

# 探析重金属镉对土壤的危害及应对措施

刘奋娥 续彦凤

山西农业大学资源环境学院 山西太原 030031

**摘要:** 土壤镉污染具有长期性、潜在性的特征, 重金属镉对土壤生态环境呈现出较强的破坏影响。目前随着化工生产规模的不断扩大, 土壤遭受重金属镉危害的问题日益严峻, 化工企业以及环境监管部门需采取因地制宜的应对措施。本研究主要基于重金属镉危害土壤生态平衡的作用机理, 为全面整治土壤重金属镉污染提供可行性方案。

**关键词:** 重金属镉; 土壤危害; 应对措施

## 引言

在导致土壤生态破坏的众多因素当中, 重金属镉污染占据十分突出的地位。一般情况下, 较低浓度的重金属镉将会引发毒性反应, 而较高浓度的重金属镉则会威胁人类以及动物的生命, 易造成大面积的饮用水中毒等事故。近些年来, 由于重金属镉排放超标造成的土壤污染事件时有发生, 充分体现了加强土壤重金属污染治理的紧迫性。对于当前时期的环境监管部门而言, 如何在准确检测土壤重金属含量的前提下采取有效地防范污染措施, 应当视为维护土壤生态平衡的关键。

## 一、土壤重金属镉污染的来源与现状

### (一) 来源

土壤重金属镉污染的主要来源包括自然来源以及人为来源, 其中的人为生产作业构成了土壤重金属污染的最重要来源<sup>[1]</sup>。具体而言, 形成于自然演化机理的重金属镉占比相对较小, 通常存在于喀斯特地貌广泛分布的区域, 或者由于森林火灾、土壤颗粒沉积、火山喷发、海盐积累等自然作用而导致土壤重金属积累。与自然机理下的土壤重金属镉污染相比, 由于人类生产与生活排放导致的重金属镉来源更加复杂, 集中体现在金属冶炼、固体废弃物以及有害物质焚烧、化石燃料的大量燃烧等<sup>[2]</sup>。

例如, 矿区排放的废弃矿渣、尾矿中的有害物质未得到妥善的处理, 而是直接排放至矿区附近的土壤或河流, 就会造成程度比较严重的土壤重金属污染。在农业生产中的农药与化肥不当使用, 以及汽车尾气转化后的酸雨物质积累, 都有可能造成土壤重金属镉的含量急剧增长, 威胁附近居民的健康与安全。由此可见, 化工有害污染以及生活垃圾的超标排放构成了土壤重金属污染

的最重要来源, 当前时期的环境监管部门、化工企业以及社会公众对此都需要引发高度的重视。

如下表, 为土壤重金属镉污染的主要来源及其类型:

**表1 重金属镉土壤重金属镉污染的主要来源及其类型**

| 污染来源 | 主要类型                           | 严重等级 |
|------|--------------------------------|------|
| 自然来源 | 森林火灾、土壤颗粒沉积、火山喷发、海盐积累          | 一般   |
| 人为来源 | 钢铁冶炼与有色金属生产、焚烧固体垃圾、水泥生产、燃烧化石燃料 | 严重   |

### (二) 现状

当前时期国内的食物安全问题仍比较严峻, 其中的土壤重金属污染问题已受到环境监管部门以及社会公众的高度重视。尤其是在市面上出现超过《食品安全国家标准重金属镉食品中污染物限量》(GB 2762—2022) 中的镉限量指标 (0.2 重金属镉 mg/kg) 大米食品之后, 对于土壤重金属镉的污染防治已成为现阶段的技术研究重点<sup>[3]</sup>。依据《全国土壤污染状况调查公报》的调查数据结果, 目前国内一部分城市以及农村地区的土壤重金属污染状况仍比较严峻, 其中镉的点位超标率最高, 40% 以上的土壤重金属复合污染事件都属于镉污染。我国北方以及南方地区的土壤重金属污染状况都需要引发关注, 尤其是近些年来有色金属生产、农业种植规模迅速扩大, 客观上加剧了很多地区的土壤重金属镉污染, 并且威胁到粮食生产的安全性。

我国现有的矿产资源种类丰富, 目前已探明储量的矿产资源就包括了 159 种。从镉的矿物学性质分析结果得出, 镉在地壳中的“平均丰度” 大约为 0.2mg/kg, 其本身属于分散元素, 不易形成独立的矿物。镉主要富集在铅锌矿床的闪锌矿中, 但是由于化工生产企业更多关注经济价值较高的矿物遴选工艺, 因此导致尾矿与矿渣

中含有较多的重金属镉。尾矿中的有害重金属长期受到生物作用、风化作用的影响,就会导致土壤深部的有害重金属逐渐发生转化或者迁移,威胁到附近区域的居民饮食与饮水安全,还会严重破坏该区域的生物多样性。例如在水稻主产区的周边存在大量的化工重金属排放,渗入农田土壤以及地下水的有害重金属就会不断积累,影响农作物的品质安全<sup>[4]</sup>。

