

土壤重金属污染现状及修复技术研究

韦美燕¹ 张军² 通讯作者

(1 泰国格乐大学国际学院工程技术管理系 泰国曼谷 10220 2 滨州学院山东省黄河三角洲生态环境重点实验室 山东滨州 256603)

摘要:人类的生存活动、农作物的生长等离不开土壤支撑,土壤质量直接影响人类经济社会的发展与建设。伴随着国家层面对环境污染治理问题的高度重视,社会各界开始关注土壤重金属污染修复,本文就是结合土壤重金属污染为研究对象,通过分析污染源、污染危害、修复技术,着重强调此项工作展开的迫切性,其后,从土壤重金属污染防治、土壤重金属污染修复技术应用有效性提升这两个方面提出相关建议,希望能为同行业研究人员提供参考依据。

关键词:修复技术;土壤重金属;污染危害;污染源

引言

本文以土壤重金属污染现状为切入点,通过分析土壤重金属污染源和土壤重金属污染危害,呼吁广大人民群众重视土壤重金属污染问题,然后针对性讨论土壤重金属污染修复技术,希望能够为解决土壤重金属污染问题提供技术支持,最后结合污染与治理并存的措施建议,针对性提出土壤重金属污染防治以及修复技术应用有效性提升的对策,希望可以全方位提高重金属污染修复质效。

一、土壤重金属污染现状

(一)土壤重金属污染源

重金属是指密度 $>4.5\text{g}/\text{cm}^3$ 的金属,比如:Pb、Ni、Zn、As、Hg、Cu、Al等,由于金属具有难以被生物降解、可在生物食物链中百倍、千倍富集的特点,一旦通过食物链传播给人体,与人体内蛋白质、酶等相关物质发生反应,不仅会降低酶、蛋白质的活性,还会导致人体发生慢性中毒,久而久之会出现弱化器官功能、器官病变等一系列严重后果。

根据土壤重金属污染特点,将污染源划分为自然源和人工源这两大类,前者是指伴随母质、基石风化作用,风力水力搬运作用进行的传播和污染;后者主要是由于人类活动所导致发生的污染。其中,人类活动所产生的污染,按照活动方式的差异,可以细分为城市生活污染、工业污染、交通污染、农业污染这四种类型。城市生活污染主要是指长期积累的生活垃圾、重金属干电池污染;工业污染主要是指化工、采矿、皮革、冶金等生产环节,由于出现自然风化、雨水淋溶等问题,产生的重金属污染;交通污染主要是指燃油泄漏、汽车尾气、机动车及构件磨损所导致发生的重金属污染;农业污染主要是指污水灌溉、地膜、肥料、农药使用环节所导致出现的重金属污染问题。

(二)土壤重金属污染危害

1、对水体的危害

如果水体环境受到了污染,会加重土壤重金属污染蔓延范围和速度,并且在水体中重金属难以被微生物正常降解,也不会被水体自净作用所消除。此外,重金属毒性较大,如果人们过多饮用含有重金属元素的水体,就会影响身体健康、生命安全。比如:骨痛病、水俣病都与土壤重金属污染问题有一定关联,是由于水体受到重金属严重危害所导致发生的疾病。

2、对植物的危害

土壤是植物生长的温床,是植物可以长时间生存的前提,如果在植物生长期间,其种植土壤存在重金属污染,就会出现植物吸收重金属元素的问题。展开来讲,植物在生长和发育过程中,需要施加适度的农药和化肥,如果化肥中重金属元素含量过多,经过农业灌溉行为,重金属物质会流入植物种植土壤,不仅显著降低了土壤调节能力,在植物生长过程中还会吸收相

关重金属元素。而植物在吸收重金属元素后,不仅会受到有毒物质的入侵,同时还会影响对营养元素的吸收能力,严重的甚至会出现植物死亡的问题。

3、对生物的危害

如果重金属污染了土壤区域,该部分区域土壤活力会受到破坏,从而影响微生物的正常活动,即微生物在重金属元素的影响下,可能会出现消亡的发展趋势。比如:有部分区域,缺乏充足的灌溉水资源,在不得已的情况下,需要引进经过处理的污水实施灌溉作业,但实际上,当前所存在的污水加工和处理技术,难以消除在污水中所包含的所有重金属元素,经过一系列污水灌溉操作,未被处理完成的重金属元素会流入土壤内部,经过时间的累积对生态环境稳定性会产生不可调和的影响,从而制约了生态系统多样化的构建进程。

