土壤环境污染及污染土壤的修复研究

陈文斌

山西清朗环保科技有限公司 山西 太原 030032

摘要: 本文系统探讨土壤环境污染类型、危害及修复技术。污染类型涵盖重金属、有机物、放射性物质及酸碱盐渍化等,其危害涉及生态破坏、农业减产、健康风险及经济损失。修复技术包括物理(客土法、热脱附)、化学(淋洗、氧化)、生物(植物、微生物)及联合修复技术。研究表明,单一技术存在局限,联合修复可提升效率。未来需加强技术创新与政策协同,推动土壤污染精准治理与可持续发展。

关键词: 土壤环境污染; 污染的危害; 修复技术

引言

土壤是生态系统核心要素,其污染问题已成为全球环境治理焦点。工业排放、农业活动及城市化进程导致重金属、有机物等污染物在土壤中累积,引发生态失衡、农产品安全威胁及人体健康风险。系统研究土壤污染类型、危害机制及修复技术,对保障粮食安全、生态安全和可持续发展具有重要意义。本文旨在梳理污染成因与修复技术进展,为土壤污染防控与修复实践提供理论支撑。

1 土壤环境污染类型与来源

1.1 重金属污染

重金属污染是土壤环境污染的主要类型之一。常见的污染土壤的重金属包括镉(Cd)、铅(Pb)、汞(Hg)、铬(Cr)、砷(As)等,这些重金属具有毒性高、难降解、易累积等特点,进入土壤后会长期存在并不断迁移转化,工业生产过程中,采矿、冶炼、电镀、电子废弃物处理等行业排放的“三废”中含有大量重金属^[1]。未经有效处理直接排放或堆放,导致周边土壤重金属污染;农业活动中,不合理使用含重金属的化肥、农药、农膜,以及污水灌溉等,也会使重金属在土壤中逐渐累积;此外交通运输过程中汽车尾气排放、轮胎磨损等产生的重金属颗粒,通过大气沉降也会污染土壤。

1.2 有机污染物污染

有机污染物种类繁多,在土壤中广泛存在。石油化工、制药、印染等行业排放的有机废水、废渣中含有多环芳烃(PAHs)、有机氯农药、多氯联苯(PCBs)、二噁英等持久性有机污染物。这些污染物具有高毒性、难降解、生物累积性强等特性,会在土壤中不断富集,破坏土壤微生物活性,影响土壤生态功能。农业生产中大量使用的有机农药,如滴滴涕(DDT)、六六六等,虽然部分已被禁用,但因其残留期长,仍在土壤中持续存

在,对土壤环境和农产品安全构成威胁。此外,城市生活污水、垃圾填埋场渗滤液中的有机污染物也会通过各种途径污染土壤。

1.3 放射性物质污染

放射性物质污染主要来源于核工业生产、核试验、放射性废弃物处理等活动。放射性核素如铀(U)、钚(Pu)、铯(Cs)、锶(Sr)等进入土壤后,会长期存在并释放出射线,破坏土壤微生物和植物细胞结构,影响土壤生态系统的正常功能。放射性物质还会通过食物链传递,在生物体内累积,对人体健康产生潜在的严重危害,其污染影响范围广、持续时间长,修复难度极大。

1.4 其他污染类型

除上述污染类型外,土壤还可能受到酸碱污染、盐渍化污染等。工业生产排放的酸性废水、废气,以及农业过度使用化肥等,会导致土壤酸化,改变土壤酸碱度,影响土壤养分有效性和微生物活性,降低土壤肥力。而不合理的灌溉方式,如长期使用高矿化度水灌溉,以及在干旱、半干旱地区由于蒸发强烈,盐分在土壤表层积聚,会造成土壤盐渍化,使土壤板结,透气性和透水性变差,影响农作物生长。

2 土壤环境污染的危害

2.1 对生态系统的危害

土壤环境污染会破坏土壤生态系统的结构和功能。重金属和有机污染物会抑制土壤微生物的生长、繁殖和代谢活动,改变土壤微生物群落结构和多样性,影响土壤中物质的分解、转化和循环过程。某些有机污染物会毒害土壤中的有益微生物,导致土壤中氮、磷、钾等养分的转化和供应受阻,影响植物的生长发育^[2]。土壤污染还会影响土壤动物的生存和繁衍,如蚯蚓等土壤动物对土壤环境变化较为敏感,污染的土壤会使其数量减少、活动能力下降,进而影响土壤的通气性和透水性,破坏

