衡水分管理系统,提升土壤整体水分保持效果。

2 污染物降解速率的提升机制分析

2.1 植物根际微生物对污染物降解的促进作用

植物根际是微生物的活跃区域,植物根系经过分泌有机物质为微生物提供了丰富的养分来源,根际微生物群落在污染物降解过程中承担关键功能,它们能够利用根系分泌的有机物质将有害污染物转化为对环境无害的物质形态。重金属、有机污染物等的降解过程中,根际微生物与植物的互利共生关系,共同提升污染物的降解速率。根际微生物能经过吸附、还原或降解的具体方式直接参与重金属的转化过程,从而降低其生物可利用性。植物根际微生物的多样性也与污染物降解能力密切相关,结构较为丰富的微生物群落可增强土壤中各类有害物质的降解效率,为土壤修复提供了切实有效的生态支持。

2.2 植物分泌物在污染物降解中的作用

植物分泌物是植物根系释放到土壤中的化学物质,具备促进污染物降解的多种作用,根系分泌物包括有机酸、糖类、氨基酸及酚类化合物,能够改善土壤化学环境,促进污染物溶解或转化。植物根系分泌的有机酸可通过络合作用降低土壤中重金属活性,使其转化为不易被植物吸收的形式,减少土壤中的毒性物质^[2]。植物分泌的化学物质能够激活土壤微生物活性,提升微生物对污染物的降解能力,一些植物能够通过根系分泌特定物质直接降解有机污染物,提高土壤的净化能力。根际分泌物的多样性和特异性,使其在土壤污染治理中具有关键作用。

2.3 植物代谢产物在污染物转化中的机制

植物生长过程中产生酚类、醛类、酮类及酯类等代谢产物,这类物质具有较强的污染物转化能力,它们能与土壤污染物发生反应,经氧化、还原、络合等化学反应改变污染物化学结构。在有机污染物降解方面,植物代谢产物可借助共生微生物加速其生物降解进程,部分植物代谢产物能直接吸附或使土壤重金属沉降,降低其在土壤中的流动性与生物可利用性。植物代谢产物的化学活性与多样性,为污染物转化提供多条有效途径。这些物质既改善了植物自身对污染物的适应性,又在植物与微生物的合作过程中,进一步加快了污染物的降解进程。

3 不同植物对重金属污染物降解的作用效果

3.1 重金属对植物修复效果的影响

重金属的存在会影响植物修复的实际效果,在高浓度环境下,重金属抑制植物的生长发育进程,破坏植物根系的完整

结构和生理功能,降低植物对污染物的吸收效率和积累能力。铅(Pb)、镉(Cd)和砷(As)等重金属具有较强毒性,能够干扰植物正常的代谢过程,引发叶片黄化、根系腐烂、光合作用受限等问题,削弱植物的修复效能。在土壤环境中,重金属的生物可利用性与其存在形态、溶解程度及土壤酸碱程度密切相关,这些因素会直接影响植物对重金属的吸收能力及其降解效率。高浓度的重金属积累可能导致土壤质量进一步恶化,使植物修复的实施过程更加复杂和困难。

3.2 不同植物在重金属降解中的优势与限制

不同植物在重金属的降解过程中展现出各自的优势和局限性。金合欢、向日葵等部分植物被认为具有较强的重金属吸附和积累能力,能够在较短时间内从土壤中吸收并转移重金属至其地上部分。这类植物的吸收能力通常存在饱和限制,当土壤中重金属浓度过高时,植物的正常生长及其修复能力会受到明显抑制^[3]。部分植物能够增加根系分泌物的释放量,降低土壤中重金属的生物可利用性,或通过与微生物的共生作用加速重金属降解进程。这类植物的修复效果依赖于土壤的具体环境条件以及植物自身的耐受性,应用时需根据重金属污染的具体程度选择适宜的植物种类。

3.3 植物修复策略在重金属治理中的实际应用

植物修复策略在重金属污染治理领域已获广泛应用,展现出良好应用潜力。筛选耐重金属能力突出的植物,如菊花、玉米、绿竹这类品种,可切实降低土壤中重金属的实际浓度。在特定条件下,修复植物的周期性轮作种植能逐步改善土壤原有的理化性质。在实际治理操作过程中,植物修复往往搭配土壤改良、化学沉淀等其他技术手段,以实现修复效率的切实提升与重金属形态的快速稳定化。该技术具备绿色环保的显著特性,在高浓度重金属污染区域的应用却存在明显阻碍,修复耗时较长、土壤条件复杂多变的情形下尤为突出。提升植物修复实际效率、压缩整体修复周期、破解植物生长环境受限难题,属于当前相关科研工作的核心方向。

4 植物修复对有机污染物降解的贡献与局限

4.1 植物对有机污染物的吸附与降解机理

植物依托多样生理机制完成有机污染物的吸附与降解,根系借助物理吸附、化学吸附、生物转化三类具体途径处理土壤内有机污染物。物理吸附环节,植物根系表面携带稳定负电荷,可高效吸附带正电荷的有机污染物分子。化学吸附依靠植物根系分泌的有机酸、多糖等活性物质形成络合物,将有害物质从土壤内彻底剥离。植物根际微生物群落的主动参与推动有机污染物降解进程,部分微生物分解有机污染物,转化生成无毒无害的代谢副产物。植物体内过氧化物酶、酯酶等特异性代谢酶在污染物降解进程中发挥关键作用,加快有机污染物氧化还原反应速率,促使其无毒化或转化为可降解小分子物质。

