

# 生物修复技术在土壤污染治理中的应用价值与方法研究

李芬<sup>1</sup> 刘春梅<sup>1</sup> 武玉龙<sup>2</sup>

1 汉江检测（湖北）股份有限公司 2 武汉智汇元环保科技有限公司

DOI:10.12238/eep.v8i2.2493

**[摘要]** 随着工业化进程的加快,土壤污染日益严峻,尤其是重金属、农药和有机污染物的积累,给生态环境和人类健康带来巨大威胁。生物修复技术作为一种环境友好的污染治理方法,通过利用微生物、植物等生物体的自然降解能力,逐步成为土壤污染治理的重要手段。该技术具有成本低、操作简便、可持续性强等特点,尤其在长期治理中表现出较好的效果。然而,技术的应用仍面临诸如修复速度较慢、污染种类局限等挑战。因此,深入研究生物修复技术的应用价值与方法对于推动其广泛应用具有重要意义。

**[关键词]** 土壤污染; 生物修复技术; 治理方法; 环境保护; 可持续性

中图分类号: X131.3 文献标识码: A

## Research on the Application Value and Methods of Bioremediation Technology in Soil Pollution Control

Fen Li<sup>1</sup> Chunmei Liu<sup>1</sup> Yulong Wu<sup>2</sup>

1 Hanjiang Testing (Hubei) Co., LTD. 2 Wuhan Zhihui Yuan Environmental Protection Technology Co., LTD.

**[Abstract]** With the acceleration of industrialization, soil pollution is becoming increasingly severe, especially the accumulation of heavy metals, pesticides, and organic pollutants, which pose a huge threat to the ecological environment and human health. Bioremediation technology, as an environmentally friendly pollution control method, has gradually become an important means of soil pollution control by utilizing the natural degradation ability of microorganisms, plants and other organisms. This technology has the characteristics of low cost, easy operation, and strong sustainability, especially showing good results in long-term governance. However, the application of technology still faces challenges such as slow repair speed and limited types of pollution. Therefore, in-depth research on the application value and methods of bioremediation technology is of great significance for promoting its widespread application.

**[Key words]** soil pollution; Bioremediation technology; Governance methods; environmental protection; Sustainability

### 引言

土壤污染已成为全球环境问题之一,尤其在工业化和农业化迅速发展的地区,污染状况尤为严重。传统的物理、化学治理方法虽能有效减少污染,但往往伴随高昂成本和二次污染的风险。相比之下,生物修复技术通过借助自然生物过程实现对污染物的降解与转化,展现了较好的优势。近年来,随着生物修复技术的不断发展和创新,其在土壤污染治理中的应用逐渐深入,尤其在重金属、有机物和农药污染的治理中取得了很好的成果。然而,生物修复技术在实际应用中仍面临着适用性、效率及效果持久性等方面的问题。研究并解决这些问题对于提升其应用效果及普遍推广具有重要的现实意义。

### 1 土壤污染的概述

土壤污染是指有害物质通过人为或自然途径进入土壤系统,导致土壤质量下降、生态功能丧失的现象。当前,土壤污染已成

为全球环境面临的重要问题,尤其在工业化和农业化进程较为迅速的地区,污染状况尤为严重。常见的污染物包括重金属、有机污染物(如农药、化肥残留)以及石油类物质等(如图1)。重金属污染,尤其是铅、镉、汞、砷等元素对土壤和生态系统具有长期的负面影响,这些物质不仅难以降解还可通过食物链传递,最终危害人类健康。

土壤污染的来源主要包括工业废水和废气的排放、农业活动中的过度施肥和农药使用,以及城市垃圾处理不当等。工业排放和矿产开采过程中,重金属和有毒化学物质大量积累在土壤中。农业生产中化肥和农药的过量使用不仅导致土壤酸化、盐碱化,还引起了土壤微生物群落的失衡。随着污染物在土壤中的积累,土壤的物理化学性质发生变化,影响土壤的水分保持能力、养分供应能力及其生态功能<sup>[1]</sup>。

