

# 有机污染物在土壤中的迁移规律与去除技术

黄健

台州市生态环境局椒江分局

DOI:10.12238/eep.v7i12.2358

**[摘要]** 有机污染物在土壤中的迁移规律及其去除技术是环境科学领域的重要研究课题,本文综述了有机污染物在土壤中的迁移机制,包括吸附、解吸、扩散和淋溶等过程,并分析了影响其迁移的环境因素,如土壤性质、气候条件和污染物特性。此外,本文还详细介绍了当前主要的有机污染物去除技术,包括物理、化学和生物方法。通过对现有技术的优缺点进行总结,本文提出了未来研究的方向,旨在为有机污染土壤的治理提供理论依据和技术支持。

**[关键词]** 土壤污染; 有机污染物; 去除技术; 环境因素

**中图分类号:** X131.3 **文献标识码:** A

## The migration law and removal technology of organic pollutants in soil

Jian Huang

Jiaojiang Branch of Taizhou Ecological Environment Bureau

**[Abstract]** The migration law and removal technology of organic pollutants in soil are important research topics in the field of environmental science. This article summarizes the migration mechanism of organic pollutants in soil, including adsorption, desorption, diffusion, and leaching processes, and analyzes the environmental factors that affect their migration, such as soil properties, climatic conditions, and pollutant characteristics. In addition, this article also provides a detailed introduction to the current major organic pollutant removal technologies, including physical, chemical, and biological methods. By summarizing the advantages and disadvantages of existing technologies, this article proposes future research directions aimed at providing theoretical basis and technical support for the treatment of organic polluted soil.

**[Key words]** soil pollution; Organic pollutants; Remove technology; environmental factor

有机污染物在土壤中的迁移是一个复杂且多层次的过程,涉及物理、化学和生物学的相互作用<sup>[1]</sup>。这些污染物主要来源于工业废水、农业化学品、石油泄漏等,不仅对土壤生态系统造成严重破坏,还通过食物链的传递对人类健康构成潜在威胁。有机污染物如多环芳烃(PAHs)、多氯联苯(PCBs)和农药等,因其持久性和生物累积性,成为环境科学和公共卫生领域的重点关注对象<sup>[1]</sup>。然而,研究有机污染物的迁移规律和去除技术仍面临诸多挑战。有机污染物的种类繁多,其化学结构和性质各异,导致其环境行为和归趋复杂多变,土壤环境的异质性和动态变化也增加了研究的难度<sup>[2]</sup>。此外,现有的去除技术如物理吸附、化学氧化和生物修复等,虽然在某些情况下有效,但往往存在成本高、效率低或可能产生二次污染等问题。因此,开发高效、环保且经济可行的有机污染物去除技术是当前研究的重要方向。

当前,深入研究有机污染物在土壤中的迁移规律及其去除技术,对于保护环境和维护人类健康具有重要意义。未来的研究应注重多学科交叉,结合先进的分析技术和模型模拟,以期在理

论和实践上取得突破,为解决有机污染物污染问题提供科学支撑和技术保障。

### 1 有机污染物在土壤中的迁移机制

有机污染物在土壤中的迁移机制是一个复杂的过程,涉及多种物理化学现象。吸附与解吸过程是有机污染物在土壤中迁移的关键步骤。土壤中的有机质和矿物质表面能够通过物理吸附和化学吸附的方式,将有机污染物固定在其表面。这种吸附作用可以显著减少有机污染物在土壤中的移动性,从而影响其迁移路径和速率<sup>[3]</sup>。然而,当环境条件发生变化时,如pH值或温度的改变,吸附的有机污染物可能会发生解吸,重新进入土壤溶液中,继续其迁移过程。

扩散主要由浓度梯度驱动,污染物会从高浓度区域向低浓度区域迁移,且其速率与污染物的分子扩散系数密切相关。土壤的孔隙度、有机质含量和水分状况等因素都会影响扩散速率。淋溶则通常发生在降雨或灌溉过程中,当水分渗透到土壤深层时,水溶性有机污染物会随水流一起向下移动,可能到达地下水层,

造成水体污染。扩散和淋溶这两种过程的共同作用,使得有机污染物能够在土壤中进行水平和垂直方向的迁移<sup>[4]</sup>。尤其在降水量较大的区域或灌溉频繁的农田,淋溶作用显著,污染物的迁移速度加快,从而影响其在土壤中的分布、归趋及最终的环境风险。因此,理解这两种迁移机制对于制定有效的污染治理和风险评估方案至关重要。

有机污染物的迁移过程不仅受到物理机制如扩散和淋溶的影响,物理化学反应同样在其中发挥着重要作用。这些反应包括氧化还原反应、水解反应、光解反应等,它们通过改变污染物的化学结构和物理特性,进一步影响其在环境中的迁移行为。例如,在氧化条件下,一些有机污染物可能被氧化分解为无害或低毒性的物质,从而减少其对生态环境的危害。然而,某些污染物在还原环境下则可能发生还原反应,生成毒性更强的中间产物,从而对土壤和水体造成更大的污染风险。水解反应是另一重要机制,它可以将一些有机污染物转化为水溶性较强的形式,使其更易于随水流动而迁移,进而进入地下水或河流系统。这些物理化学反应不仅会改变污染物的溶解性和生物可利用性,还可能改变其降解速率和转化路径,从而对污染物的最终归宿产生深远影响。了解这些反应机制有助于更好地预测污染物在环境中的行为和评估其潜在风险。