4、对人体的危害

土壤重金属污染对人类生存产生的影响主要分为以下两个方面:一方面,重金属与空气的结合。如果人们在呼吸过程中,吸入了与空气相结合的重金属元素,就会威胁人们身体健康。另一方面,如果人们食用已经被重金属所污染的植物、水资源等相关物质,经过食物链的作用,重金属元素会传递到人体内部,经过时间的累积,在重金属含量到达一定界限后,人体会出现癌症、肾衰竭等严重疾病。比如:以铅金属元素为例,人体中如果吸收了该元素,会出现头痛以及记忆力衰退的情况,久而久之,会降低人们身体健康程度。

二、土壤重金属污染修复技术

(一)物理修复技术

1、玻璃化修复技术

玻璃化修复技术主要是指通过加热的方式,将重金属污染过的土壤温度提升至两千摄氏度左右,此时重金属基本处于溶化状态,配合快速冷却的方式,能够形成稳定的玻璃态物质。该技术修复机理为,在特定化学结合状态下,重金属离子与非静态网格被捕获,形成具有低孔隙率、低浸出率的玻璃化材料,然后达到去除土壤重金属的目的。但是在应用玻璃化修复技术的过程中,对温度控制要求较高,还需要投入土壤加热修复成本。因此,为了节约修复成本,通常会选择应用太阳能加热的方式,配合使用纳米材料、活性炭、粉煤灰等相关物质,强化玻璃化修复技术应用效果。此外,虽然玻璃化修复技术具有修复效率高、适用范围广、修复时间短、产物稳定的优势,但由于其在高温处理过程中,部分易挥发特性的重金属会出现扩散现象,容易对大气环境造成污染,所以该项技术通常被应用于污染面积相对较小、污染程度较高、含水量较低的重金属污染土壤。

2、热处理技术

通过加热升温土壤的方式,完成重金属污染修复就是热处

理技术,一般情况下,此种修复技术被应用于土壤中重金属具有易挥发性质、较强渗透性的情况。比如:以姚高扬为例,其针对土壤中汞污染进行热处理技术修复,成功将土壤汞含量降低为点 $1.44\text{mg}/\text{Kg}$,低于标准规定值 $1.8\text{mg}/\text{Kg}$ 。热处理技术虽然耗时短、修复工艺和修复设备简单、修复效果好,但该技术适用范围相对较小、容易产生较大能耗,并且会对土壤本底环境产生一定破坏影响,所以该项技术并没有得到大范围的应用。此外,如果热处理温度过高的话,可能会导致发生土壤分解的情况,对土壤微生态环境呈现了一定破坏效果,不仅会降低土壤内部有机物含量,同时还会改变土壤理化性质。

3、客土和换土修复技术

该修复技术主要是移除重金属污染超标的土体,然后用没有被污染过的土壤进行代替和填埋,也就是说客土和换土修复技术主要是配合使用客土、换土、深耕翻土等一系列方式,完成土壤重金属污染修复工作。其中,深耕翻土更适用于污染程度较轻的土壤,其是通过将被重金属污染的土层表面翻到土层底部,完成修复工作;异地客土修复技术,适用于污染相对严重的土壤修复。上述两种技术具有较强的修复效果,较高的修复效率,但同时由于投资相对较高、人力物力成本高、容易损害土壤原有肥力,所以通常情况下,被应用于解决污染面积相对较小的土壤重金属污染修复工作。

(二) 化学修复技术

1、化学淋洗修复技术

在受污染的土壤中,通过添加淋洗药剂的方式,让重金属物质到达淋洗液当中就是化学淋洗技术,该技术手段主要作用原理是通过淋洗的方式吸附土壤中重金属,从而达到修复土壤的目的。本质上讲,化学淋洗修复技术更适用于修复砂石土壤,是对化学技术的一项革新。虽然,不同的淋洗液能够收获差异幅度较大的重金属淋洗效果,但是该修复技术在应用过程中容易污染地表水,甚至可能会影响土壤肥力,不利于保证植物生长充足养分。为有效弥补上述技术的缺陷问题,专家学者经过研究和实证后得出结合化学进出技术、地基加固技术,能够发挥化学淋洗修复技术最强应用效果,即配合应用上述技术将重金属充分固定在深层土壤中,从而达到减少地表水污染的情况。