土壤污染不仅威胁土壤生态环境,还对农业生产和生物多

样性造成长期危害,因此,开展土壤污染治理,尤其是探索新型、绿色的治理技术已成为急需解决的问题。

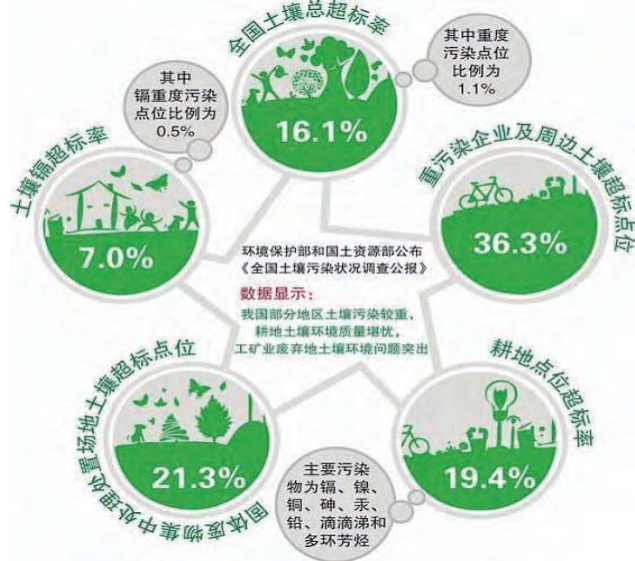


图1 土壤污染类型

## 2 生物修复技术的应用价值

### 2.1 环境友好与可持续性

生物修复技术作为一种环境友好的污染治理手段,具有显著的可持续性。其核心原理是利用自然界中的微生物、植物及其共生系统,将有害污染物转化为无害或低害物质。这一过程不仅减少了污染物的浓度,还恢复了土壤的生态功能。在污染土壤中,微生物能够通过降解、转化和固定污染物来恢复土壤质量。例如,某些微生物可以降解石油类污染物,转化有毒化学物质为可溶性无害化合物,减少其对环境的危害。与传统的物理和化学修复方法相比,生物修复具有较低的能源消耗和较小的环境扰动。此外,生物修复技术的适应性强,能够根据不同类型的污染土壤进行定制化修复。由于生物修复依赖天然生物过程,不需要添加大量的外部化学物质,避免了二次污染的风险。因此,在长期治理过程中,生物修复能够保持较高的生态友好性,促进土壤生态系统的恢复与健康。

### 2.2 经济效益与成本效益

生物修复技术在经济效益上相较于传统治理方法具有明显优势。传统化学修复通常依赖高能耗设备和大量化学药剂,成本高且可能引发二次污染。生物修复通过利用自然生物资源降解污染物,成本低、能耗小,且无需复杂设备,适合大规模土壤治理。微生物和植物修复技术不仅能降低污染物浓度,还能改善土壤结构与功能,提升农业生产力和生态系统健康性。长期来看,生物修复通过恢复土壤的自然净化能力,降低了治理的后续投入成本<sup>[2]</sup>。因此,从经济效益角度来看,生物修复技术的投入产出比具有明显优势,能够为各类污染土壤的治理提供可行的解决方案。对于受污染土地地再利用和资源的持续开发,生物修复技术展现出巨大的经济潜力。

### 2.3 较广的适用性与多功能性

生物修复技术具有较广的适用性,能够有效应对多种类型的土壤污染。不同于传统的单一治理方法,生物修复能够针对土壤污染的具体性质灵活选择修复技术。在重金属污染治理中,某些植物具有超富集能力,能够吸收并积累土壤中的重金属,通过植物提取、转化或稳定污染物,减少土壤中的有害物质浓度。

此外,微生物修复能够有效降解有机污染物,如石油烃、农药和工业溶剂等,微生物通过降解和代谢作用将这些污染物转化为无害产物或低毒化合物。植物和微生物的联合修复技术也显示了其多功能性,这种方法不仅可以同时处理多种污染物,还能提高修复效果和缩短修复周期。生物修复技术的多功能性使其成为处理复杂污染土壤的有效手段,尤其在农田污染、矿区修复等领域,能够根据污染物的种类与浓度进行优化组合,达到最佳修复效果。

## 3 生物修复技术的应用方法

### 3.1 微生物修复法

微生物修复法是利用微生物的代谢作用,降解、转化或固定土壤中的污染物,从而达到修复污染土壤的目的<sup>[3]</sup>。微生物修复的基本机制包括生物降解、生物转化和生物吸附。生物降解是指微生物通过其代谢活动,将有害的有机污染物转化为无毒或低毒的物质,如二氧化碳和水。对于重金属污染,某些微生物能够通过生物还原、沉淀等过程,将其转化为不溶性化合物或沉积物,从而降低其在土壤中的生物有效性。微生物修复技术在重金属、有机污染物、石油污染等方面表现出了较好的修复效果。相比其他修复方法,微生物修复具有较高的环境友好性和较低的操作成本。其优势在于无需大规模搬运污染土壤或添加化学药剂,避免了二次污染的产生。此外,微生物修复的过程通常较为温和,适合在自然环境条件下进行,因此具有较强的可持续性。

微生物修复法的实施方式有两种:原位修复和异位修复。原位修复是在污染土壤现场直接进行修复,不需要将土壤移除,有利于减少修复成本和环境扰动;异位修复则是将污染土壤转移至修复场所,进行更集中的治理。尽管微生物修复技术在实际应用中具有诸多优点,但其仍面临一些挑战,尤其是修复效率较低、修复过程受环境条件限制较大、修复周期较长等问题。因此,优化微生物修复体系、提高微生物的降解能力和适应性是当前研究的重要方向。

