

Analysis on Phytoremediation Technology of Organic Polluted Soil

Yan Xu^{1,2,3,4}, Chendi Shi^{1,2,3,4}

¹Key Laboratory of Degraded and Unused Land Consolidation Engineering, the Ministry of Natural Resources of China, Xi'an Shaanxi

²Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group, Xi'an Shaanxi

³Institute of Land Engineering and Technology, Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group, Xi'an Shaanxi

⁴Shaanxi Provincial Land Consolidation Engineering Technology Research Center, Xi'an Shaanxi

Email: 1213349323@qq.com

Received: Dec. 18th, 2019; accepted: Dec. 31st, 2019; published: Jan. 7th, 2020

Abstract

In recent years, the situation of soil organic pollution is quite serious. It not only destroys the health of the soil, the normal growth of plants, but also seriously harms the human health. Phytoremediation technology has the advantages of completely solving soil pollution, avoiding secondary pollution and improving the soil quality. As an environmentally friendly and low-cost pollution remediation method, it has broad application prospects. Through a large number of literatures, this paper discussed the repair mechanism, current status and influencing factors of different organic pollutants on plants, and provided the basis for phytoremediation practice of organic contaminated soil.

Keywords

Organic Pollution, Soil, Mechanism, Influencing Factors

有机污染土壤植物修复技术研究

徐艳^{1,2,3,4}, 师晨迪^{1,2,3,4}

¹自然资源部退化及未利用土地整治工程重点实验室, 陕西 西安

²陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 陕西 西安

³陕西地建土地工程技术研究院有限责任公司, 陕西 西安

⁴陕西省土地整治工程技术研究中心, 陕西 西安

Email: 1213349323@qq.com

收稿日期: 2019年12月18日; 录用日期: 2019年12月31日; 发布日期: 2020年1月7日

摘要

近年来, 土壤有机污染形势也非常严峻, 不仅破坏土体健康, 影响植物正常生长, 还会严重危害人体健康。植物修复技术具有彻底解决土壤污染、避免二次污染及改良土壤等优势, 作为一种环境友好、成本低廉的污染治理手段, 应用前景广泛。本文通过大量文献, 探讨了植物对不同类有机污染土壤的修复机理, 现状及影响因素, 为土壤有机污染修复实践提供依据。

关键词

有机污染, 土壤, 机理, 影响因素

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

土壤有机污染物由于在环境中的持久性和对人体健康的潜在威胁越来越受到人们的关注[1]。残留在土壤中的有机污染物, 不仅会改变土壤的正常结构和功能, 而且会通过食物链进入人体, 对人类健康造成不可估量的影响[2]。因此, 对土壤中有机污染物的修复已成为环境领域的一个研究热点。研究表明植物修复对多种有毒、有害有机物污染的土壤具有一定效果, 是一种环保高效的生物修复途径[3]。本文通过大量文献调研, 综述植物对不同类有机污染土壤的修复机理, 现状及影响因素, 为土壤有机污染修复实践提供依据。

2. 有机污染植物修复机理

植物修复是利用天然植物忍耐和超积累功能, 或利用植物及其根际微生物体系将污染物降解转化为无毒物质, 通过植物在生长过程中对环境有机污染物进行吸收、降解、过滤和固定等来净化土壤中的污染物[4]。有机污染物的理化性质、环境条件、植物种类等都影响着修复效果, 植物修复土壤有机污染物的机理有3种: 植物直接吸收、根系分泌物促进污染物的降解和转化、根际作用增强微生物降解。

1、直接吸收分解与蒸腾作用

植物吸收外来物质后, 一般会经历转化、结合和隔离三个过程[1]。植物从土壤中直接吸收有机污染物将其代谢分解, 并经木质化作用使其成为植物的一部分; 或通过矿化作用使其彻底分解为 CO_2 和 H_2O ; 还可以通植物叶片蒸腾作用释放到大气中。

研究表明, 植物有效吸收的前提一是积累的代谢产物无毒或毒性低于转化之前; 二是污染埋深 $\leq 1\text{ m}$ 且辛醇水分分配系数为 1~3.5, 该区间包括大部分苯系物, 有机氯溶剂和短链脂肪烃等[5]。

2、植物根系分泌物降解和转化

植物根系可向土壤中释放大量分泌物, 约占植物年光合作用的 10%~20% [4]。这些根际分泌物, 不仅增加了根际微生物数量, 为其提供有机碳源而有效提高生物降解效率; 同时释放的脱卤酶、硝酸还原

