

# 污染土壤的植物修复技术研究进展

曹婷婷<sup>1,2,3,4\*</sup>, 郭 振<sup>1,2,3,4</sup>

<sup>1</sup>陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 陕西 西安

<sup>2</sup>陕西地建土地工程技术研究院有限责任公司, 陕西 西安

<sup>3</sup>国土资源部退化及未利用土地整治工程重点实验室, 陕西 西安

<sup>4</sup>陕西省土地整治工程技术研究中心, 陕西 西安

Email: \*956874403@qq.com

收稿日期: 2021年2月10日; 录用日期: 2021年3月18日; 发布日期: 2021年3月30日

---

## 摘 要

植物修复技术是去除土壤中污染物相对安全、绿色的技术, 植物主要通过降解、挥发、提取等作用降解污染物, 该技术具有一定的优势, 也存在一些弊端, 因此植物修复技术多与其他土壤修复技术联合使用, 常因植物的景观价值, 该技术也多用于后期修复效益的验证和生态美学文化的传承。

## 关键词

植物修复, 降解, 挥发, 污染物

---

# Research Progress on Phytoremediation Technology of Contaminated Soil

Tingting Cao<sup>1,2,3,4\*</sup>, Zhen Guo<sup>1,2,3,4</sup>

<sup>1</sup>Shaanxi Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

<sup>2</sup>Institute of Land Engineering and Technology, Shaanxi Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

<sup>3</sup>Key Laboratory of Degraded and Unused Land Consolidation Engineering, The Ministry of Natural Resources, Xi'an Shaanxi

<sup>4</sup>Shaanxi Land Consolidation Engineering Technology Research Center, Xi'an Shaanxi

Email: \*956874403@qq.com

Received: Feb. 10<sup>th</sup>, 2021; accepted: Mar. 18<sup>th</sup>, 2021; published: Mar. 30<sup>th</sup>, 2021

---

\*通讯作者。

## Abstract

Phytoremediation technology is a relatively safe and green technology to remove pollutants in the soil. Plants mainly degrade pollutants through degradation, volatilization, and extraction. This technology has certain advantages and some disadvantages. Therefore, phytoremediation technology is more compatible with other soil remediation technologies are used in combination, often due to the landscape value of plants, this technology is also used to verify the benefits of later restoration and the inheritance of ecological aesthetics and culture.

## Keywords

Phytoremediation, Degradation, Volatilization, Pollutants

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

自党的十八大以来,生态文明建设作为建设美丽中国的重要途径,一直在国家重大发展战略部署上处于重要地位,而生态文明建设面临着资源约束趋紧,环境污染严重及生态系统退化的严峻形势。蓝天、碧水、净土保卫战是当下环境污染整治工程的宏观目标,也是生态文明建设的重要方面。土壤作为万物之基是孕育生命的重要场所,由于当下社会发展需求,早些年粗狂式发展遗留的土壤污染问题日益凸显,土壤污染隐蔽性、滞后性、积累性使得公众对土壤污染敏锐度较低,进而使得土壤污染问题日渐棘手,治理难度大,成本高,效益缓慢。土壤污染最显著的方面是工业污染,广泛分布的污染物有重金属和有机物。土壤重金属污染具有形态多变,金属有机态毒性大于无机态,价态不同毒性不同。金属羟基化合物常含剧毒,活性很强,易迁移化、物理化学行为大多具有可逆性,属于缓冲性污染、产生毒性效应的浓度范围低、微生物不能降解反而会毒害微生物或者使之有机化,长期对生物毒性具有积累特性。因此对于污染土壤的治理对我国经济发展的可持续性具有重要战略意义,土壤污染问题应得到科学界的广泛关注。

近年来,诸多学者开展了对污染土壤修复技术的研究,其中有生物修复、隔离、焚烧、固化及稳定、玻璃化、热处理、溶剂萃取、化学氧化等[1]。上述修复方法昂贵,并且对污染物处置不当,会造成二次污染。在1983年,有学者提出用一些能够富集重金属的植物来去除土壤重金属污染的设计。还有学者研究了酥油草、苜蓿、苏丹草和三叶草对石油污染土壤中PAHs的降解,发现在种植植物时葱和茺的降解率有显著提高,他们认为一方面是由于根际效应增加了根际微生物的数量,另一方面是因为根系分泌的有机物为微生物提供了共代谢底物[2]。

