

# Technology and Prospect of Phytoremediation for Petroleum Contaminated Soil

Zhenzhou Wang\*, Panliang Liu#, Yali Zheng, Chunhui Li, Bin Yue

The Engineering Research Center of Mining Pollution Treatment and Ecological Restoration of Gansu Province, College of Geography and Environmental Engineering, Lanzhou City University, Lanzhou Gansu  
Email: 790943555@qq.com, #liupl1990@126.com

Received: Sep. 4<sup>th</sup>, 2019; accepted: Sep. 23<sup>rd</sup>, 2019; published: Sep. 30<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

Nowadays, the treatment of petroleum hydrocarbon contaminated soil has become a hot topic. The extraction of petroleum hydrocarbons from contaminated soil has become an important topic at this stage. In this paper, the phytoremediation technology of petroleum-contaminated soil, the mechanism of phytoremediation of petroleum-contaminated soil, the influencing factors and research progress, as well as the further research fields needed in the future, are reviewed, and the advantages and disadvantages of phytoremediation technology are discussed.

## Keywords

Petroleum-Contaminated Soils, Phytoremediation Techniques, Drought-Tolerant Plants

---

# 植物修复石油污染土壤技术展望

王振州\*, 刘攀亮#, 郑雅丽, 李春辉, 岳 斌

兰州城市学院地理与环境工程学院, 甘肃省矿区污染治理与生态修复工程研究中心, 甘肃 兰州  
Email: 790943555@qq.com, #liupl1990@126.com

收稿日期: 2019年9月4日; 录用日期: 2019年9月23日; 发布日期: 2019年9月30日

---

## 摘 要

现如今石油烃污染土壤的治理已经成为一个研究热点, 其中, 对污染土壤中石油烃的提取成为了现阶段

---

\*第一作者。

#通讯作者。

的一个技术难点。本文综述了石油污染土壤的植物修复技术，植物修复石油污染土壤的机理，影响因素和研究进展，以及今后所需进一步的研究领域，并对植物修复技术的优缺点进行了讨论。

## 关键词

石油污染土壤，植物修复技术，耐旱植物

Copyright © 2019 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

石油，是一种粘稠的、深褐色的液体，被称为“工业的血液”，主要储存于地壳的上层。石油的性质因为它的产地不同而性质不同，密度约为  $0.8\sim 1.0\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ，十分粘稠，凝固点相差很大( $30^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ )，沸点范围为常温到  $500^{\circ}\text{C}$  以上，不溶于水，可溶于多种有机溶剂，可与水形成乳状液体。石油烃中主要含有烷烃，环烷烃，芳香烃，不饱和烃等多种烃类化合物。其主要元素是 C、H、S、N、O，此外还含有微量的 Fe、Ni、V、Cu 等金属元素。石油主要被用作燃油和汽油，是目前世界上最重要的二次能源之一。伴随着工业技术飞速的发展，石油资源在经济运行中的所处的地位十分重要，然而石油在满足人类的需要的同时，也不可避免的造成大量污染。20 世纪 80 年代，石油污染问题就得到了普遍关注。

被石油污染的土壤，能破坏土壤结构，抑制植物的根系生长，严重的污染土壤可抑制植物生长。石油烃能通过渗透作用进入地下井，造成地下水污染。如何处理石油污染土壤问题已经成为热点话题。对石油污染土壤的修复方法有很多，如物理、化学和生物方法。20 世纪 90 年代以来，植物修复石油他污染土壤逐渐走进人们的视野中，并且越来越受到重视。

## 2. 植物修复石油烃污染土壤

### 2.1. 植物修复技术的定义

植物修复被污染的土壤主要是利用植物在生长过程中，对土壤中的污染物质进行吸收、转化和转移，从而使土壤环境恢复到正常的生态环境功能的修复方式[1] [2]。植物修复技术的理论研究在很早就开始了，对于植物修复，人们首先是从其对土壤中重金属污染的修复开始研究的，在人们渐渐意识到土壤中石油类物质污染的严重性时，才逐渐扩大了植物修复手段的应用领域[3] [4]。现如今，植物修复技术被广泛应用于治理石油烃污染土壤方面，但仍需改进。

