

## 土壤面源污染与区域重金属污染的防控与修复

杜远仿<sup>1</sup>, 汪敬恒<sup>2,4\*</sup>, 吕海江<sup>3</sup>, 李佳珂<sup>2</sup>

<sup>1</sup>河南省开封市祥符区农业农村局 河南开封

<sup>2</sup>河南省科学院 河南郑州

<sup>3</sup>郑州市生态环境局郑州航空港经济综合实验区分局 河南郑州

<sup>4</sup>南京沃野化工科技有限公司 江苏南京

**【摘要】**本文介绍了土壤面源污染和重金属污染给生态环境带来的危害及造成土壤污染的成因,阐述了如何开展污染防控与修复,以及土壤污染的修复方法、修复机理和修复材料,展望了未来土壤修复的前景,提出了未来土壤修复的发展方向和建设。研究土壤污染的防控与修复,为政府和土壤修复工作者提供可借鉴的思路和经验,对共同推动土壤污染修复事业的发展 and 土壤资源的永续利用,确保国家粮食和农产品安全,保障公众健康具有重要意义。

**【关键词】**土壤污染; 重金属; 污染防控; 修复; 材料; 机理

**【基金项目】**河南省科学院农业面源和重金属污染土壤综合防治与修复技术研发与示范项目: 19108003

**【收稿日期】**2024 年 2 月 10 日 **【出刊日期】**2024 年 3 月 20 日 **【DOI】**10.12208/j.aes.20240002

### Prevention and remediation of non-point source pollution of soil and regional heavy metal pollution

Yuanfang Du<sup>1</sup>, Jingheng Wang<sup>2,4\*</sup>, Haijiang Lv<sup>3</sup>, Jiako Li<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bureau of Agriculture and rural areas, Xiangfu District, Kaifeng, Henan

<sup>2</sup>Henan Academy of Sciences, Zhengzhou, Henan

<sup>3</sup>Zhengzhou Airport Economic Comprehensive Experimental District Bureau, Zhengzhou Bureau of Ecology and environment, Zhengzhou, Henan

<sup>4</sup>Nanjing Woye Chemical Technology Co.,Ltd., Nanjing, Jiangsu

**【Abstract】** This paper introduces the harm of non-point source pollution and heavy metal pollution to ecological environment and the causes of soil pollution, and expounds how to carry out pollution control and remediation, the remediation methods, mechanisms and materials of soil pollution were discussed. The future prospects of soil remediation were prospected. The development direction and suggestions of soil remediation were put forward. To study the prevention and control of soil pollution and remediation, to provide the government and soil remediation workers with reference ideas and experience, to jointly promote the development of soil pollution remediation and sustainable use of soil resources, it is of great importance to ensure the safety of national food and agricultural products and to safeguard public health.

**【Keywords】** Soil pollution; Heavy metals; Pollution control; Remediation; Materials; Mechanism

土壤污染<sup>[1]</sup>, 是指因人为因素导致某种物质进入地表层土壤, 引起土壤化学、物理、生物等方面特性的改变, 影响土壤功能和有效利用, 危害公众健康或者破坏生态环境的现象。土壤污染又可分为

由一般污染物造成的面源污染及由重金属污染物造成的区域污染(区域重金属污染)。目前, 土壤污染非常严重<sup>[2]</sup>, 农田土壤中存在着大量的农药残留和重金属, 对农业生产构成了极大威胁, 并危及着人

第一作者简介: 杜远仿(1966-)男, 河南开封人, 高级农艺师, 长期从事土壤改良、农田管理等工作, 邮箱: kfxdyf@163.com;

\*通讯作者简介: 汪敬恒(1961-)男, 河南睢县人, 博士, 教授级高工, 长期从事新型肥料、土壤调理剂、污染防治与生态修复等方面的研发和应用工作, 电话: 13525502281, 邮箱: woyes@sohu.com。

民的生命安全。由于受污染的土壤类型多样, 过去单一的修复技术很难确保土壤的良好恢复, 因此多种技术的协同修复由于具有良好的修复效果得以推广应用。未来的土壤修复也一定是依据不同的污染类型和因子采用多种不同的复合修复方法, 以期达到更为理想的修复效应。为保护和改善生态环境, 推动土壤资源永续利用, 推进生态文明建设, 促进经济社会可持续发展, 开展土壤污染的防治和修复就显得尤为重要, 对确保国家粮食和农产品安全, 保障公众健康具有极为重要的意义。

