

基于植物修复技术的城市污染土壤治理工程案例分析

黄君怡¹, 王冠²

1. 西安理工大学, 陕西 西安 710054

2. 西安财经大学行知学院, 陕西 西安 710038

摘 要： 城市化进程加快，城市土壤污染严重，威胁人类健康与生态环境，植物修复技术作为绿色可持续手段，在城市污染土壤治理中受重视。本文基于其原理与优势，分析实践案例，讨论适应性及效果，总结优势与限制，提出提高效率方向，典型案例分析，为城市污染土壤治理工程发展提供参考和指导，助力实现城市生态环境改善与可持续发展。

关 键 词： 城市土壤污染；植物修复；土壤治理；生态恢复；工程案例

Case Analysis of Urban Polluted Soil Remediation Projects Based on Phytoremediation Technology

Huang Junyi¹, Wang Guan²

1. Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710054

2. Xingzhi College of Xi'an University of Finance and Economics, Xi'an, Shaanxi 710038

Abstract： With the acceleration of urbanization, urban soil pollution has become a serious issue, posing threats to human health and the ecological environment. Phytoremediation technology, as a green and sustainable approach, has gained attention in the remediation of polluted urban soils. Based on its principles and advantages, this paper analyzes practical cases, discusses its adaptability and effectiveness, summarizes its strengths and limitations, proposes directions for improving efficiency, and presents typical case studies. It provides reference and guidance for the development of urban polluted soil remediation projects, contributing to the improvement and sustainable development of the urban ecological environment.

Keywords： urban soil pollution; phytoremediation; soil remediation; ecological restoration; engineering cases

引言

土壤污染威胁城市居民健康与生态稳定。工业发展和城市扩张致污染物在城市土壤累积，传统治理方式成本高且易二次污染，植物修复技术是新兴“绿色”治理方式，利用特定植物净化修复污染土壤，具成本低、环境友好优势，但面临效率低、适应性有限挑战，本文分析典型案例，探讨其实际应用效果及改进方向，为土壤污染治理提供生态可行方案。

一、城市土壤污染现状与治理需求

城市土壤污染，在现代城市化进程中无疑构成了一项极为严峻的挑战，其主要来源涵盖了工业废弃物的堆放、车辆尾气的排放、生活垃圾的填埋以及建筑工地的重金属泄漏等多个方面。伴随工业化进程的不断推进以及城市扩张的持续加剧，土壤中的有害物质逐步累积，主要污染物诸如重金属（镉、铅、汞等）、有机污染物（多环芳烃、氯代烃等）以及养分超标元素（氮、磷），已然对城市土壤带来了广泛的负面影响^[1]。这些污染物具备难以分解、易被吸附等特性，长期滞留在土壤中，难以实现自然恢复，对生态系统的平衡形成了极大的威胁，同时也严重影响了居民的

生活质量以及人类健康，尤其是在城市人口密集的区域。

面对如此严峻的土壤污染现状，城市土壤治理的需求愈发迫切，传统的物理、化学方法虽能够迅速清除污染物，然而往往成本高昂且操作复杂，还可能引发新的环境问题，诸如二次污染、土壤结构破坏等。寻觅一种绿色、可持续的污染治理方式已然成为当前的研究热点，植物修复技术的提出，为污染土壤治理带来了新的契机。植物修复充分利用植物的自然生理机制，经由植物对污染物的吸收、固定、转化、降解等过程，逐步降低土壤中有害物质的含量，不但能够达成生态恢复的目标，还兼具低成本以及无二次污染的优势，这种技术对于解决城市土壤污染问题具有显著的生态和社会效益。