### 2.2. 植物修复技术的机理

植物主要通过三种途径去除土壤中的有机污染物，即植物直接吸收土壤中有机污染物；植物受到刺激之后释放分泌物和酶，刺激根区微生物活性和生物转化作用；植物增强根区的矿化作用。

#### 2.2.1. 植物吸收

植物在污染土壤中直接吸收有毒物质，然后将吸收的有毒物质运送到植物组织中。其中，植物可以分解部分有毒物质。植物吸收有毒物质经过挥发，代谢能够转化为二氧化碳和水。植物吸收是去除有机污染物的有效途径之一，如凌婉婷等[5]研究 20 种植物根对土壤中多环芳烃菲，芘的吸收作用，得出不同植物根中菲，芘的含量和根系富集系数与根的脂肪含量呈显著正相关。

### 2.2.2. 植物积累

植物积累是根系直接将有机污染物质吸收并转移到其它组织的过程[6]。研究表明, 水稻根系即可大量吸收积累多环芳烃[7]。由于石油烃中有机污染物使土壤中饱和化学键断开, 因此植物不能直接吸收土壤中积累的有机物质。有机污染物被吸收后, 在被木质部的蒸腾流转移到植物其他组织之前必须进入到共质体内, 以克服根内皮层凯氏带的阻碍作用[8]。但是, 植物在根系中吸收了大量的有机物, 不能及时分解, 导致残留在土壤中。因此能将污染物质从根部转运到地上部分的植物, 才能真正做到将污染物质从土壤中去除[9]。植物将有机物和有毒物质积累在植物根部, 随着时间的推移进行降解。然而, 时间比较漫长, 这也是植物修复的一个弊端。

### 2.2.3. 植物降解

植物降解是指植物自身新陈代谢作用, 吸收土壤中有机物质, 在一些酶的作用下, 使有毒物质转化为毒性较弱或无污染物质的过程。污染物质到达根际周围后, 亲脂性的有机物或者被抑制吸收, 或者通过木质化作用等转化为植物细胞组成成分, 再或者是经过一系列的挥发、代谢、矿化等过程, 最终转变为植物体易于吸收和排放的二氧化碳、水、毒性较小或基本无毒的中间代谢物[10]。具体来讲, 有机物首先要经历相 I 反应, 而这一反应中, 细胞色素 P-450 酶系发挥最重要作用, 在它的催化下有机污染物发生羟基化、氧化脱硫等变化; 谷胱甘肽转移酶则促进了相 II 反应即结合反应, 而结合反应对植物解毒尤为重要, 它使得有机污染物毒性基团失活并生成极性大、易溶于水的有机物[11]。

## 2.3. 植物修复技术的优缺点

目前, 石油烃污染土壤修复技术中, 最常见的是物理法修复, 化学修复法, 植物修复法, 微生物修复法。早在 20 世纪 80 年代前, 并没有植物、微生物修复技术, 广泛应用的技术是物理修复法、化学修复法。物理法是指利用物理手段, 通过改变污染物质的浓度、迁移性、水溶性等物理性质而修复污染土壤的方法, 常用的有固化稳定化、热处理、热解吸、隔离法等, 其目标污染物主要为重金属; 化学法是向土壤中添加化学修复剂或改良剂, 利用修复剂或改良剂与污染物之间的氧化还原、吸附、拮抗或沉淀等化学反应, 使污染物的毒性和浓度降低或去除的过程, 如化学淋洗、萃取法、化学氧化等[12]。

化学、物理修复技术成本较高, 但是作用效果较快。化学、物理修复技术在修复过程中, 残留的物质有可能会对土壤造成二次污染。植物修复技术成本低, 修复效果比较慢, 二次污染风险小, 修复过后还可以做景观供人参观。作为一项经济实惠, 绿色环保, 无二次污染的修复手段, 目前为止是具有发展空间和市场的。植物修复虽然有上述优点, 但不能完全去除污染物。植物修复过后, 将有机物和有毒物质残留在植物根系, 对土壤底部造成污染。因此植物修复相对于比较局限(如表 1)。