## 二、重金属镉对土壤的危害后果

### (一) 生态系统失衡

自然生态系统具备自我修复的功能,但是土壤生态系统在遭受过度破坏的情况下,通常就很难在短时间里完成自我修复或者净化,进一步导致土壤生态系统失去良好的平衡性。从土壤中的重金属镉污染角度进行分析,来自社会生产活动的重金属镉排放物在土壤中缓慢沉积,就会威胁所在区域的生态系统平衡,引发地表水、地下水、农业种植土壤的严重污染。重金属镉还具有难溶、难降解的特点,在农田土壤或者河流附近土壤当中保持长期的性质稳定,并导致重金属的有毒有害物质持续扩散。从土壤生态系统的整体性角度进行分析,某一区域的土壤、地表水、地下水等分支系统并不是孤立存在的,而是融合成为不可分割的有机整体。在此情况下,遭受镉污染的农田土壤或者矿区土壤就会导致“连带效应”的形成,从而进一步破坏该区域的地下水与地表水生态平衡<sup>[5]</sup>。

### (二) 威胁人体健康

人体在摄入大量重金属镉的状态下,富集达到较高浓度的重金属镉将会直接侵蚀人体的呼吸器官、心脑血管、神经系统等,由此导致人体发生重度昏迷、突发性的心脑血管病变等严重后果。一名成年人如果每天摄入0.5mg以上的重金属镉,则有可能造成人体的呼吸器官麻痹,直接威胁其生命安全。例如在上世纪中期,日本地区发生过一起较为严重的慢性重金属镉中毒事件,引发当地居民集体中毒的“罪魁祸首”就是含有超标重金属镉的加工大米食品。此外,积累于人体骨骼器官、脑部以及心脏等器官的重金属镉还会造成骨质疏松、肾小管功能障碍等疾病,不利于人体保持良好的健康状态。

### (三) 破坏生物多样性

重金属镉在自然界的土壤环境中很难实现降解,达到一定赋存浓度指标的土壤重金属镉将会导致动植物的细胞异常分裂,从而不利于野生动植物的正常生长繁育。例如在“Tessier分类法”的技术原理下,土壤重金属镉的赋存形态主要为“有机结合态”,其能够与土壤中的铁

锰化合物实现交换,然后被植物的根部吸收<sup>[6]</sup>。如果土壤中的重金属镉总体浓度较高,那么生长于该区域的金鸡菊、鼠尾草、凤仙花等野生植物品种就会受到比较明显的威胁,并造成植物种子的萌发过程受到抑制。土壤重金属镉还会随着地表径流而渗入地下水、湖泊以及河流,威胁野生动物的栖息与繁殖,打破该区域的生态链平衡。

## 三、土壤重金属镉污染的检测技术手段

### (一) 物理检测技术

土壤重金属镉污染的物理检测手段主要包括激光诱导击穿光谱法、X射线荧光光谱法的两种形式,以上两种物理检测技术都具有广泛的适用性。具体而言,激光诱导击穿光谱法指的是利用脉冲激发装置发射密度较高的激光束,促使其穿透土壤介质的表层,从而显露土壤介质深部的等离子体。由于激光束的发射密度较高并且速度较快,就会导致其迅速击穿待检测的土壤结构表面,并能够在很短时间内进入土壤深部。与之相比,X射线荧光光谱法的土壤镉污染检测技术更能够节约前期投入成本,旨在保持样本外观完整的前提下,借助X射线的高频发射光束来探测回波的强度、能量、波长等指标。截至目前,国内现有的激光诱导击穿光谱法、X射线荧光光谱法两种土壤重金属污染检测方案都已达到较好的成熟度,因此检测人员需结合土壤镉污染的实际情况进行合理的选择,旨在达到“降本增效”的土壤生态系统修复目标。

### (二) 化学检测技术

土壤重金属镉污染的化学检测技术包括原子荧光法、原子吸收法、电感耦合等离子体检测等方法,此外还包括色谱法以及电化学法。在上述众多的土壤镉污染检测手段中,电化学法、色谱法、光谱法的应用范围较广。例如在农业种植土壤的重金属污染检测实施中,技术人员通常考虑采用高效液相色谱法:即利用流动相的待检测样本,将其输入色谱柱并且完成相应的分离处理,最后借助专门检测仪器来分辨土壤样本是否含有超标的镉元素。近些年来,以“阳极溶出伏安法”为主的土壤镉污染化学检测手段逐渐受到重视,该检测技术的重要优势就在于精准度较高,并能够清晰反映金属氧化析出物的电化学差异性。