课题信息：2023 年碑林区科技计划项目，GX2339；2024 年度西安市科技计划项目，24GXFW0065。

城市土壤污染的复杂性与多样性给治理工作带来了诸多挑战，不同类型的污染物、污染物浓度的差异以及土壤性质的多样性，都直接对植物修复的效果产生影响。城市土壤中的污染物通常以复合污染的形式存在，例如重金属与有机污染物共存，极大地增加了植物修复的技术难度^[2]。当前在城市土壤污染治理中亟需开展多角度的技术创新和工程实践，研究不同污染条件下适宜的植物种类和修复策略，以提高治理效果和效率，这些需求不仅推动了植物修复技术的创新发展，也为城市生态修复带来了新的研究方向和技术支持。

二、植物修复技术的原理及其在污染土壤治理中的优势

植物修复技术乃是一种以植物为核心的污染治理方法，其充分利用植物的吸收、降解、转化以及固定等生物功能，以实现减少土壤中有害污染物浓度目的。该技术以植物的生理代谢能力为基础，能够自土壤中吸收重金属、有机污染物等有害物质，借助植物体内的代谢过程将其转化或者固定，进而达成污染物的去除。植物根系能够将重金属或者其他污染物质吸附或者吸收至植物体内，在植物的根茎叶等组织中进行富集，最终达到净化土壤的目标^[3]。与化学和物理治理方法不同，植物修复利用了自然生态系统的自我净化能力，不破坏土壤结构，是一种生态友好、可持续的污染治理方式。

植物修复技术在污染土壤治理当中具备独特的优势，其成本相对较低，主要是因为该技术依赖于植物的自然生长过程，无需复杂的设备或者大量的化学试剂，所以特别适用于大面积的土壤污染治理。在植物修复的过程里，植物还能够蒸腾作用释放水分，进而调节土壤湿度，改善土壤结构，增强土壤的透气性以及持水能力。植物修复对环境的影响较小，成功避免了物理和化学方法所带来的二次污染，由于无需将污染土壤进行大规模移除或者处理，植物修复对原生生态系统的干扰较小，并且还能在一定程度上促进土壤微生物群落的恢复以及多样性的提升，而这对于城市生态环境具有长期的积极影响。

在实际应用中，植物修复还可以选择合适的植物种类来针对性地处理不同类型的污染^[4]。例如，某些超富集植物具备吸收和富集重金属的能力，故而适合被用于治理重金属污染土壤；而另外一些植物则具有分解有机污染物的能力，适用于处理有机污染土壤。科学地选择植物种类并且搭配不同的植物组合，能够显著提高修复效果，植物修复还拥有景观美化这一附加功能，能够将治理过程与城市绿化相结合，从而实现生态修复与美化环境的双重目标。植物修复技术在城市污染土壤治理中的应用前景极为广阔，为解决城市土壤污染问题提供了一种具备可持续性与生态效益的技术手段。

三、植物修复在城市污染土壤治理工程中的应用案例分析

植物修复在城市污染土壤治理工程中已然逐渐得到了广泛应

用，诸多实际案例充分展示了其显著的污染治理效果，在某些重工业城市当中，土壤普遍遭受重金属污染，尤其是铅、镉和锌等有毒元素的累积，对生态环境构成了严重威胁。在这些污染极为严重的区域，引入超富集植物，诸如蜈蚣草、芦苇等，能够有效地吸收并固定土壤中的重金属，从而避免其向周围环境进行迁移^[5]。超富集植物根系强大，对重金属具备良好的耐受性以及富集能力，经由几年甚至十几年的植物修复过程，土壤中的重金属含量显著下降，生态环境逐步得到恢复，为周围居民的健康以及区域的可持续发展创造了良好的基础条件。

在城市建筑工地、填埋场等区域的污染土壤治理当中，植物修复同样被广泛应用，建筑废弃物填埋过程中往往伴随大量的有机污染物和重金属排放，而这些污染物渗入土壤后，不但会污染土壤，还会对地下水安全构成威胁^[6]。针对这一问题，一些工程种植对重金属和有机物均具有吸附和降解能力的植物，诸如向日葵、柳树以及白花苜蓿，能够大幅降低土壤中的污染物浓度。这些植物在生长过程中会将污染物固定或者分解，进而形成长效治理效果，不但实现了污染治理，还增强了土壤的生态功能，实践表明，经过几年的治理，填埋场区域的土壤理化性质得到改善，污染物浓度显著降低，周边生态环境恢复良好。