**Table 1.** Comparison of advantages and disadvantages between phytoremediation and physical and chemical restoration  
**表 1.** 植物修复与物理、化学修复优缺点对比

植物修复技术	物理、化学修复技术
成本低	成本较高
无二次污染	产生二次污染, 难降解
可供观赏、美化环境、绿色环保	对土壤造成破坏
可大规模使用	可以小规模使用

### 3. 植物修复石油烃污染土壤的影响因素

#### 3.1. 环境因素

土壤本身具有降解污染物的能力，土壤自身可以降解和吸附一些有机物质和有毒物质。研究发现，有机质含量高的土壤中，憎水有机物的生物可利用性降低[13]。除此之外，土壤的水分、pH 值、土壤酸碱度、土壤有机质等因素都会影响石油烃的降解。

#### 3.2. 污染土壤浓度

石油烃污染土壤根据浓度可划分为三个等级：轻度污染，中度污染，重度污染。石油烃的生物降解率受其浓度的影响较大，高浓度石油烃会抑制微生物的活性并对其有毒性作用，4% (质量分数)是石油烃生物降解率达到最低值得临界浓度[14]。石油烃浓度越高，对植物生长，发育抑制效果越明显。在培养植物过程中，由于石油烃浓度太高，可能导致水无法渗透到底部，种子无法吸收水分。

#### 3.3. 植物因素

植物的生长受到了诸多条件的限制，所以为了更好地修复石油污染土壤，植物的筛选已经成为了至关重要的一步。目前，用于石油烃污染土壤修复的土著植物大都是禾本科植物或草本植物[15]。地毯草 (*Axonopus compressus* (sw.) P. Beauv.)、紫花苜蓿、披碱草、黑麦草、高羊茅等植物被较多地应用于修复石油烃污染土壤[16] [17]，并具有较好的修复效果。

上述研究结果表明，如果选择合适的植物，就可以修复被污染的土壤。现阶段，微生物治理石油烃污染土壤广泛使用，那么植物与微生物相互联系，相互协同，就可以达到一个快速修复污染土壤的效果，二者联合更需要注意外界环境的影响。而且未来植物—微生物联合技术是很有发展潜力的。

#### 3.4. 根系分布

在石油烃污染土壤的修复中，植物的根部，为土壤中有有机物和有毒物最终聚集的位置。植物修复机理中，根际的降解正是植物根部分解这些有机物和有毒物质的过程。在大量研究中发现。

### 4. 植物修复技术展望

石油烃的特点是难降解、不溶于水、难去除。随着工业，农业的发展，人类越来越离不开石油，这就导致了石油污染的严重加剧。从修复技术发展的进程来看，植物修复已经成为了修复石油烃污染土壤的主流技术。植物修复技术不仅成本低，而且无二次污染，修复过后不用再处理，直接可以做景观供人参观。作为一项经济实惠，绿色环保，无二次污染的修复手段。目前，植物修复技术还没有完全成熟，仍存在诸多值得考虑的问题：

1) 不同环境对植物修复能力的效果不同，在实验室中不存在的因素太多，如何将这门技术应用到实际中，在实际中大范围使用，是应该要考虑的。

2) 植物修复技术虽然没有二次污染，成本低，但是修复时间过于漫长，且如何提高修复效率是一个技术突破口。将植物修复技术与其他修复技术连用，是一个不错的选择。

3) 植物种类比较多，在各类石油烃污染土壤中，适合哪种植物，植物的耐受性，生长情况等也是需要考虑的因素。我们可以根据不同植物的不同特性，来进行分类，在找到所适应该种植物的污染土壤进行改善。