## 1 土壤污染成因及危害

### 1.1 土壤面源污染成因

面源污染<sup>[3]</sup>是指在农业生产中无机肥料、农药、兽药、抗生素、饲料添加剂、农膜、转基因种子的过度使用, 以及人们在生活中对人畜粪便排泄物、生活垃圾、污水不当处理所造成的农业环境的污染, 同时还有大气中酸雾和污染物的沉降等。其污染遍及水、土壤、空气等。

### 1.2 重金属污染成因

土壤重金属污染是指人们在工业生产(化工、轻工、冶金、电镀、铸造、制革、电子、纺织印染、加工业)中固废、污水的堆积和排放; 在金属矿山开采过程中选矿、洗矿遗留残渣的堆放; 在农业生产和养殖过程中含重金属超标肥料与饲料添加剂的使用等。上述活动均可导致重金属元素在土壤中的过量积累, 主要包括汞、铅、镉、铬、砷等元素。重金属污染一般是区域性的, 通常在工业企业、矿山开采和养殖场周边等。

农业面源和重金属污染严重时, 会造成土壤恶化, 地力下降, 导致作物减产, 严重威胁着粮食安全和人们的生命安全。

### 1.3 土壤污染的危害

由于各种污染物对土壤的长期污染而没有得到有效的治理和修复, 生态环境遭到严重破坏, 致使土壤严重退化、土壤板结、土壤毒化、土传病害、营养元素比例失调、土壤酸化、盐渍化等, 导致农业种植成本大幅增加, 农业产量下降, 甚至绝收。对我国粮食和食品安全, 以及农业的可持续发展构成了严重威胁。同时, 重金属的污染还会导致人们罹患多种疾病, 严重时可导致癌症、畸形和突变等, 严重威胁着人们的生命健康安全。

## 2 土壤污染的防控与修复

### 2.1 土壤污染的防控

无论是面源污染还是重金属污染, 其防控方法和措施几乎是是一样的, 即从源头控制排放, 以避免新的污染物进入土壤, 如在农业生产中减少化肥、农药(杀虫杀菌剂、除草剂、植物生长调节剂等)施用量, 以有机肥部分替代化肥; 在养殖生产中禁用抗生素、降低兽药和饲料添加剂的喂用量; 对人们生活中产生的生活垃圾、污水和人畜粪污进行无害化处理和资源化利用; 对工业生产和采矿过程中产生的三废(废渣、废气、废水)进行无害化处理和资源化利用, 严禁堆积和无序排放等。

### 2.2 土壤污染的修复

土壤修复<sup>[3]</sup>是通过物理、化学和生物方法转移、吸收、降解和转化土壤中的污染物, 以降低其浓度至可接受水平或将有毒有害的污染物转化为无害物质。

#### 2.2.1 土壤污染修复机理

土壤污染物的修复路径有多种, 其中广泛应用的是污染物去除和稳定化理论, 即对污染物进行去除和稳定化处理, 以此将土壤污染物转化为无害成分或稳定的物质, 最终达到修复土壤的目的。

污染物去除法主要是通过化学分解、挥发、生物降解等方法将原污染物转化为其他物质, 改变其物理化学性质, 从而除去其危害性, 该方法主要应用于有机物污染的土壤。

污染物稳定法是通过物理方法将污染物转化为不易被生物体吸收、分解或移动的物质, 将其长永久保留于吸附剂中, 以消除其生物活性, 防止其扩散和污染其它环境媒介, 该方法主要应用于土壤中危害较大的重金属、放射性污染物质和危险有害废物等。

#### 2.2.2 土壤面源污染的修复<sup>[4-8]</sup>

##### (1) 修复方法

由于造成土壤面源污染的成因错综复杂, 地域不同, 污染因子各异, 因此, 没有统一的修复方法, 只能因地制宜, 根据污染物的种类和污染程度采用不同的修复方法。国内外采用的一般方法有, 植物修复法、微生物修复法、化学淋洗法、电动力修复法、热脱附修复法、土壤蒸汽浸提法、活性炭吸附、化学氧化等。如对有机污染物或有害病菌, 可采取

化学或生物方法使污染物分解或降解, 也可采取物理方法将污染物吸附固定。

## (2) 修复材料

针对不同的污染物, 需采用不同的修复材料, 混入受污染的土壤。对于具有氧化性的有机污染物, 可加入具有还原性的物质, 如 S、Cu<sup>2+</sup>、Fe<sup>3+</sup>、MnO<sub>2</sub>、KMnO<sub>4</sub> 等; 对于具有还原性的有机污染物, 可加入具有氧化性的物质, 如 C、Fe<sup>2+</sup> 等。

