

农田土壤污染防治及修复的相关技术及管理措施研究

李庆臣

菏泽市生态环境保护局巨野县分局, 山东 巨野 274900

摘要:探讨了农田土壤污染防治与修复的有效策略与技术。通过分析农田土壤污染的主要类型、来源及危害,阐述了农田土壤污染防治的原则与措施,并从物理、化学和生物三个角度,对农田土壤修复技术进行了系统论述。研究表明,农田土壤污染防治需坚持预防为主与防治结合的原则,综合运用农业管理措施和工程技术手段。物理、化学和生物修复技术各具特点和适用条件,应根据实际情况优选并集成优化,可为农田土壤污染防控和土壤质量提升提供理论参考和技术指导。

关键词:农田土壤污染;污染防治;土壤修复

中图分类号:X53

DOI: 10.3969/j.issn.2097-065X.2024.08.016

0 引言

随着工业化和城市化的快速发展,农田土壤受到了各种污染物的威胁,土壤污染问题日益严重。工业废气、废水、固体废弃物及农药化肥的大量使用使农田土壤中积累了大量重金属、持久性有机污染物、营养元素等污染物,严重影响了土壤质量和农产品安全。此外,土壤污染还会危害生态环境,影响人类健康。因此,开展农田土壤污染的防治及修复工作是当务之急。本文主要介绍了农田土壤污染的主要来源、污染物种类及其生态环境效应,重点探讨了农田土壤污染防治的策略与技术,以及土壤修复的物理、化学及生物技术,以期为农田土壤污染防治及修复工作提供参考。

1 农田土壤污染概述

1.1 农田土壤污染的主要来源与污染物种类

农田土壤污染主要来源于工业废气、废水、固体废弃物的排放,以及过量使用化肥农药等^[1]。主要的污染物种类包括重金属、持久性有机污染物、营养元素等^[2](表1)。

表1 农田土壤主要污染物种类

来源	污染物种类	污染物特征
工业废气	重金属	Cd、Cr、Pb 等
工业废水	持久性有机污染物	DDT、PAHs 等
生活污水	营养元素	氮、磷
化肥农药	硝酸盐	NO ₃ ⁻

具体来看,工业生产和生活污水中的重金属,如镉、铬、铅、汞等,长期排入农田,会通过土壤吸附和积累而造成土壤和农产品重金属污染。我国农业管理部门针对我国32个省(市、自治区)309个样本点的监测显示,所有样本点土壤镉含量均低于国家土壤环境质量标准,89.3%的样本点铅含量达标,约10.7%的样本点铅含量超标准,少数样本点铬与汞

超标。持久性有机污染物主要来源于工业生产,如农药、塑料添加剂等化工产品过程中的排放,以及这些产品的使用。过量施用化肥也是土壤污染的重要原因之一。统计数据显示,我国每年的化肥使用量高达5000万t,长期高量施肥会导致土壤养分累积,出现土壤酸化、盐渍化问题,也会造成地下水硝酸盐污染。

1.2 农田土壤污染对农作物生产及生态环境的影响

土壤污染会对农作物的生长发育产生多方面不利影响。重金属如镉、铅、铬等的积累,会影响植物对水分、营养的吸收,损害根系的结构和功能,抑制光合作用及细胞分裂,使叶片出现各种病理现象等。研究表明,当土壤镉浓度达到2~5 mg/kg时,水稻产量会下降10%~30%。土壤污染还会影响土壤微生物的数量与活性。这改变了土壤微生态系统的结构与功能,使得土壤肥力下降,不利于作物生产。例如,珠江三角洲地区的土壤重金属污染降低了水稻田土壤脲酶、碱性磷酸酶、苹果酸脱氢酶以及细胞的活性,抑制了土壤肥力。除上述影响外,土壤污染还威胁着生态系统和人体健康:(1)污染物通过食物链富集于人体,增加癌症、肾脏病等疾病的发生率;(2)土壤中残留农药可能导致农民出现外周神经炎、肝脏损伤等中毒症状;(3)土壤污染可导致地下水污染,增加水源性疾病的发生几率。总体而言,土壤污染严重影响农业可持续发展和区域生态安全。因此,开展土壤污染治理工作,实施科学合理的防治技术措施,保护土壤质量,维护生态平衡,实现农业与环境的协调发展,是当下及未来一个时期的重要研究方向。