植物修复技术是利用绿色植物来转移、容纳或转化污染物的一种重要方法,进而降低其对环境的危害,该类方法成本低、效果好、具有一定的生态效益,因而受到了科学界广泛的关注[3][4][5]。植物修复技术最有效的目标污染物是土壤中的重金属、有机物和放射性元素。主要是通过植物的吸收、挥发、根滤、降解、稳定等作用,净化土壤中的污染物,是一种净化污染土壤的高效绿色技术。研究发现,竹类植物对重金属有良好的耐受能力和富集能力,且具有生物量大、栽培简单和经济效益高等特点,在修

复重金属污染土壤方面有很高的应用潜力和开发价值[6]。

## 2. 植物修复技术概述

植物修复的核心是植物, 利用特殊植物耐受和超富集有毒元素的特性, 辅助其共存微生物体系清除污染物的能力, 从多角度进行微生物降解。在植物修复系统中, 核心动力源是阳光, 水, 空气, 主要环境适应作物生长, 植物就可吸收转移元素和化合物, 可以积累、代谢和固定污染物, 是解决土壤污染的绿色途径, 植物对污染物质的降解大致有以下几方面的内容。

植物对污染物的降解主要是植物体内酶的作用, 有机污染物在植物细胞内被特定的酶降解矿化, 这些酶包括硝基还原酶、脱卤酶、漆酶等。植物还可发挥固定效应, 将有机或无机的污染物被吸收到根细胞细胞壁的木质素或腐殖质中, 重金属在根系分泌物的直接作用下以不溶性形式沉淀, 随后被固定在土壤基质中, 达到钝化/稳定、隔断、阻止其进入水体和食物链的目的, 降低污染物的迁移特性, 使其不能为生物所利用, 以减少其对生物和环境的危害。此外, 植物枝叶分解物、根系分泌物以及腐殖质对重金属离子的螯合作用等都可固定土壤中的重金属。对于一些具有挥发性重金属和有机化合物, 植物根系会对一些元素离子进行吸收, 可以从土壤中吸收污染物并将其转化为气态物质释放到大气中, 经植物体内转化形成无毒无害的物质, 例如一些植物能将土壤中的 Se, As 和 Hg 等甲基化, 从而形成可挥发性的分子[7] [8] [9]。

植物提取主要是依据根系对污染物的吸收, 然后使得污染物在地上部分进行转运和累积。最后以收割和资源化利用的方式使得土壤中的污染物被去除, 对于该方法, 筛选适宜于特定污染物的耐受植物、富集植物非常关键。随着植物根系逐步发育, 生长根系会进一步促进根际微生物的繁殖发育, 这些微生物以土壤中污染物和根系分泌物作为碳源, 对土壤中有机污染物进行降解。根系微生物群落也因根系分泌物和污染物不同在空间分布上具有显著差异。

除上述传统方法, 还有螯合诱导、植物激素、微生物、农艺措施、基因工程等强化植物修复重金属技术。以植物生物联合修复为例, 植物与特殊的菌根真菌或根际菌群协同作用, 增加对污染物的吸收和降解, 在有植物生长的情况下, 土壤中微生物降解功能显著增强。有研究人员以水稻为供试植物修复湿地土壤中矿物油和 PAHs, 结果表明: 真菌和细菌接种量在不同污染水平上与矿物油和多环芳烃降解率存在最佳配比关系。还有研究者利用利用树木根部的根际微生物促进石油烃的生物降解, 一段时间后, 40%~90%的柴油被降解。植物可以促进根际微生物的繁殖及对污染物的分解转化, 进而提高修复效率[10]。

植物修复技术虽然具有非常明显的优势, 想比较其他技术, 植物修复作为一种原位修复技术, 不需要大量工程措施, 例如挖掘、运输和处理场所。在不破坏原本生态大环境的前提下, 辅助该项技术实现土壤结构良好, 可满足植被作物的生长。此外植物修复技术还有一些其他辅助效应, 该项技术的应用可增加地表的植被覆盖度, 在区域内可以实现绿化环境, 抗击风蚀、水蚀, 减少当地水土流失现状, 从大尺度上有利于生态环境的改良和动物栖息地生境的改善, 符合生物繁衍生境正向演替的历史规律。

但在一些方面也存在一些弊端, 利用植物对土壤中污染物的吸附、降解和固定是一个相对漫长的过程, 修复进程与植物的生育期密切相关, 此外还要求土壤中污染物浓度和毒素均需植物的可耐受范围之内, 由于植物特殊的生命体征, 其生长也需要相对安全的环境, 对于土壤中污染物种类多, 成分复杂的污染类型, 选择能同时有效地修复多种污染物的植物是非常不易的。