### 基金项目

兰州城市学院第四届“城院好项目”创意创新创业大赛 2019HXM071；兰州城市学院博士科研启动基金，LZCU-BS2015-07。

## 参考文献

- [1] 易筱筠, 党志, 石林. 有机污染物污染土壤的植物修复[J]. 农业环境保护, 2002, 21(5): 477-479.
- [2] Alkorta, I. and Garbisu, C. (2001) Phytoremediation of Organic Contaminants in Soils. *Bioresource Technology*, **79**, 273-276. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00016-5](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00016-5)
- [3] Pradhan, S.P., Conrad, J.R. and Paterek, J.R. (1998) Potential of Phytoremediation for Treatment of PAHs in Soil at MGP Sites. *Journal of Soil Contamination*, **7**, 467-480. <https://doi.org/10.1080/10588339891334401>
- [4] Banks, M.K., Lee, E. and Schwab, A.P. (1999) Evaluation of Dissipation Mechanisms for Benzo[a]pyrene in the Rhizosphere of Tall Fescue. *Journal of Environmental Quality*, **28**, 294-298. <https://doi.org/10.2134/jeq1999.00472425002800010036x>
- [5] 凌婉婷, 朱利中, 高彦征, 等. 植物根对土壤中 PAHs 的吸收及预测[J]. 生态学报, 2005, 25(9): 2320-2325.
- [6] Wei, S.H. and Zhou, Q.X. (2006) Phytoremediation of Cadmium-Contaminated Soils by *Rorippa globosa* Using Two-Phase Planting (5 pp). *Environmental Science and Pollution Research*, **13**, 151-155. <https://doi.org/10.1065/espr2005.06.269>
- [7] 焦杏春, 陈素华, 沈伟然, 等. 水稻根系对多环芳烃的吸着与吸收[J]. 环境科学, 2006, 27(4): 760-764.
- [8] Schroder, P., Harvey, P.J. and Schwitzguebel, J.P. (2002) Prospects for the Phytoremediation of Organic Pollutants in Europe. *Environmental Science and Pollution Research*, **9**, 1-3. <https://doi.org/10.1007/BF02987312>
- [9] Nellessen, J.E. and Fletcher, J.S. (1993) Assessment of Published Literature on the Uptake, Accumulation, and Translocation of Heavy Metals by Vascular Plants. *Chemosphere*, **27**, 1669-1680. [https://doi.org/10.1016/0045-6535\(93\)90148-X](https://doi.org/10.1016/0045-6535(93)90148-X)
- [10] 彭胜巍. 石油污染土壤的花卉植物修复研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 南开大学, 2009.
- [11] Trapp, S. and Karlson, U. (2001) Aspects of Phytoremediation of Organic Pollutants. *Journal of Soils and Sediments*, **1**, 37-43. <https://doi.org/10.1007/BF02986468>
- [12] 曹刚, 王华. 石油污染及治理[J]. 沿海企业与科技, 2005(3): 92-94.
- [13] Meudec, A., Poupart, N., Dussauze, J., et al. (2007) Relationship between Heavy Fuel Oil Phytotoxicity and Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Contamination in *Salicornia fragilis*. *Science of the Total Environment*, **381**, 146-156. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.04.005>
- [14] Del'Arco, J.P. and de Franca, F.P. (2001) Influence of Oil Contamination Levels on Hydrocarbon Biodegradation in Sandy Sediment. *Environmental Pollution*, **112**, 515-519. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(00\)00128-7](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(00)00128-7)
- [15] Wei, S.H., Zhou, Q.X. and Saha, U.K. (2008) Hyperaccumulative Characteristics of Weed Species to Heavy Metals. *Water, Air, and Soil Pollution*, **192**, 173-181. <https://doi.org/10.1007/s11270-008-9644-9>
- [16] Trindade, P.V.O., Sobral, L.G., Rizzo, A.C.L., et al. (2005) Bioremediation of a Weathered and a Recently Oil Contaminated Soils from Brazil: A Comparison Study. *Chemosphere*, **58**, 515-522. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.09.021>
- [17] 高彦征, 凌婉婷, 朱利中, 等. 黑麦草对多环芳烃污染土壤的修复作用及机制[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(3): 498-502.