2 农田土壤污染防治策略和农业耕作管理措施

2.1 预防为主、防治结合的防治策略

农田土壤污染防治应坚持“预防为主、防治结

合”的原则,从源头控制污染物排放,减少污染物进入农田土壤的数量和途径^[3]。首先,要加强工业废水、废气和固体废弃物的处理,提高污染物去除效率。与此同时,要优化产业布局,合理规划工业园区,将高污染企业集中管理,严格控制新增污染源。对于已关停的高污染企业,要督促其开展场地环境调查与风险评估,采取有效措施消除遗留污染隐患。其次,要合理使用化肥农药,推广使用高效、低毒、低残留农药,实施测土配方施肥。数据显示,科学施肥可减少化肥用量 20%~30%,降低土壤氮磷累积风险。农业部门要加强对农户的技术指导与培训,提高科学种植水平。同时,鼓励使用有机肥,提倡种植绿肥,培育地力,减少化肥农药的过量施用。再次,要加强农田基础设施建设,完善农田灌溉排水系统,防止工业废水和生活污水进入农田。合理布设污水处理厂及管网,确保生活污水达标排放。在用水紧张地区,探索推广再生水农业利用,既缓解农业用水压力,又避免污水直排带来的污染风险。最后,要建立健全农田土壤环境监测预警体系,定期开展土壤污染状况调查与评估,及时发现和处置突发性污染事件,从而最大限度地减少污染物进入农田土壤的数量。加密监测点位,扩大监测范围,提高监测频次,并将监测数据纳入国家土壤环境信息管理平台,为农田土壤污染防治决策提供数据支撑。只有多措并举,标本兼治,才能从根本上遏制农田土壤污染,保护耕地资源,确保农产品质量和人体健康。

2.2 农业耕作管理措施

农业耕作管理是防治农田土壤污染的重要措施,通过优化耕作制度、合理轮作套种、科学水肥管理等农业耕作管理措施,可有效减少污染物在土壤中的积累,提高土壤环境容量,增强土壤自净能力。研究表明,保护性耕作可减少土壤侵蚀 30%~50%,显著降低土壤中重金属等污染物的迁移流失。因此,大力推广保护性耕作技术,少免耕、植被覆盖和残茬覆盖,既能防止水土流失,又能阻隔污染物进入农田。合理轮作套种可通过生物多样性来改善土壤理化性质,提高土壤肥力和抗污染能力。在重金属污染区,选用低积累作物品种轮作,如小麦—玉米轮作,可使土壤镉含量降低 15%~20%。此外,科学的水肥管理也是减轻土壤污染的有效手段。实施测土配方施肥,根据作物需求量和土壤养分状况制定施肥方案,可减少化肥用量 20%~30%,降低面源污染风险。灌溉水也是农田污染的重要来源之一,因此要加强灌溉水质监测,优先利用优质水源,避免使用未经处理的污废水进行灌溉。同时,应用现代灌溉技术如喷灌、微灌等,既能节约用水,又能减少污染物在土壤中的迁移扩散。必要时,还可使

用钙镁磷肥、硅肥等调理剂,增加土壤 pH 值,降低重金属活性,减少作物吸收污染物的数量。总之,农业耕作管理要因地制宜,综合考虑区域特点、土壤类型、污染程度等因素,采取切实可行的防治措施,才能取得理想的防治效果,保障农产品质量安全。

3 农田土壤修复技术及实例

3.1 物理修复技术

土壤物理修复技术是通过物理手段改变土壤的理化性质,降低污染物毒性和生物有效性,减轻污染物对农作物的危害。常见的物理修复技术包括客土、热脱附、淋洗和电修复等。客土技术是在污染土壤表层覆盖一定厚度的无污染土壤,隔离污染物与作物的直接接触(图 1)。

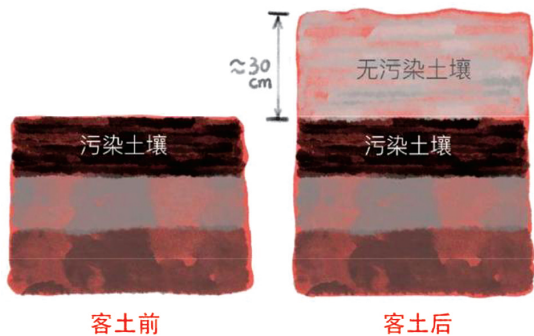


图 1 客土技术

热脱附技术利用高温使土壤中的有机污染物汽化挥发,汽化的污染物经真空抽出后通过冷凝、吸附等方式收集处理。该技术对 VOCs、PAHs 等有机污染物的去除效果显著,去除率可达 95% 以上。但热脱附设备成本较高,耗能大,同时高温会破坏土壤结构,影响土壤质量。淋洗技术是向污染土壤中注入淋洗液,通过溶解、悬浮等作用将污染物从土壤中分离出来,再将含污染物的淋洗液抽出处理^[4]。例如,使用 EDTA 淋洗重金属污染土壤,可使土壤中 90% 以上的镉、铅等重金属被淋洗去除。但淋洗液的选择需谨慎,避免造成土壤团聚体破坏和次生污染。电修复则利用直流电在土壤中形成电场,使带电荷的污染物在电场力的作用下迁移富集,经电极收集去除。但电修复受土壤类型、含水率等因素的影响较大,实际应用时需进行工艺优化。总之,物理修复技术具有见效快、适用范围广等特点,但能耗大、成本高,易造成土壤结构破坏等问题。在实际修复工程中,应综合考虑技术可行性、经济合理性、生态安全性等因素,通过比选确定最优修复方案。