4.2 有机污染物对植物生长的影响

有机污染物的存在常给植物生长带来实质负面影响,高浓度有机污染物直接抑制植物根系正常发育,导致根系吸收水分

与养分的能力显著下降,严重时直接引发根系组织腐烂。污染物渗入植物体内,会干扰光合作用的正常运转过程,造成叶片萎黄或生长进程停滞^[4]。石油烃类、农药残留这类典型有机污染物,会在植物体内逐步累积,干扰植株正常代谢过程,引发生理功能系统紊乱。有机污染物可改变植物内源激素水平,进而影响植株生长周期与种子发芽活性,长期污染胁迫环境中,植物生长发育受到严重限制,植物修复的实际效率与核心应用能力随之降低。

4.3 优化植物修复策略提升有机污染物降解效率

提高植物修复策略效率需从植物种类精准筛选、土壤理化改良、修复过程微生物协同作用三方面入手。筛选具备优异有机污染物降解能力的植物是核心要点,部分植物拥有丰富根系分泌物与特异性代谢产物,可改善土壤内污染物降解微环境。添加有机营养物质或活性微生物改良剂能促进植物根际微生物群落繁衍,强化其降解有机污染物的实际效能。调整土壤酸碱度与通气性的改良技术,可增强植物对有机污染物的吸收降解效果。优化植物栽培管理具体手段,合理灌溉科学施肥,能切实提升植物修复过程效率,加速有机污染物降解进程,压缩修复周期时长,达成更优污染治理成效。

5 植物修复策略在实际土壤修复中的挑战与前景

5.1 植物修复在不同土壤类型中的适用性

植物修复在不同土壤类型中的适用性受土壤物理、化学性质直接影响,沙土与壤土拥有松散孔隙结构与良好透水排水性,适配植物根系延伸生长,干旱条件下水分保持能力欠佳,易限制植物修复实际应用效果。黏土土壤水分保持能力突出,过于紧实板结的结构会影响植物根系呼吸与生长活力,降低修复综合效能。酸性或碱性土壤的pH值左右重金属生物可利用性,影响植物吸收降解核心能力,碱性土壤中部分重金属离子溶解度较低,酸性土壤中某些污染物分子更易被植物吸收。适配土壤类型特点选择适配植物种类与修复策略,可显著提升植物修复最终治理效果。

5.2 影响植物修复效率的环境因素

植物修复的效率受到多种环境因素的制约,涵盖气候波动、土壤湿度状况、环境温度及污染物实际浓度等关键条件。温度直接影响植物的生长速度与体内代谢活动,过高会导致酶活性下降,过低则抑制细胞分裂,两者都将干扰植物对污染物的吸收与降解能力。土壤湿度是另一个关键因素,适宜的湿度能让根系保持活跃状态,助力水分与养分吸收,过度干旱导致根系枯萎,湿润过度引发烂根,都会直接改变植物的修复效果^[5]。污染物的浓度和生物可利用性也对修复效率影响显著,当浓度超出植物

耐受阈值,会突破修复极限,还可能损伤细胞结构,抑制植物正常生长。环境中的其他因素,像微生物的种类丰度与数量规模、土壤中有机质的具体含量,也在植物修复的整个过程中发挥着至关重要的作用。

5.3 未来植物修复技术的创新与发展方向

未来植物修复技术的创新将聚焦提高修复效率、扩展适用范围及缩短修复周期,在植物品种选择上,研究侧重筛选兼具高耐污染性与高修复能力的植株,尤其锁定可耐受极端干旱、高盐碱等恶劣环境的特色品类。基因工程技术介入有望改造植物代谢路径,使其更高效吸收并定向降解特定污染物,修复技术优化包含强化植物与土壤微生物共生关联,依托微生物旺盛代谢作用加速污染物分解转化。土壤监测、精准施肥等智能化管理手段,可实时追踪植物修复动态进程,进一步提升修复实际成效。技术不断进步推动未来植物修复更趋高效、可持续,足以应对不同类型、不同程度的复杂污染问题。

6 结语

本文探讨植物修复策略在改善土壤质量、降解污染物中的应用,强调植物根系、根际微生物、植物代谢产物在修复过程中的关键作用。分析不同植物种类在重金属、有机污染物治理中的优势局限,结合土壤类型、环境因素,提出优化植物修复效果的具体策略。基因工程技术、智能化管理手段持续发展,推动植物修复技术提升效率、拓宽应用范围,为污染治理提供高效可持续的生态解决方案。这项绿色环保技术潜力尚未完全挖掘,将在未来环境治理领域占据更加重要的核心地位。

[参考文献]

- [1]张圣昊.城镇污水厂尾水人工湿地水质提升技术研究[D].重庆大学,2023.
- [2]朱晓月,方燕,上官周平.黄土风沙区土壤培肥机理与技术研究进展[J].中国农学通报,2023,39(07):95-101.
- [3]伏桂仙.水生植物对城市富营养化水体的净化效果研究[D].扬州大学,2022.
- [4]勾颖.生物炭基肥研制及其对酸化参地土壤改良作用研究[D].吉林农业大学,2022.
- [5]刘顺腾.室内化学污染的监测植物选择与应用研究[D].山东建筑大学,2013.

作者简介:

杨晓宇(1972--),男,汉族,河北省磁县人,大学本科,高级工程师,环境保护。