土壤生态平衡。

2.2 对农业生产的危害

土壤污染严重影响农业生产的产量和质量。受污染土壤中的污染物会被农作物吸收并在体内累积,导致农作物生长发育受阻,产量下降。重金属污染会影响农作物对养分的吸收和运输,导致植株矮小、叶片发黄、果实畸形等。农产品中污染物超标会降低其品质 and 安全性,使农产品失去市场竞争力。长期食用受污染的农产品,会对人体健康造成危害,引发各种疾病。此外,土壤污染还会导致土壤肥力下降,增加农业生产成本,影响农业的可持续发展。

2.3 对人体健康的危害

土壤污染通过食物链传递,对人体健康构成严重威胁。当人们食用受污染土壤生产的农产品时,污染物会进入人体,在人体内不断累积,引发各种疾病。重金属镉进入人体后,会在肾脏和骨骼中累积,导致肾功能衰竭、骨质疏松和骨折;铅会影响人体神经系统、血液系统和生殖系统的正常功能,尤其对儿童的智力发育造成严重损害;有机污染物如多环芳烃、二噁英等具有致癌、致畸、致突变作用,长期接触会增加患癌症等疾病的风险。此外,土壤污染还可能通过扬尘、皮肤接触等途径直接危害人体健康。

2.4 对社会经济的危害

土壤污染造成的经济损失巨大。为了保障农产品安全和生态环境质量,政府和企业需要投入大量资金用于土壤污染治理和修复,以及农产品检测和监管等工作,这增加了社会经济成本。受污染的土地无法正常用于农业生产、工业建设和房地产开发等,导致土地资源浪费,影响区域经济发展。此外,土壤污染引发的环境问题还可能引发社会矛盾,影响社会稳定。因土壤污染导致的农产品质量问题引发的消费者投诉和纠纷,以及周边居民因土壤污染对身体健康担忧而产生的不满情绪等。

3 污染土壤的修复技术

3.1 物理修复技术

(1) 客土法与换土法,客土法是向污染土壤中添加未受污染的土壤,稀释污染物浓度,改善土壤环境质量;换土法则是将受污染的土壤挖出,换上未受污染的土壤。这两种方法适用于污染面积较小、污染程度较轻的土壤修复。其优点是修复效果直观、彻底,但工程量大、成本高,且会产生大量废弃土壤需要处理,可能对周边环境造成二次污染。(2) 热脱附技术,热脱附技术是通过加热污染土壤,使其中的有机污染物挥发或分解,从而达到修复目的。根据加热方式和温度的

不同,可分为低温热脱附($< 400^{\circ}\text{C}$)和高温热脱附($> 400^{\circ}\text{C}$)。该技术对高沸点、难降解的有机污染物去除效果较好,适用于处理石油烃、多环芳烃、有机氯农药等污染土壤^[3]。热脱附技术能耗高、设备投资大,且在处理过程中可能会产生二次污染物,需要配套相应的尾气处理设施。

3.2 电动修复技术

电动修复技术是在污染土壤中插入电极,施加直流电场,利用电场作用下土壤中污染物的电迁移、电渗流和电泳等原理,将污染物迁移至电极附近进行收集和处理。该技术对重金属离子和带电有机污染物具有较好的去除效果,尤其适用于低渗透性土壤的修复。但电动修复技术修复效率受土壤性质、污染物种类和浓度等因素影响较大,且修复过程中可能会引起土壤酸碱失衡等问题。

3.3 化学修复技术

(1) 土壤淋洗技术,土壤淋洗技术是利用淋洗剂与土壤中的污染物发生溶解、络合、离子交换等化学反应,将污染物从土壤颗粒表面解吸并随淋洗液迁出土壤。淋洗剂可分为无机淋洗剂(如酸、碱、盐溶液)和有机淋洗剂(如表面活性剂、络合剂)。该技术适用于处理重金属和有机污染物污染的土壤,修复效率高、处理周期短。但淋洗过程中会产生大量的废水,需要进行后续处理,以防止二次污染,且部分淋洗剂可能会对土壤结构和微生物造成破坏。(2) 化学氧化技术,化学氧化技术是通过向土壤中添加氧化剂(如高锰酸钾、过氧化氢、臭氧、芬顿试剂等),将土壤中的有机污染物氧化分解为无害的二氧化碳和水等物质。该技术对多环芳烃、有机氯农药等难降解有机污染物去除效果显著,反应速度快,操作相对简单。但化学氧化过程中可能会产生一些中间产物,需要进一步处理,且氧化剂的使用可能会对土壤生态环境产生一定影响。(3) 固化/稳定化技术,固化/稳定化技术是向污染土壤中添加固化剂或稳定剂,使土壤中的污染物与固化剂或稳定剂发生化学反应,形成不溶性、低迁移性的化合物,降低污染物的生物有效性和环境风险。对于重金属污染土壤,常用的固化剂有水泥、石灰、磷酸盐等;对于有机污染物污染土壤,可采用活性炭、黏土矿物等作为稳定剂。该技术操作简单、成本较低,适用于处理重金属和有机污染物混合污染的土壤。但固化/稳定化处理只是将污染物固定在土壤中,并没有真正去除污染物,存在长期稳定性和二次释放风险。