## 2 影响有机污染物迁移的环境因素

### 2.1 土壤性质的影响

土壤性质是影响有机污染物迁移的重要因素之一。土壤的物理、化学和生物特性对污染物的吸附、解吸、降解和迁移过程有着显著的影响<sup>[5]</sup>。比如,土壤的颗粒大小和结构决定了其对有机污染物的吸附能力,细颗粒土壤通常具有较高的比表面积,能够更有效地吸附有机污染物,从而减少其在土壤中的迁移;土壤的pH值和有机质含量也会影响污染物的迁移,酸性土壤通常会增加有机污染物的溶解度,促进其迁移,而高有机质含量的土壤则可能通过吸附作用减少污染物的迁移。

### 2.2 气候条件的影响

气候条件对有机污染物迁移的影响主要体现在降水、温度和风速等方面<sup>[6]</sup>。降水是影响有机污染物迁移的关键气候因素之一。降雨能通过地表径流和渗滤作用,将有机污染物从土壤表面带入地下水或河流中,从而促进其迁移。特别是在强降雨事件中,地表径流会显著增加,导致有机污染物的快速迁移。温度对有机污染物的迁移也有重要影响,较高的温度通常会加速有机污染物的挥发和降解过程,从而影响其在环境中的迁移。此外,温度变化还会影响土壤的物理化学性质,进而影响有机污染物的吸附和解吸行为。

### 2.3 污染物特性的影响

污染物本身的特性对其在环境中的迁移过程有着决定性的影响<sup>[7]</sup>。有机污染物的化学结构和分子量决定了其在环境中的溶解度和挥发性。分子量较小、极性较低的有机污染物通常具有较高的挥发性和较低的吸附能力,容易通过大气扩散和地表径流迁移。相反,分子量较大、极性较高的有机污染物则更容易

被土壤和沉积物吸附,从而减少其迁移。其次,有机污染物的降解性、亲水性和疏水性也会影响其在水体和土壤中的迁移。

## 3 有机污染物的去除技术概述

有机污染物的去除技术是环境修复领域的重要研究方向,包括物理去除技术、化学去除技术和生物去除技术,用于不同污染场景和不同污染物类型的去处。

物理去除技术是清除土壤中有机污染物的重要手段,主要包括土壤冲洗和热处理两种方法。土壤冲洗技术通过使用水或化学溶剂,将污染物从土壤中溶解并带走,从而有效地减少土壤中的有机污染物浓度<sup>[5,8]</sup>。然而,土壤冲洗可能引发二次污染,因为溶剂或水溶液可能带走其他有害物质,污染水源或地下水。热处理技术则通过加热土壤,使有机污染物挥发或分解。该方法对高浓度有机污染物尤其有效,能够在较短时间内显著降低污染物水平,但存在能耗较高的问题,并可能释放有害气体。在实际应用中,往往需要综合考虑其效果、成本及环境影响。

化学去除技术利用化学反应改变有机污染物的结构,使其更易于去除或固定。氧化还原反应是常见的一种化学去除方法,通过向污染土壤中加入氧化剂或还原剂,使有机污染物发生氧化或还原反应,将其降解成无害物质或转化为更易处理的形态。该方法反应条件较为苛刻,可能需要特定的温度、pH值或催化剂,且反应过程可能产生副产物。化学固定技术通过添加固定剂(如石灰、黏土等),使有机污染物与土壤中的矿物质发生反应,形成稳定的化合物,其固定效果可能会随时间推移而减弱,尤其在极端环境条件下<sup>[9]</sup>。

生物去除技术利用生物体的代谢活动降解有机污染物,主要包括生物降解和植物修复两种方法。生物降解技术通过引入特定的微生物或酶,利用其代谢活动将污染物分解为无害物质。生物降解方法成本较低,且环境友好,但其效率受土壤温度、湿度、pH值等环境条件的影响较大,且不同的污染物降解速率可能存在差异。植物修复技术通过植物及其根系微生物的协同作用,吸收、转化和降解土壤中的有机污染物。这种方法适用于大面积、低浓度的污染场地,具有成本低、生态影响小的优点,但修复周期相对较长,且不适用于污染浓度较高的场所<sup>[10]</sup>。