### 3.2 植物修复法

植物修复法利用植物吸收、转化、积累或固定土壤中的污染物,通过植物与土壤、空气、水体等介质的相互作用,实现污染治理。该技术包括植物提取、植物降解、植物吸附及植物-微生物协同作用等。植物通过根系吸收水溶性污染物,如重金属和有机污染物,并将其积累在植物体内特定部位,从而实现污染物的移除或转化。在处理有机污染物时,植物根系分泌的酶类物质能够加速污染物的降解。对于重金属污染,某些植物通过生物富集作用,将重金属转化为毒性较低或无害的化学形式,从而降

低其危害性。植物修复技术具有自然、经济、可持续等优势,与化学修复方法相比,能耗低、成本小且无二次污染,适合大规模土壤修复,尤其在治理重金属污染、石油污染和农药污染方面表现突出。然而,其效果受到植物种类、污染物浓度及环境条件的限制。近年来,植物与微生物协同修复成为研究热点,植物根系促进微生物生长,微生物降解污染物,二者协同作用显著提高修复效率和效果。

### 3.3 联合修复技术

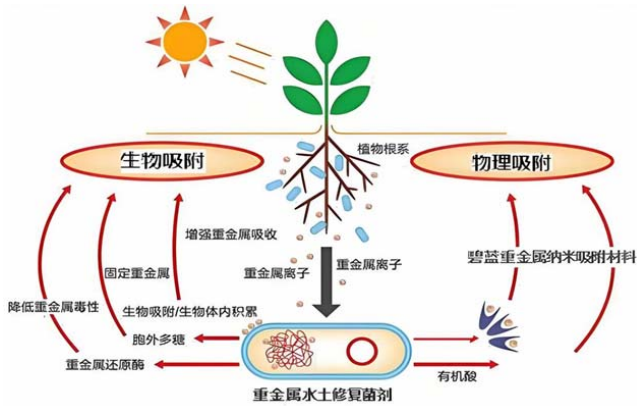


图2 土壤修复工艺示意图

联合修复技术是将多种修复手段(如微生物修复、植物修复、化学修复等)相结合,以克服单一修复技术的局限性,提高修复效率的一种综合性方法。土壤污染的复杂性决定了单一修复方法在某些情况下的修复效果有限,因此联合修复成为一种有效的土壤污染治理策略。联合修复技术的核心思路是根据土壤污染的类型、污染物的性质以及环境条件的不同,选择适当的修复方法进行组合,从而在较短时间内实现更高效的治理效果。常见的联合修复技术包括植物与微生物的协同修复、化学氧化与微生物修复的联合应用等。植物与微生物的联合修复技术利用植物的吸附、富集作用和微生物的降解作用相结合,能够显著提高污染物的去除效率(如图2)。在重金属污染土壤中,某些植物能够通过根系积累重金属,而微生物则通过还原、沉淀等方式降低重金属的生物可利用性,从而有效减少土壤中的重金属污染物。此外,化学修复与微生物修复的结合也表现出了较好的应用

前景<sup>[4]</sup>。化学氧化技术可以快速降解土壤中的有机污染物,而微生物修复则在后期继续维持土壤的修复效果,减少二次污染的发生。联合修复的优势在于能够针对不同污染物采取针对性措施,通过多种修复机制的协同作用,克服单一方法的不足,提高土壤修复的效率和持续性。尽管联合修复具有较强的适应性和效果,但其应用中也面临一些挑战,如技术操作复杂性较高、修复成本较大、环境条件对修复效果的影响等。因此,进一步研究和优化联合修复技术的实施路径,制定针对不同土壤污染类型的修复方案,是当前学术界和实践领域的重点任务。

### 4 结论

生物修复技术作为一种环境友好、经济高效的土壤污染治理方法,展现了显著的应用潜力。其通过利用自然界中的微生物、植物及其共生系统,能够有效降解和转化污染物,恢复土壤的生态功能,并且具有较低的操作成本和较小的环境负担。然而,生物修复技术在实际应用中仍面临一些挑战,如修复速度较慢、适用性受到污染类型的限制等。未来的研究应集中于提高修复效率、优化微生物和植物的选育及培养技术,拓宽生物修复技术的适用范围。通过不断优化和创新,生物修复技术有望成为土壤污染治理的核心手段之一,对推动环境保护和可持续发展具有重要意义。

### [参考文献]

- [1]王克垒,高晓梅.土壤污染治理中生物修复技术的作用与具体应用方法研究[J].皮革制作与环保科技,2024,5(03):88-90.
- [2]宋萌萌,张信成.土壤污染治理中生物修复技术的应用研究[J].清洗世界,2023,39(08):142-144.
- [3]赵冬梅.生物修复技术在土壤污染治理中的应用[J].黑龙江科学,2022,13(14):70-72.
- [4]李冬,范晓琳.生物修复技术在土壤污染治理中的应用[J].节能与环保,2019,(07):109-110.

### 作者简介:

李芬(1991—),女,汉族,湖北荆门人,本科,武汉轻工大学,工程师,研究方向:环境工程。