酶、过氧化物酶及有机酸等可大大提高对有机污染物的分解及吸收转运能力。

3、增强微生物降解

根际是土壤、根系及其各种分泌物, 微生物及残体, 水分, 养分等相互作用的微生态体系。根系分泌物在增强根际微生物活性的同时, 微生物活动也促进了根系分泌物的释放, 二者共同促进了根际有机污染物的降解。植物根际微生物降解作用被认为是植物修复土壤有机污染物的主要途径[6] [7]。鲁莽等[8]研究表明, 试验 70 d 后, 非根际与根际土壤总石油烃降解率分别为 11.8%和 27.4%, 根际土壤总石油烃消失更快。

3. 有机污染物植物修复研究现状

1、石油类污染物的植物修复

石油主要是由各种烃类组成的复杂混合物, 其成分利用层析法可分为饱和烃、芳香烃和非烃类化合物[9] [10]。自然状态下因芳香烃和非烃类化合物分子结构较为复杂, 熔沸点较高, 难于挥发和降解, 因此土壤中石油类残余的毒害成分主要是较难降解的多环芳烃和非烃类化合物。目前国内关于石油污染土壤的植物修复技术主要集中在以下方面: 1) 石油污染对植物生长状况的影响, 包括发芽率, 株高、生物量、根系、叶片的叶绿素, POD 活性、SOD 活性等[11] [12]; 2) 植物对总石油烃的去除效果及土壤酶活性的影响[13] [14]; 3) 植物根系对根际微生物土壤数量和群落结构的影响等[15]; 4) 石油污染物在土壤中迁移行为等[16]。已有研究表明, 草本植物和豆科植物较其它植物种类在石油污染物根际修复具有更大潜力。陈嫣等(2005) [17]以石油浓度为 6.15%的大庆油田石油开采区污染土壤为供试土壤, 结果发现披碱草和紫花苜蓿根系可明显改善石油污染土壤的持水能力和微生物活性。董亚明等[18]研究了芦苇、柽柳、沙枣对石油污染土壤的修复效果, 结果表明 80 d 后, 污染土壤中石油烃的去除率可达 26.50%~31.27%, 明显高于空白的 15.57%~20.34%。Xu 等[19]研究了玉米和黑麦草联合种植对菲和芘的修复效果, 60 d 后去除率分别高达 98.22%和 95.81%。植物修复中根系是植物修复的关键, 因而使用环境适应性强生长性好并具有较深较发达根系的植物, 能有效提高石油烃类有机污染物的修复效果。

2、有机农药的植物修复

滴滴涕(DDT)是一种高效杀虫剂, 常用于 DDT 等有机氯农药的修复植物有: 黑麦草、苏丹草、高羊茅、小麦、大麦、燕麦、龙葵、西红柿、印度芥菜、蕉芋、小白酒草、甘薯等。大量实验结果表明, 植物对 DDT 等有机类污染物有一定修复能力但存在周期长、修复物种不丰富和不彻底等问题, 因此添加适当的调控措施或联合微生物, 化学修复等以优化植物修复技术具有一定的研究意义[20]。

多氯联苯(PCBs)是一类人工合成的氯代芳香烃类持久性有机污染物(POPs)。PCBs 是高憎水化合物, 具有高亲脂性和生物蓄积性, 可通过食物链的逐级生物放大作用危害动物和人体健康。PCBs 进入植物体内, 植物可将其分解, 并通过木质化作用使其成为植物体的组成部分, 也可通过挥发、代谢或矿化作用使其转化成 CO_2 和 H_2O , 或转化成无毒性中间代谢物如木质素等储存在植物细胞中, 达到去除环境中有机污染物的目的。张雪等(2016) [21]研究表明种植苜蓿可明显提高土壤中微生物的多样性, 降低土壤中 PCBs 含量, 实验第一年和第二年 PCBs 的降解效率分别为 31.4%和 78.4%。

3、多环芳烃的植物修复

多环芳烃(PAHs)是指含 2 个及 2 个以上苯环的碳氢化合物及由它们衍生出的各种化合物总称, 是一类具有“三致”作用的持久性有机污染物。其中的 16 种 PAHs (分别为: 萘、蒽、蒽烯、芘、菲、葱、荧蒽、芘、苯并[a]葱、蒎、苯并[a]芘、苯并[b]荧蒽、苯并[k]荧蒽、二苯并[a, h]葱、苯并[ghi]芘及芘并[1, 2, 3-cd]芘)已被美国环保署和欧洲共同体列入优先控制污染物名单[22]。它主要由人类活动产生, 以废物焚烧和化工燃料不完全燃烧产生的烟气(包括汽车尾气)和工厂(特别是炼焦、炼油、煤气厂)排出物为