综上所述,有机污染物的去除技术各有优缺点,实际应用中应根据污染物的性质、污染程度和场地条件选择合适的技术组合,以达到最佳的修复效果。

## 4 未来研究方向与挑战

随着环境污染问题的日益严重,开发新型去除技术成为未来研究的重要方向。新型去除技术不仅需要具备高效性和环保性,还应考虑到成本效益和实际应用的可行性。例如,纳米技术在污染物去除领域的应用前景广阔,其高表面积和独特的物理化学性质使其能够有效吸附和降解污染物<sup>[11]</sup>。此外,生物技术的进步也为污染治理提供了新的思路,如利用基因工程改造的微生物来降解难以处理的污染物。这些新技术的开发将极大地推动污染治理技术的发展,但同时也面临着技术成熟度和实际应用中的挑战<sup>[12]</sup>。

提高现有技术的效率和适用性是另一个重要的研究方向。尽管现有的污染治理技术已经取得了一定的成效,但在实际应用中仍存在效率不高和适用范围有限的问题。例如,传统的物理化学方法在处理复杂污染物时往往效果不佳,而生物处理方法则受限于环境条件和微生物的活性。因此,未来的研究应致力于优化现有技术,通过改进工艺流程、提高设备性能和引入智能化控制系统来提升治理效率。同时,开发适用于不同环境和污染类型的技术也是提高适用性的关键。

综合利用多种技术以实现更有效的污染治理是未来研究的一个重要趋势。单一的治理技术往往难以应对复杂的污染问题,因此,结合多种技术的优势进行综合治理成为一种有效的策略。例如,将物理吸附、化学降解和生物修复相结合,可以实现对污染物的多层次去除,从而提高治理效果。此外,信息技术的发展也为多技术综合应用提供了支持,如通过大数据分析和人工智能技术优化治理方案,实现精准治理。综合利用多种技术不仅能够提高治理效率,还能降低治理成本,是未来污染治理的重要方向。

## 5 总结

土壤是污染物的一个重要储存和转运介质,有机污染物通过吸附、扩散、挥发、降解等途径在土壤中迁移,受土壤性质(如有机质含量、pH值和粒度等)和环境条件(如温度、水分、微生物活性等)的影响,通过分析不同类型有机污染物的迁移特点,能够为污染防治和修复提供理论依据。其次,土壤的物理化学性质,如有机质、孔隙度和电荷特性,直接影响有机污染物的吸附与释放过程。气候变化、降水量、土壤水分含量等外部环境因素也显著改变污染物在土壤中的分布与迁移。这些因素之间相互作用,形成了复杂的迁移模式。在有机污染物的去除技术方面,物理法如土壤热脱附、吸附等可有效去除表层污染;化学法通过氧化还原反应、化学催化等途径促进污染物降解,具有较好的去除效率;生物法利用微生物的降解作用,适用于处理某些难降解的有机污染物,且具有环境友好和可持续的优势。

当前的研究主要集中在提高去除技术的效率和经济性,以及针对复杂污染环境的多重污染物联合处理技术。此外,随着环境污染的多样化,未来的研究需要更多关注土壤修复技术的可

持续性、生态安全性及长效性,尤其是在气候变化背景下,如何在不同区域、不同环境条件下选择合适的修复方案,仍是亟待解决的重要课题。随着有机污染物在土壤污染问题的不断深入,未来的研究应在污染物迁移规律、修复技术优化和环境因素的耦合等方面取得新的突破,为全球土壤污染治理提供理论支持和技术保障。

## [参考文献]

- [1]唐志.土壤中有机质对苯的吸附/解吸机制及模型研究[D].中国地质大学,2021.
- [2]鞠天宇.石化场地地下水典型复合有机污染物迁移规律研究[D].东北农业大学,2023.
- [3]丁洋.青藏高原东缘土壤中典型持久性有机污染物的来源与迁移转化机制[D].中国地质大学,2021.
- [4]刘国扬.挥发性有机污染物在土壤中的运移机制与模型[J].科学技术创新,2019,(22):33-34.
- [5]张帅.有机污染土壤热脱附和相抽提修复效率预测模型[D].浙江大学,2024.
- [6]李洪,李鑫钢,黄国强,等.降雨蒸发条件下渗流区污染物迁移的数值模拟[J].化学工程,2007,(09):51-54.
- [7]王蓉.考虑迁移特性的有机污染场地地下水风险评价[J].工程勘察,2024,52(09):44-49.
- [8]史政都.沙性土壤中挥发性有机污染物去除技术的模拟实验研究[D].太原科技大学,2020.
- [9]王庆仁,刘秀梅,崔岩山,等.土壤与水体有机污染的生物修复及其应用研究进展[J].生态学报,2001,21(1):159-163.
- [10]梁永新,阎起明.土壤有机污染物的生物修复方法与应用[J].清洗世界,2024,40(11):125-127.
- [11]刘煜莹,魏晓贺,何建荣,等.纳米材料在治理复合污染土壤中的应用与展望[J].化学试剂,2024,46(07):50-58.
- [12]苏英丽.微生物技术在土壤修复与环境保护中的前沿研究[J].中国战略新兴产业,2024,(09):90-92.

## 作者简介:

黄健(1981—),男,汉族,浙江台州人,在职研究生,工程师,研究方向:化学工程。