一般而言, 凡是能够与有机污染物发生化学反应, 或破坏其某个基团, 生成新的化学物质, 改变原污染物的化学性质, 且添加物与生成物对土壤不产生二次污染的物质均可作为受有机物污染土壤的修复材料。考虑土壤修复的经济性、实用性和可行性, 选用的氧化剂或还原剂应是既能改变原污染物的性质, 消除对土壤的污染, 又可为植物提供营养元素。

### 2.2.3 土壤重金属污染的修复<sup>[8-9]</sup>

#### (1) 修复方法

土壤重金属修复技术的研究一直是近年来国际上探讨的热点问题, 以期恢复土壤的生态功能。主要通过两种途径: 一是使重金属在土壤中固定, 降低其活性, 不被植物所吸收, 二是将重金属从土壤中提取出来。目前, 针对土壤中重金属污染治理修复的方法较多<sup>[3-7]</sup>, 国内外采用的一般方法有, 酸度调节法、客土法、固化/钝化法、化学淋洗法、电动修复法、玻璃化修复法、生物修复法、纳米零价铁环境修复技术等, 各种方法都具有优缺点和局限性, 但不论采用哪种方法, 要视具体情况的。总的来说, 土壤重金属修复技术正向着绿色低碳的方向转变, 从无害化到减量化和资源化利用转变, 异位修复向原位修复转变。面对实际问题, 各种特定修复技术的适宜性评价显得尤为重要, 且最终的修复方案往往是多种修复技术的综合组配方案。对于大面积的重金属污染的土壤, 采用固化/钝化修复法, 则显得更经济、更简便, 且易操作, 实现的可行性更大。

#### (2) 修复材料<sup>[10-11]</sup>

重金属污染土壤的固化/钝化修复法, 是向污染土壤中添加固化剂, 通过络合、沉淀、吸附等作用以降低重金属的活性和生物有效性, 以阻止植物对重金属元素的吸收, 可分为化学固化法和物理固化法。

化学固化法是向土壤中添加化学物质, 如有机络合剂、化学沉淀剂和酸度调节剂等, 这些化学物

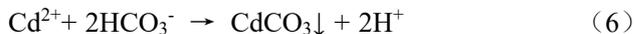
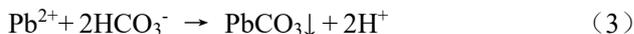
质与重金属元素发生反应, 形成稳定的络合物和金属盐或碱等, 将重金属元素固定下来, 降低其在土壤中的生物有效性。

物理固化法也称物理吸附法, 是向土壤中添加具有吸附性的多孔性物质, 通过物理吸附作用将不同的重金属离子吸附起来, 将重金属元素予以固定, 使其失去生理活性, 以达到有效治理的目的。

在化学螯合法中, 可选取含有羟基、羧基、氨基、羰基等具有不同活性基团的有机化合物作为络合剂, 与待修复土壤按一定比例进行掺混, 当土壤中的重金属元素遇络合剂中的羟基、羧基、氨基、羰基等不同活性基团时即会发生螯合反应生成络合物, 使其失去生理活性, 实现对被污染土壤的治理和修复。其中络合剂包括柠檬酸、酒石酸、乙二胺四乙酸、氨基酸、腐殖酸等。

化学沉淀剂包括可溶性或微溶性碳酸盐如碳酸钾、碳酸镁、碳酸铜、碳酸铵、碳酸氢铵等可与重金属元素形成碳酸盐沉淀; 可溶性或微溶性硫酸盐如硫酸铵、硫酸钾、硫酸镁钾等; 可溶性磷酸盐如磷酸一铵、磷酸二铵、磷酸二氢钾等可与重金属元素形成磷酸盐沉淀; 可溶性钼酸盐如钼酸铵、钼酸钾等可与重金属元素形成钼酸盐沉淀; 可溶性或微溶性碱或碱性氧化物(适用于酸性土壤)如氢氧化钾、氢氧化镁、氢氧化铜、氧化钙等, 可与重金属元素形成氢氧化物沉淀; 可溶性或微溶性硅酸盐如硅酸钙(水淬渣、黄磷炉渣)等。

以碳酸盐为例, 其修复机理如下: 化学反应方程式:



形成的难容碳酸铅和碳酸镉, 使铅离子和镉离子失去生物活性。修复材料的遴选原则是, 价廉易得, 不得引入新的污染物, 不会产生新的污染。在物理固定方法中, 常用的修复材料(吸附剂)包括:

矿物质吸附剂: 膨润土、硅藻土、黏土、蒙脱石、沸石、凹凸棒石、海泡石、岩石粉、活性炭、炭分子筛等。生物材料吸附剂: 菌体、藻类、细胞提取物等。

木质纤维素吸附剂: 蔗渣、秸秆、锯末、玉米芯、花生壳、稻草、黑橡胶树皮等。其他吸附剂: 泥炭、生物质炭、天然腐殖土、蚶壳粉、壳聚糖类、黄原酸盐吸附剂、聚乙烯硅胶-聚乙烯胺复合材料等等。这些修复材料既大多具有肥料功能, 又具有对铅、镉等重金属污染土壤的修复功能。通过提高土壤 pH 值, 也是一种很好的修复重金属污染土壤的方法, 土壤 PH 值每提高一个单位, 重金属镉的活性就会降低 100 倍。通过上述的化学螯合和物理吸附的双重治理方法, 可使重金属离子固定更彻底, 达到综合治理的效果。

### 3 土壤修复未来发展方向和建议

土壤污染修复技术对保护生态环境和人类健康具有重要意义, 未来土壤污染修复技术的发展趋势将以环保、高效、可持续为方向发展, 通过对物理、化学和生物等多种修复方法的综合运用, 以有效地降低土壤中污染物的含量。加强政府、科研机构和企业等多方的合作, 共同推动土壤污染修复事业的发展, 提高土壤质量, 确保国家粮食和农产品安全。

#### 3.1 政策支持

政府应加大对土壤重金属污染治理与修复的投入, 推动相关法律法规的制定和实施, 为行业发展提供政策保障。

#### 3.2 科技创新

加强跨学科交叉合作, 推动化学、生物、环境等领域的协同创新, 研发高效、环保、低成本的土壤重金属污染治理与修复技术。

#### 3.3 市场化运作

培育一批专业化的环保企业, 通过市场竞争推动修复技术的发展和创, 实现治理与修复的市场化运作。

#### 3.4 加强国际交流与合作

引进国外先进技术和管理经验, 推动我国土壤重金属污染修复技术的发展。

#### 3.5 公众参与

加强土壤重金属污染治理与修复的科普教育, 提高公众对土壤环境保护的意识, 发挥社会监督作用。

#### 3.6 检测与评估

建立健全土壤污染检测网络和评估体系, 及时掌握污染状况和发展趋势, 为采取有效的治理与修

复措施提供科学依据。

土壤污染物的修复技术是解决土壤污染问题的关键, 不同的修复技术具有不同的优缺点, 需要综合利用土壤修复机制, 根据具体的污染种类和污染程度选择适当的修复技术。因此, 只有加强科学研究, 不断新技术, 才能更好地解决土壤污染问题, 恢复生态功能。

### 参考文献

- [1] 中华人民共和国土壤污染防治法(2018年8月31日第十三届全国人民代表大会常务委员会第五次会议通过).
- [2] 郜涛, 骆碧涛, 卢海勇等. 污染场地土壤修复技术研究现状与发展趋势[J]. 化工设计通讯(资源与环境), 2022, 48(4): 187-190.
- [3] 千际投行, 孙广军等. 2024年中国土壤修复行业研究报告. 资产信息网.
- [4] 单新国. 河南省农业面源污染的现状与治理措施分析[J]. 经济研究导刊, 2016, 307(26): 22-23.
- [5] 张绍冰. 农业面源污染的来源及防治措施[J]. 现代农业科技 2007, (8): 110-111.
- [6] 崔键, 马友华, 赵艳萍, 董建军, 石润圭, 黄文星, 等. 农业面源污染的特性及防治对策[J]. 中国农学通报 2006, 22(1): 335-340.
- [7] 宋家永, 李英涛, 宋宇, 闫军杰, 周琳, 等. 农业面源污染的研究进展[J]. 中国农学通报 2010, 26(11): 362-365.
- [8] 全为民, 严力蛟, 等. 农业面源污染对水体富营养化的影响及其防治措施[J]. 2002, 22(3): 292-299.
- [9] 刘磊, 肖艳波, 等. 土壤重金属污染治理与修复方法研究进展[J]. 长春工程学院学报(自然科学版), 2009, 10(1): 73-78.
- [10] 李俊. 土壤重金属污染治理的修复方法探析[J]. 绿色科技, 2018, (12): 84-85.
- [11] 蒋楷林, 汪敬恒, 谷利敏, 刘1, 杨素芬, 等. 基于碳汇的能源生态循环理论体系构建[J]. 资源与环境科学进展, 2023, 2(2): 1-4.
- [12] 陈长松, 汪敬恒, 张建胜, 谢志涛, 王海啸, 安琪等. 一种钙质碱性土壤改良剂及其制备方法[P]. 中国发明专利, CN202311018389.8.

版权声明: ©2024 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

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



OPEN ACCESS