主。

研究表明, 与其他植物相比玉米可更好地吸收和积累土壤中的多环芳烃(2-4 环), 因此更适合生长在受多环芳烃污染的酸性土壤中[23]。紫花苜蓿对萘和菲的吸收降解效果明显, 这主要是因为植物根系的存在[24]。黑麦草/苜蓿间作对土壤中菲的去除率高达 90.53%, 且间作修复效果优于单作[25]。另外, 黑麦草对苯并芘具有很好的修复效果[23]。

4. 植物修复有机污染物的影响因素

1、污染物的理化性质

植物对土壤中有机污染物的修复效果直接取决于污染物的生物可利用性, 并与污染物的理化性质如疏水性、蒸气压、分子大小、分子结构、解离常数等有关[1]。有机污染物的分子质量和分子结构会影响植物的修复效率, 一般分子质量 < 500 的有机化合物如结构简单的饱和烃等易被植物吸收降解, 而分子质量较大的非极性有机化合物如多环芳烃和非烃类化合物等, 因被根表面强烈吸附, 很难被植物降解。

2、植物种类

植物种类不同, 对污染物的吸收机制也存在差异。一是不同植物蒸腾作用强度不同, 对污染物的吸收转运能力不同。二是植物不同部位累积污染物的能力不同。大部分植物其根系累积污染物的能力大于茎叶和果实, 且须根系比主根系具有更大的比表面积, 且通常处于土壤表层, 吸收污染物的数量较主根系更多[26]。

3、土壤性质

土壤理化性质如颗粒组成、酸碱性、矿物质和有机质含量及土壤水分等对植物吸收污染物具有显著影响。土壤颗粒比表面积的大小影响污染物的生物可给性; 矿质含量高的土壤对离子性有机污染物的吸附能力较强, 而有机质含量高的物质会吸附或固定大量的疏水性有机物[12]。

4、外界环境条件

外界环境条件包括气象条件和人为条件。气象条件包括风力、湿度、温度等主要通过影响污染物的挥发和植物的蒸腾作用, 进而影响土壤和植物对有机污染物的吸附和分配能力。人为条件包括补充微生物, 添加外源营养物质, 加入表面活性剂等, 促进植物与根际微生物对有机污染物的吸收与降解。Lin 等(1998) [27]采用互花米草和狐米草来修复不同浓度石油污染沼泽地, 研究表明投加一定量的无机肥, 促进了两种沼泽植物生物量的积累, 同时刺激了土壤微生物的活性, 从而提高了石油降解率。

5. 结论与展望

目前土壤有机污染问题已成为国内外关注的焦点, 土壤污染治理迫在眉睫。植物修复技术具有费用低、操作简单、对土壤破坏小、无二次污染等优点, 应用前景广泛; 但也存在一定局限性, 如因土壤结构、理化组成等复杂性, 不同种类有机污染物常以多种形态存在, 许多学者对不同形态与土壤颗粒间的相互作用进行了研究, 但对复杂石油组分在土壤-油-水多相间的分配、迁移规律等问题仍不清楚, 需从微观机理方面进一步探究; 植物修复易受外界环境影响, 且修复速度慢, 周期长, 不适用于高浓度污染土壤, 可通过基因工程和酶工程开发高效降解菌, 建立微生物-植物联合修复体系以提高修复效率; 此外, 需加强复合污染植物的研究, 通过环境生物技术, 培育新的植物品种, 实现同时对多种持久性有机污染物的吸附降解。

参考文献

- [1] 唐景春. 石油污染土壤生态修复技术与原理[M]. 北京: 科学出版社, 2014: 1-3.