2、固定/稳定化修复技术

固定/稳定化修复技术是将固化/稳定剂加入已经被污染了的含有重金属的土壤,在离子沉淀、交换、吸附等相关反应条件下,通过改变重金属存在形态,有效弱化重金属浸出性、迁移性、有效性,确保达到降低重金属危害生态环境程度的目标,该项修复技术具有成本低、修复周期短、应用风险低、工艺简单的特点,因而为其广泛应用提供了前提条件。一般情况下,固化是指依托完整性、高结构的固体封存重金属,阻止重金属过多出现流动与释放的情况;稳定化主要是指在土壤中加入化学药剂,进一步钝化重金属污染物,从而达到减少重金属污染物生物有效性的目的。其中,固化材料一般包括生物炭、金属氧化物、粘土矿物、有机肥料等,将其与污染土壤进行充分接触,能够收获良好的固化效果。但在应用该项修复技术过程中需要注意,虽然化学固化法能够有效应对污染面积较大的中、轻度污染土壤,但该技术无法彻底清除土壤中污染物,甚至会到周围环境产生负面效应,不利于保证人们的居住条件。

3、电动修复技术

该项技术手段是通过施加直流电压的方式,活化土壤内部重金属,同时借助电泳、电迁移促使重金属离子向电极两端迁移,进而达到土壤污染修复的效果。通常情况下,电动修复效应,受结晶效应、电极腐蚀、热效应等因素影响,对此为提高土壤污染修复效率,通常联合使用电动修复技术与化学活化剂,

通过加入乙酸、柠檬酸、亚硝基三乙酸、乙二胺二琥珀酸、酒石酸等相关化学活化剂,促使实现电动修复。同时也可以添加生物表面活性剂,通过提升电导率与电渗流强度,针对性去除污泥有毒重金属。一般情况下,电动修复技术适用于去除低渗透性的重金属污染土壤,该技术在应用过程中,虽然具有设备简单、二次污染小、去除效率高的特点,但由于修复成本较高、应用范围有限、容易改变土壤理化性质,所以在应用该技术期间,还需要联合其他修复技术进行配套使用。

(三) 生物修复技术

1、微生物修复技术

在重金属污染土壤中,通过添加微生物的方式,有效制约重金属在土壤中发生的迁移现象、弱化重金属对环境的危害,并且在添加微生物的过程中,通常会产生产物酶物质,此种物质有助于增加土壤肥沃程度与抵抗力,能够改善土壤质量,因此具有良好的修复效果。同时,微生物修复技术在应用过程中具有经济成本低的优势,尤其是真菌和细菌在特定作用下可以通过应激反应,产生特异性糖蛋白,而特异性糖蛋白与土壤中的重金属进行反应后能够产生复合物,这也是微生物修复技术在应用过程中能够快速降低土壤重金属迁移特性的主要原理。

2、动物修复技术

配合使用土壤中的动物,完成对土壤重金属的富集与转化,然后有序处理土壤动物,能够达到修复被重金属污染的土壤的作用。以郭永灿等人为例,其经过研究发现土壤中的蜘蛛和蚯蚓等动物,具有较强的针对重金属的富集与耐受能力,并且通过研究毒性毒理可以明确,修复动物体内重金属浓度应与土壤重金属浓度呈正向比例,即随土壤重金属浓度的升高,应相应提升修复动物体内重金属浓度。同时,考虑到单一动物修复能力有限,笔者认为可以配合使用联合修复技术的方式,增强土壤动物催化剂效用。现阶段,我国针对土壤动物修复技术的研究相对较少,但对土壤动物环境检测的研究比较重视,所以,土壤动物修复技术仍有较大进步空间,能够成为未来主要的土壤修复技术支撑。