植物修复技术还在城市绿地、公共园区等具有景观功能的土壤治理中得以应用，许多城市的公园和绿化带土壤中存在轻度重金属污染，尽管浓度较低，但长期累积可能对环境造成影响。种植观赏性强且具有一定重金属耐受能力的植物，例如金盏花、薰衣草等，可以在美化环境的同时逐步降低土壤污染水平，实现污染治理与景观生态的结合。这些植物不仅对环境具有修复功能，还能够为市民提供良好的休闲环境，随着植物修复在不同类型污染土壤中的应用经验逐渐积累，这一技术在城市污染土壤治理工程中的作用愈发重要，为未来的可持续城市发展提供了切实可行的解决方案。

四、影响植物修复效果的关键因素分析

影响植物修复效果的关键因素涵盖植物种类选择、土壤条件以及污染物特性等多方面的复杂因素，不同植物种类的修复能力存在显著差异，一些超富集植物对特定重金属具有较强的吸收和富集能力，例如向日葵对镉和铅的富集效果颇为良好，而白花苜蓿在降解有机污染物方面表现得尤为突出。植物修复效果取决于植物对污染物的耐受性和吸收能力，倘若选用的植物种类与污染物不相匹配，那么修复效果极有可能受到影响^[7]。在具体应用中需根据污染土壤的具体污染物类型来选择合适的植物种类，确保植物能够对污染物产生有效的修复作用。

土壤的物理和化学性质亦是影响植物修复效果的重要因素，土壤的pH值、养分含量、通透性以及有机质含量皆会影响植物对污染物的吸收和转化效率，例如，土壤的酸碱度对重金属的溶解性具有直接影响，过高或者过低的pH值或许会降低重金属的生物可利用性，进而影响植物对重金属的吸收。土壤中有有机质的含量会影响植物根系的发育以及对污染物的吸附过程，较高的有机质

含量通常有助于植物的生长，从而提高修复效率。为了提升植物修复效果，在实际工程当中常常对土壤进行适当的改良，例如调整 pH 值或者增加有机质含量，以优化土壤条件。

污染物的类型、浓度和分布也是植物修复效果的关键因素^[9]。不同的污染物于土壤中的存在形式以及迁移能力差异颇为显著，重金属污染物通常表现得较为稳定，难以实现迁移，而有机污染物则有可能在环境中发生降解与转化，甚至会产生毒性更强的中间产物。污染物的浓度过高将会对植物产生毒害作用，抑制植物的正常生长，进而影响修复效果，在某些情形下，有必要适当稀释或者运用辅助修复技术，诸如联合微生物修复等，以便降低污染物的毒性，提升植物修复的效果。针对污染物特性展开深入分析对于植物修复技术的有效应用而言至关重要，其能够助力工程人员依据污染物的具体特性来设计恰当的修复策略，确保污染土壤治理的有效性 with 持续性。

五、植物修复技术在城市污染治理中的发展趋势与挑战

植物修复技术于城市污染治理当中展现出极为显著的应用潜力以及发展趋势，伴随城市土壤污染问题的不断加剧，植物修复逐渐演变成为一种备受瞩目的绿色修复方法，研究者们正在积极探索借助基因工程手段对植物予以改良，促使其在重金属吸收、有机污染物降解等方面的能力获得显著增强。该基因工程技术凭借对植物基因的编辑与转化操作，提升植物的重金属耐受性以及吸收效率，以此来适应更为复杂的污染环境，进而进一步拓展了植物修复技术的应用范围^[9]。