- [2] 杜卫东, 万云洋, 钟宁宁, 等. 土壤和沉积物石油污染现状[J]. 武汉大学学报, 2011, 57(4): 311-312.
- [3] 刘世亮, 骆永明, 丁克强. 土壤有机污染物的植物修复研究进展[J]. 土壤, 2003, 35(3): 187-190.
- [4] 温小乐, 杨燕娜. 有机污染土壤的生物修复实践及其发展前景[J]. 环境科学与技术, 2008, 31(7): 63-65.
- [5] 刘健. 玉米、黄豆、黑麦草、紫花苜蓿对酸性土壤中石油的去除效果研究[D]: [硕士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2012.
- [6] Afazl, M., Yousaf, S., Reichenauer, T.G., Kuffner, M. and Sessitsch, A. (2011) Soil Type Affects Plant Colonization, Activity and Catabolic Gene Expression of Inoculated Bacterial Strains during Phytoremediation of Diesel. *Journal of Hazardous Materials*, **186**, 1568-1575. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.12.040>
- [7] Liu, R., Xiao, N., Wei, S., Zhao, L. and An, J. (2014) Rhizosphere Effects of PAH-Contaminated Soil Phytoremediation Using a Special Plant Named Fire Phoenix. *Science of the Total Environment*, **4**, 350-358. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.12.027>
- [8] 鲁莽, 张忠智, 孙珊珊, 等. 植物根际强化修复石油污染土壤的研究[J]. 环境科学, 2009, 30(12): 3703-3708.
- [9] 柳广弟. 石油地质学[M]. 第4版. 北京: 石油工业出版社, 2009: 25-33.
- [10] 卢双舫, 张敏. 油气地球化学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008: 35-40.
- [11] 陈志刚, 张红蕊, 周晓红, 等. 铝胁迫对黑麦草种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 水土保持研究, 2011, 18(4): 208-210.
- [12] 朱艳清. 几种作物对石油污染土壤的耐受性及修复效果研究[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 辽宁工程技术大学, 2011.
- [13] 冯程程, 卢嫚, 苏鑫. 大庆油田石油污染土壤磷酸酶促反应特征研究[J]. 环境科学与技术, 2019, 42(7): 31-37.
- [14] 朱秀雨, 王柱, 李国军. 石油污染土壤生物修复中的漆酶活性变化研究[J]. 环境科学与管理, 2019, 44(8): 104-108.
- [15] 王拓, 唐璐, 栾玥, 张淼, 等. 小黑麦对石油污染盐碱土壤细菌群落与石油烃降解的影响[J]. 生态学报, 2019, 39(24): 1-9.
- [16] 张博. 石油污染物在土壤中迁移规律及修复技术研究[D]: [博士学位论文]. 沈阳: 东北石油大学, 2017.
- [17] 陈嫣, 李广贺, 张旭, 等. 石油污染土壤植物根际微生态环境与降解效应[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2005, 45(6): 784-787.
- [18] 董亚明, 赵朝成, 蔡芸, 等. 新疆石油污染土壤植物修复特性研究[J]. 干旱区研究, 2013, 30(1): 162-165.
- [19] Xu, S.Y., Chen, Y.X., Wu, W.X., et al. (2006) Enhanced Dissipation of Phenanthrene and Pyrene in Spiked Soils by Combined Plants Cultivation. *Science of the Total Environment*, **363**, 206-215. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.05.030>
- [20] 李思雯. DDT 污染土壤植物修复技术的研究[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 沈阳大学, 2016.
- [21] 张雪, 刘维涛, 梁丽深. 多氯联苯(PCBs)污染土壤的生物修复[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(1): 1-2.
- [22] 张晶, 陈冠群, 魏俊峰. 多环芳烃污染土壤修复技术研究进展[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(8): 70-72.
- [23] 赵颖, 刘利军, 党晋华, 等. 不同植物与玉米间作对玉米吸收多环芳烃和重金属的影响[J]. 环境工程, 2014, 32(7): 138-141.
- [24] 沈源源, 滕应, 骆永明, 等. 几种豆科、禾本科植物对多环芳烃复合污染土壤的修复[J]. 土壤, 2011, 43(2): 253-257.
- [25] 张晓斌, 梁宵, 占新华, 等. 菲污染土壤黑麦草苜蓿间作修复效应[J]. 环境工程学报, 2013, 7(5): 1974-1978.
- [26] 孟梁. 根系分泌物及其在有机污染土壤修复中的作用[J]. 上海农业学报, 2013, 29(2): 90-94.
- [27] Lin, Q. and Mendelsohn, I.A. (1998) The Combined Effects of Phytoremediation and Biostimulation in Habitat Restoration and Oil Degradation of Petroleum Contaminated Wetlands. *Ecological Engineering*, **10**, 263-274. [https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(98\)00015-9](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(98)00015-9)