3、植物修复技术

利用植物完成土壤重金属修复工作,主要涉及内容包括植物固定、植物提取、植物稳定、植物挥发等相关机制,由于植物修复技术具有绿色环保、操作简便的特点,更容易被社会公众所接受,其主要修复原理为利用植物根系吸收、稳定、转运、修复重金属污染,通常被应用于污染面积较广、具有较强扩散性的土壤区域。笔者在查阅相关文献之后,得出植物细胞壁氨基、酰氨基、羟基等是可以有效吸收土壤中重金属物质的结合点;植物对水肥利用率、土壤水肥状况等都会对植物修复技术应用效果产生一定影响;植物可以有效改变汞的价态,从而起到降低汞毒性的作用等相关论证。但需要注意的是,虽然植物修复技术具有明显的应用优势,但由于该技术生物量小、无法修复深度污染土壤、土壤修复时间较长等不足,一定程度上限制了该技术手段的商业化应用,难以满足重金属污染严重的土壤修复要求。针对上述问题,笔者认为然后应着重配合使用分子生物学、基因工程等相关技术,强化植物修复技术应用成效,最大限度发挥该项技术经济环保的应用优势。

(四) 联合修复技术

类似微生物—植物联合修复一样的联合修复技术,与单一技术相比,能够增强土壤微生物群落的多样性,因此具有强化植物根剂效应、优化重金属修复效果的作用。举例来说,董盼盼等人在研究土壤重金属受生物炭—植物联合修复技术的影响工作时,发现添加生物炭具有吸收和固定重金属的作用;具有加快盐地芦苇和筒蓬生长的作用;沈生元等人通过研究蚯蚓对

玉米修复砷污染土壤，并在研究过程加入 AM 真菌的实验，得出 AM 真菌与蚯蚓进行联合，具有大幅度降低土壤中砷物质含量的作用；杜传宝等人通过研究微生物受到纳米羟基磷灰石的影响，得出纳米羟基磷灰石具有显著提高重金属残渣态含量，明显增强土壤微生物多样性的作用，所以该联合修复技术能够有效改良重金属土壤修复效果。

结合前文的分析与讨论，可以明确对于土壤重金属进行修复，联合修复技术效果明显优于单一修复技术效果，对此，为了获得高质量的土壤重金属污染修复成效，未来应将主要研究技术重点放在联合修复技术上。

三、土壤重金属污染及修复技术应用对策

(一) 土壤重金属污染防治对策

1、科学环保，发展农业

农民为了有效提升农作物质量和数量，通常会在农作物上喷洒农药和化肥，而部分农药和化肥可能会导致发生土壤污染。同时，土壤重金属污染具有长期性特点，为了避免发生土壤污染 - 影响植物 - 威胁居民的问题，有必要增强居民自身权益保护意识，确保居民认清重金属污染危害，从而加快落实群众监督、协同管理、优化治理的机制。此外，笔者认为应该强化农业部门与环境监管部门的合作，通过建立相关研究小组，在进行全方位宣传与培训的过程中，有效推动植物管理技术的应用，尽可能让农民形成广泛应用农家肥料和有机肥料的认识，通过提高农业发展规范性、科学性，有效控制土壤重金属污染

2、加大环境监督和治理力度

意识决定行为，要想真正意义上避免出现重金属污染土壤的问题，必须从人员意识入手，提高人们对环境保护工作的重视度。展开来讲，需要借助地方环保部门的大力配合，通过提高污染治理监督工作效力，第一时间查明污染源，并配合使用针对性的控制措施。在此过程中，要特别关注针对农业生产地区、重金属污染地区进行监测，确保掌握一手的数据变化信息，借此保证提高防治措施的针对性。

3、优化土壤监测工作，实现数据共享

在防治土壤重金属污染问题时，及时完成土壤保护监测数据的共享、及时发现污染迁徙途径具有十分重要的意义，为了满足上述要求，实时交换监测数据，笔者认为有必要建立完善的环境保护机制，配合各部门明确的权责划分，在保证土壤环境监测工作科学性与协调性的前提下，有效监测和治理地下重金属污染问题。比如：主管部门联合已知土壤污染数据，针对性展开公民培训工作，同时重点监测和管理三废情况，通过控制三废，减少污染。此外，在信息技术水平飞速发展的现实背景下，要求部门能够借助信息平台的支撑，建立密切的沟通与交流关系，从而第一时间讨论和研究发生土壤重金属污染的原因和解决对策，提高土壤环境保护有效性。