3.4 生物修复技术

3.4.1 植物修复技术

植物修复技术是利用植物及其根系微生物的协同作用,对土壤中的污染物进行吸收、富集、降解和固定。根据修复机制的不同,可分为植物提取、植物稳定、植物挥发和植物降解等类型。植物提取是利用超积累植物从土壤中吸收污染物并转运至地上部分,收获地上部分后进行处理,从而降低土壤中污染物含量;植物稳定是通过植物根系分泌的物质和根系周围的微生物活动,使土壤中的污染物形成稳定的化合物,降低其迁移性;植物挥发是利用植物将土壤中的挥发性污染物吸收并转化为气态物质释放到大气中;植物降解是植物体内的酶或根系微生物将土壤中的有机污染物分解为无害物质。植物修复技术具有成本低、环境友好、不破坏土壤结构等优点,但修复周期较长,受植物生长特性和土壤环境条件限制较大。

3.4.2 微生物修复技术

微生物修复技术是利用土壤中的微生物,通过代谢活动将土壤中的有机污染物降解为二氧化碳、水和其他无害物质,或通过生物吸附、生物转化等作用降低重金属的毒性和迁移性。微生物修复可分为原位修复和异位修复。原位修复是在不破坏土壤环境的前提下,向污染土壤中添加营养物质、电子受体或微生物菌剂,促进土著微生物的生长和代谢活动;异位修复是将污染土壤挖出,在异地进行处理,如生物堆肥、生物反应器处理等。微生物修复技术具有成本低、效率高、无二次污染等优点,但修复效果受土壤环境条件(如温度、pH、氧气含量等)和污染物种类、浓度等因素影响较大。

3.4.3 动物修复技术

动物修复技术是利用土壤动物(如蚯蚓、鼠类等)的活动和代谢作用,改善土壤结构和微生物环境,促进土壤中污染物的降解和转化。蚯蚓在土壤中不断蠕动、吞食土壤和有机物质,其肠道内的微生物和酶能够分解土壤中的有机污染物,同时蚯蚓的排泄物还能增加土壤肥力^[4]。动物修复技术对土壤生态系统的扰动较小,具有一定的生态修复功能,但修复效率相对较低,通常与其

他修复技术联合使用。

3.5 联合修复技术

联合修复技术是将两种或两种以上的修复技术有机结合,充分发挥各自优势,弥补单一修复技术的不足,提高土壤修复效率和效果。物理-化学联合修复技术,先采用热脱附技术去除土壤中的大部分有机污染物,再利用化学氧化技术进一步降解残留的有机污染物;生物-化学联合修复技术,在化学氧化处理后,利用微生物修复技术恢复土壤微生物群落结构和功能,降低化学修复对土壤生态环境的影响;植物-微生物联合修复技术,利用植物为微生物提供碳源和氧气,微生物促进植物对污染物的吸收和降解,两者协同作用实现土壤修复。联合修复技术具有针对性强、修复效率高、综合效益好等优点。其能精准匹配不同污染物特性,如对有机-重金属复合污染,可协同发挥物理分离与生物转化作用。修复效率较单一技术提升30%-50%,且降低单位治理成本15%-20%。

结语

土壤污染治理需构建“预防-修复-管理”全链条体系。当前修复技术已从单一物理、化学方法向生物-联合修复升级,但长期稳定性、成本效益及二次污染防控仍是挑战。未来应强化技术创新(如纳米材料、基因工程微生物应用),完善污染责任认定与修复标准,推动跨学科协同与政策协同。唯有兼顾环境效益与经济可行性,方能实现土壤健康与可持续发展的双重目标。

参考文献

- [1] 皇改革,程雪刚,田俊俊,等.土壤环境污染及污染土壤的修复研究[J].农村科学实验,2022(12):219-221.
- [2] 李林蔓.农业土壤环境污染对粮食安全的影响及修复研究[J].环境科学与管理,2025,50(6):177-182.
- [3] 许旭敏.土壤修复工程中的环境污染防治与管理研究[J].皮革制作与环保科技,2024,5(11):135-137.
- [4] 康蒙,孙翠平,王倩,等.环境污染对土壤微生物多样性的影响及生态修复技术探讨[J].皮革制作与环保科技,2024,5(16):136-138.