3.2 化学修复技术

土壤化学修复技术是通过施用化学药剂,利用化学反应原理将土壤中的污染物转化为无害物质或降低其生物有效性,从而修复受污染土壤的一类技

术。常见的土壤化学修复技术包括化学稳定化、化学淋洗、化学氧化还原等(表 2)。

表 2 几种典型的土壤化学修复技术及其特点

化学修复技术	原理	适用污染物	优缺点
化学稳定化	吸附、沉淀	重金属、放射性核素	操作简单、成本低,但易造成土壤理化性质改变
化学淋洗	溶解、络合、离子交换	重金属、有机污染物	见效快、去除率高,但可能引起土壤次生污染
化学氧化还原	氧化还原反应	有机污染物、重金属	适用范围广、无二次污染,但反应条件苛刻

具体来看,化学稳定化是向土壤中添加无机或有机稳定剂,通过吸附、沉淀等作用降低污染物的活性和迁移性。例如,施用磷酸盐类稳定剂可显著降低土壤中镉、铅等重金属的生物有效性,使小麦对镉的吸收量降低 50% 以上。化学淋洗是利用淋洗液与土壤中的污染物发生溶解、络合、离子交换等反应,使污染物从土壤固相转移到液相中,再将含污染物的淋洗液抽出处理。化学氧化还原技术是通过改变土壤氧化还原条件,促使污染物发生氧化还原反应,生成无毒或低毒的物质^[5]。常用的氧化剂有过硫酸盐、高锰酸钾、臭氧等,还原剂有零价铁、硫化钠等。总之,化学修复技术具有快速高效、经济适用等优点,但也存在药剂成本高、可能引起次生污染等问题。在实际应用中,需根据土壤污染特征、环境条件等因素甄选合适的修复药剂,优化药剂配比和反应条件,同时做好修复过程的环境监测与风险评估,防范潜在的环境风险。此外,土壤化学修复后应采取必要的生态修复措施,加快土壤生态功能的恢复。

3.3 生物修复技术

生物修复技术是利用植物、微生物等生物体的新陈代谢活动,吸收、转化、降解土壤中的污染物质,从而达到修复受污染土壤的目的。其主要包括植物修复和微生物修复两大类。植物修复是利用超富集植物从土壤中吸收污染物并富集于体内,再通过收割植物地上部分去除污染物的一种原位修复技术^[6]。例如,蜈蚣草等超富集植物可有效吸收土壤中的砷,经 60 天修复后,土壤中砷含量可降低 50% 以上。

同时,植物体内的砷含量可达土壤中砷含量的 100 倍以上。但植物修复周期较长,且受气候、土壤等环境条件的影响较大。微生物修复则是利用土著或外源微生物的代谢活动,将土壤中的有机污染物转化为无害的中间产物或最终矿化为二氧化碳和水。例如,白腐真菌能有效降解土壤中的 PAHs,降解率可达 60%~95%。但微生物修复对环境条件要求较高,且可能引入外源微生物,从而对土著生态系统造成干扰。在实际应用中,可根据污染物种类、污染程度等因素,优先选择高效、经济的生物修复技术。例如,对于有机污染物以微生物修复为主,重金属污染以植物修复为主。同时,生物修复可与物理、

化学修复联用,发挥协同增效作用。如采用化学淋洗—植物修复联合工艺,可使重金属去除率提高 20%~30%。但生物修复也存在修复周期长、环境适应性差等问题,其规模化应用尚需进一步的技术攻关。未来,应加强土壤—微生物—植物互作机制的研究,筛选高效微生物菌剂,优化植物修复的配植模式,开发新型植物—微生物联合修复技术,提高生物修复的适用性和有效性。

4 结语

农田土壤污染已成为制约农业可持续发展的瓶颈,严重威胁粮食安全和人体健康。防治与修复农田土壤污染刻不容缓,必须采取综合措施,标本兼治。农田土壤污染的防治与修复需要从源头把控、过程监管、末端治理多个环节发力,生物、物理和化学等修复技术各具特点和适用条件,应根据污染特征、环境要求等因素综合考虑,因地制宜地选择。未来,随着农田土壤污染调查与评估、监测与预警、防治与修复等领域的不断拓展,必将进一步丰富和完善农田土壤污染防治与修复的理论与技术体系,形成政府主导、企业参与、公众监督的多元化治理格局,为保护农田土壤环境、促进农业绿色发展提供坚实的科技支撑。

参考文献:

[1] 高明瑜. 农田土壤污染的监测及修复方法探究[J]. 河南农业, 2021(17): 53-54.

[2] 邓美华, 朱有为, 段丽丽, 等. 农田土壤重金属污染“边生产边修复”综合防治技术模式解析[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2020, 46(2): 135-150.

[3] 李志明, 吉庆勋, 杨曼利, 等. 我国农田土壤污染现状及防治对策[J]. 河南农业, 2019(23): 46-49.

[4] 王金梅. 常态下农田土壤污染防治关键问题分析[J]. 环境与发展, 2019, 31(1): 35, 37.

[5] 熊从洲. 土壤重金属污染治理修复技术[J]. 数字农业与智能农机, 2023(3): 31-33.

[6] 邹照, 刘胜强, 任雪菲, 等. 农田重金属污染防治技术探讨[J]. 中国环保产业, 2017(1): 66-68.

作者简介: 李庆臣, 男, 1975 年生, 助理工程师。研究方向为生态环境保护工程。