### (三) 生物检测技术

采用生物检测技术来评估土壤重金属镉污染的严重程度,关键是要结合实际情况选取酶抑制检测法、生物传感器检测法、免疫分析检测法等。例如,酶抑制检测

技术的基本原理就是土壤重金属离子与生物酶发生一定的化学反应，导致生物酶失去原有的活性，据此能够判断土壤镉污染是否存在。但是在目前的现状下，采用生物检测技术判断土壤中镉污染的工艺流程尚未真正成熟，相关部门仍需要解决检测仪器成本较高、载体制作与保存难度较大等一系列问题。

#### 四、土壤重金属镉污染的应对措施

##### (一) 加强土壤污染动态监测

全面加强土壤重金属镉污染的检测监督，能够为环境监管部门提供科学决策的重要支撑。近些年来，随着土壤重金属镉污染的事件频繁发生，环境监管部门亟待采取全方位、动态化的土壤重金属监测技术手段，以期在根源上排查并处置重金属镉造成的土壤污染事件。目前环境监测人员已经能够利用物联网传感器的自动监测设备，将其布置于土壤重金属污染较为集中的区域，并通过连接计算机控制中心系统来采集、传输与保存数据。在此前提下，环境监管部门还需要加强针对化工污染排放的动态监测，旨在源头防范化工企业的重金属超标排放，维护土壤生态系统的良好平衡性。

##### (二) 结合采用多种防治手段

土壤重金属镉的污染防治技术手段多样，结合物理防治、化学防治、生物防治等多种技术方法的土壤重金属治理模式更符合现实要求。具体而言，针对土壤重金属镉污染采取物理防治方案的基本思路就在于全面修复土壤，一般可以采用客土修复、表土修复、淋洗修复等手段；针对土壤重金属镉污染采取化学防治方案的要点在于增加石灰、有机质、磷肥或氮肥等化学改良成分，经过化学物质改良后的土壤有机质将会更加丰富，并应当配合采用“原位钝化修复”的化学处理手段；针对土壤重金属镉污染实施生物修复的本质则在于减少有害化学物质的赋存总量，或者借助微生物作用来转化、迁移、固定重金属。例如在大型尾矿库或者矿山的复垦实施中，相关部门可以利用微生物来修复遭受重金属破坏的矿区土壤，达到节约土壤修复资源、提升修复处理效率等目的。

##### (三) 建构智能风险评估模型

与传统的重金属镉污染评估与治理模式相比，采用人工智能建模工具作为支撑的土壤重金属污染防控方案更具可行性，并能够在很大程度上优化工程资源配置。目前环境监管部门通常可以采用物联网的风险评估模型，

通过建构实时性、多维度的土壤重金属污染模型来判断潜在的生态破坏威胁<sup>[7]</sup>。具体需要利用可视化的BIM建模辅助工具，紧密结合土壤重金属污染的前期勘测结果，为解决土壤生态污染问题“量身定制”最佳的实施方案。在人工智能的技术原理下，各机构、各部门的具体负责人员应当着眼于打破传统意义上的信息壁垒，使得重金属镉对土壤的危害影响更加具象化，切实减轻土壤污染防治过程中的财政支出负担。

#### 结束语

综上所述，重金属镉对土壤的危害影响表现为普遍性、分散性、持续性的显著特点，全面整治土壤中的重金属镉污染任务艰巨。为达到消除土壤重金属破坏与污染的目标，关键就是要探明重金属镉的产生来源及其分布规律，将物联网传感仪作为自动探测土壤生态污染的技术支撑。环境监管部门还应当加强对化工企业排放污染的动态监测，采取化学修复、物理修复、生物修复相结合的土壤重金属污染修复处理方案，从源头入手降低重金属镉引发大面积土壤污染的风险等级。

#### 参考文献

- [1] 李俊伟, 李文彦, 胡鑫等. 钙肥及24-表油菜素内酯对油菜生长及土壤重金属的影响[J]. 现代农业科技, 2025(19): 58-63.
- [2] 任文涛, 王楠, 韩斌等. 应用生物钝化-农艺调控技术联合修复农田土壤的重金属镉污染——以某冶炼厂周边农田为例[J]. 绿色科技, 2025, 27(16): 123-126+141.
- [3] 李青竹, 邢宇康, 甘杰等. 基于随机梯度提升的湘江流域土壤镉和砷空间分布及驱动机制研究[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2025, 56(08): 3382-3393.
- [4] 张帅, 王进进. 珠三角典型重金属污染菜地安全利用技术筛选[J]. 农业技术与装备, 2025(06): 25-26+29.
- [5] 杨馨澜. 钝化剂对土壤重金属镉含量及其在艾蒿中累积的影响[J]. 中草药, 2025, 56(13): 4809-4815.
- [6] 陈玉, 舒兴, 白嘉成等. 基于高光谱的甘薯重金属镉含量监测研究[J]. 浙江农业科学, 2025, 66(06): 1471-1476.
- [7] 李跃科. 探析重金属镉对土壤的危害及应对措施[J]. 资源节约与环保, 2024(10): 149.