尽管植物修复技术呈现出迅猛的发展态势，但其应用层面依旧面临着诸多挑战，污染物本身所具备的复杂性以及土壤环境呈现出的多样性，致使植物修复效果难以进行精准预测，不同污染类型、污染浓度以及土壤条件对于植物修复所产生的影响实难忽视。例如，在复合污染的条件下，重金属与有机污染物的共存状

况极有可能对植物产生颇为强烈的毒性作用，进而导致修复效果出现下降的情况。在高浓度污染的区域当中，植物的耐受性以及存活率或许会受到极大的限制，从而难以达成预期的修复效果，究竟该如何妥善应对复合污染、有效提高植物的抗性，已然成为植物修复技术发展进程中的重要课题。而要攻克这些挑战，就必须结合多学科领域的深入研究以及技术层面的创新举措，方能促使植物修复技术在城市土壤治理当中得以实现更为高效且广泛的应用。

政策支持以及公众意识的提升同样是植物修复技术未来发展的关键要素，伴随环保意识的日益增强以及可持续发展理念的广泛普及，政府及社会对于生态修复技术的重视程度正不断攀升。政府所出台的相关环保政策以及给予的资金支持，将会有力地推动植物修复技术在实际治理工作中的应用^[10]。植物修复作为一种进展相对迟缓的治理方式，其治理效果往往需历经数年乃至数十年方可呈现出来，故而极有可能遭遇短期成效不够显著的难题。在此种情形下，公众与政府所给予的长期支持在该技术的推广应用进程中便显得格外关键，借助政策加以引导、开展科普宣传活动以及推动公众积极参与，植物修复技术在城市污染治理方面的未来发展前景将会更为广阔，这不但会为污染土壤治理呈上更为可持续的技术手段，而且还能为城市生态环境的改良带来更为持久的积极影响。

六、结语

植物修复技术是生态友好的污染治理方法，在城市土壤污染治理中前景广阔，它利用植物自然作用去除污染物，具环境友好与成本优势。虽在复杂污染和高浓度情况下面临挑战，但随着技术创新、品种改良和政策支持加强，有望成为重要手段。合理选择植物和优化策略，能为城市生态改善和可持续发展持久贡献，是未来城市污染治理的重要方向一。

参考文献

- [1] 赖文佳. 我国土壤污染治理现状分析与对策 [J]. 新农业, 2022, (10): 71–72.
- [2] 汪峰. 有色金属矿业城市典型村镇土壤重金属污染特征及风险评估 [D]. 合肥工业大学, 2022.DOI: 10.27101/d.cnki.ghfgu.2022.001206.
- [3] 谭垚. 城市表层土壤重金属污染研究 [J]. 大众科技, 2022, 24(01): 28–31.
- [4] 胡振园, 赵卉, 闫宝兴. 植物生态修复技术在城市公园绿地重金属污染土壤中的应用研究 [J]. 环境科学与管理, 2023, 48(12): 139–142.
- [5] 樊小磊, 高柏. 重金属污染土壤的植物修复机理及其强化技术 [J]. 工业安全与环保, 2023, 49(11): 97–103.
- [6] 于海跃, 陈成, 郭一珂, 等. 土壤污染的植物修复及其强化技术专利文献分析 [J]. 自然资源情报, 2023, (11): 50–57.
- [7] 张建宇. 河道内水生植物曝气浮岛生态修复技术 [J]. 黑龙江生态工程职业学院学报, 2023, 36(05): 56–59+86.
- [8] 赵宇, 艾雯妍, 文思颖, 等. 微生物 – 植物联合修复镉污染农田土壤技术与应用 [J]. 生态毒理学报, 2022, 17(06): 144–162.
- [9] 周泽建, 邓利, 苏杰南. 污染场地植物修复技术课程教学改革与实践 [J]. 广西教育, 2022, (27): 142–144+161.
- [10] 朱国华. 植物修复技术在环境治理的应用 [J]. 山西化工, 2021, 41(03): 208–209+212.