## 3. 植物修复技术的植被特性和最终处置技术

用于植物修复的植被必须耐受高浓度的污染物质, 并且需长势快, 生物质产量丰富, 地上部分能够积累高浓度污染物, 此外还需具备丰富发达的根系, 易于增强与污染土壤的接触面积, 在成熟季, 易于

收获。植物对污染物的去除只有通过收获彻底清除才是高效的, 因此应该采取恰当的收获时间和收获方式。避免污染物再次分散到土壤。

植物作为容纳污染物的中间体, 从土壤中提取出的污染物若没有得到妥善的处置会引起二次污染, 因此在收割植物后, 生物质可用于提取和回收金属。另外, 可以通过压缩以及热处理方式处理生物质, 进行减量化处理。焚烧后还可对灰烬进行处理提取可利用资源, 对于修复后植被的处理是辅助植物修复的有效措施, 已得到了学者的广泛关注。例如植物生物质和各种气化剂通过化学反应可以将其中的可燃部分进一步转化为可燃气体。也能对其进行微生物的转化, 让其变成可利用的沼气。此外还可利植物进行液化, 从中提取原料来制取柴油、甲醇、乙醇等燃料, 该项技术应用广泛。还可将植物进行粉碎, 将其进行压实减量化, 变成粒状, 棒状或者块状的成型燃料。这样固化得到的燃料相较于一般的固体燃料具有体积小, 密度高的优点, 可以进行规模化生产并且投放市场, 而且燃烧时的温度较高, 火力也更加持久, 排放出的污染气体也较低。

#### 4. 总结

植物修复技术是去除土壤中污染物相对安全、绿色的技术, 但植物修复技术有一定的局限性, 一些严重受污染的土壤, 采用植物修复技术可能存在修复过程缓慢, 甚至植物存活率低, 植物无法发挥其降解作用的现象。因此植物修复技术多与其他土壤修复技术联合使用, 常因植物的景观价值, 该技术也多用于后期修复效益的验证和生态美学文化的传承。

#### 基金项目

陕西省土地工程建设集团有限责任公司内部项目“Fe 复合型生物质环境材料制备及效能研究”DJNY2021-34。

#### 参考文献

- [1] 秦芙蓉, 张仕颖, 夏运生, 张乃明, 吴程龙, 何忠俊, 岳献荣, 田森林. 来利山锡尾矿区优势植物调查与生态修复潜力分析[J/OL]. 环境科学, 2021, 1-12.
- [2] 张传严, 席北斗, 张强, 柏思聪, 赵昕宇. 堆肥在土壤修复与质量提升的应用现状与展望[J/OL]. 环境工程, 1-15. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2097.X.20210219.1001.002.html>, 2021-02-26.
- [3] 刘建英, 周湘灿. 水生植物修复富营养化水体应用研究综述[J]. 现代园艺, 2021, 44(3): 51-52.
- [4] 刘明文, 孙昕, 李鹏飞, 孙哲, 张清宇, 李盟. 3 种水生植物及其组合吸收去除水中氮磷的比较[J/OL]. 环境工程学报, 2021, 1-12.
- [5] 展海银, 周启星. 环境中四环素类抗生素污染处理技术研究进展[J/OL]. 环境工程技术学报, 2021, 1-16.
- [6] 王从梅, 王波. 重金属 Cd 污染土壤的植物修复研究[J]. 现代园艺, 2021, 44(2): 14-15.
- [7] 申鹏. 植物对生活污水净化效果的研究[J]. 农业技术与装备, 2021(1): 79-80.
- [8] 张颖, 赵欣, 张圣虎, 漆丹, 马红璐, 张芹, 陆建刚. 竹类植物修复重金属污染土壤的研究进展[J]. 生态与农村环境学报, 2021, 37(1): 30-38.
- [9] 王鹤潼, 贾春云, 张延召, 赵强, 李晓军, 巩宗强, 刘宛. 植物 DNA 错配修复系统响应 Cd 胁迫的研究进展[J/OL]. 农业环境科学学报, 2021, 1-17.
- [10] 付永臻, 游少鸿, 杨笑宇, 杨佳节. 铬超富集植物李氏禾的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(2): 12-15+18.