(二) 提高土壤重金属污染修复技术应用有效性的对策

1、集成应用修复技术

结合全文分析可知，单一的修复技术无法获得预期土壤修复效果，所以未来主要修复方向应该是结合不同修复技术的特征，做好技术联用的加强工作，充分发挥多重技术应用优势，打造集成化修复技术应用成效。展开来讲，在修复农田土壤重金属污染问题时，可以借助生产与修复同步进行的方式，套作、轮作低累积作物或超富集植物，快速安全处置相关污染问题。并且在实际展开修复工作期间，还需要结合不同地理区域的实际情况，选择有效的种植作物替代品种，通过培育上下游产业链、加强建设修复技术示范区的方式，从根本上提高土壤重金

属污染修复成效。

2、加强创新修复技术

加大力度研发技术才是有效提高土壤重金属污染修复适应性及修复效率的前提，举例来说，在应用植物修复技术的过程中，有必要充分挖掘修复植物物种资源，配合引进基因工程技术手段，增强植物富集特性，从而有效提高植物生长效率。除此之外，还可以通过研究农艺、微生物调控以及化学等相关措施，在充分考虑土壤污染地区养分情况、气候情况后，选择最恰当的修复技术。比如：可以配合使用化学淋洗剂，强化植物提取重金属的能力。

3、管理评估污染调查与修复过程

值得注意的是，为了确保土壤重金属污染修复技术应用的系统性和全面性，有必要以完备的土壤污染调查、土壤污染评估和监测工作为基础，建立健全土壤环境管理信息系统。通过完善的调查与评估报告，选择最科学有效的土壤重金属污染修复技术，配合制定良好的修复方案，争取在较短时间内完成修复工作。此外，在完成修复工作后还需要重点评估土壤理化性质、重金属去除情况、农产品产量以及土壤肥力等相关指标，然后结合评估结果，针对性调整和优化修复方案，为展开后续重金属污染土壤修复作业提供保障。

结语

综上所述，在国家社会经济稳定发展的现实背景下，生态环境保护问题俨然成为当前的重中之重，逐渐突出的环境污染现象，特别是土壤重金属污染情况，严重威胁着人体健康。所以，在这样的现实背景下，加大力度研究土壤重金属污染修复技术具有十分重要的意义。虽然我国已经开始重视此方面的研究，但由于修复技术存在显著的适用差异，在不断优化与改进修复技术的过程中，还需要结合因地制宜理念，选择恰当的修复方案，提高修复技术应用成效，保护生态环境。

参考文献：

[1] 谭学军;向甲甲;殷瑶;高强;孙瑞;黄晟. 重金属污染土壤联合强化淋洗修复技术研究进展[J]. 环境卫生工程,2022,30(04):74-82.

[2] 简彦涛;齐劭乾;靳潇锐;丁梓峻. 国内重金属污染土壤修复技术研究进展[J]. 中国金属通报,2022,(03):176-178.

[3] 孔丝纺;吕笑笑;彭丹;许泽杨;钟建. 重金属污染土壤修复技术研究进展[J]. 广东化工,2021,48(13):148+159.

[4] 李春林;许剑平;曹凤娟;祁伟磊. 重金属污染土壤的“稳定化-植物富集”联合修复技术研究[J]. 绿色环保建材,2017,(09):17-18.

[5] 张敏;邹春花;李建华;卢晋晶;卢朝东;靳东升;刘靛. 重金属污染土壤生物修复技术研究现状及发展方向[J]. 山西农业科学,2017,45(04):674-676.

[6] 李浩;杨玉;薛晓东. 浅议重金属污染土壤修复技术及其修复实践[J]. 清洗世界,2022,38(09):69-71.

[7] 王兴利;王晨野;吴晓晨;王晶博;穆晓东;杨晓姝;胡小飞;高静. 重金属污染土壤修复技术研究进展[J]. 化学与生物工程,2019,36(02):1-7+11.

1. 韦美燕，女，汉族，1993-1，广西柳州人，泰国格乐大学，本科学历，学士学位
研究方向：主要从事生态工程研究。

2. 通讯作者：张军，男，汉族，1978-5，山东青岛人，滨州学院，高级工程师，博士，
研究方向：主要从事生态环境工程研究