

# 土壤重金属污染特征及修复技术评价

吴燕飞<sup>1,2</sup> 田翠翠<sup>1,2</sup> 王梦涵<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>深圳市源清环境技术服务有限公司,广东深圳 518071; <sup>2</sup>深圳市深港产学研环保工程技术股份有限公司)

**摘要** 土壤重金属污染对生态环境和人体健康存在诸多潜在风险,受到越来越多的关注。本文综述了我国土壤重金属污染的一般特征、来源、危害,总结了国内外关于重金属污染的研究现状,探讨分析了常用的几种重金属修复技术的优劣,以期为我国重金属污染的研究治理提供借鉴。

**关键词** 土壤重金属污染;污染特征;修复技术;评价

**中图分类号** X53 **文献标识码** A **文章编号** 1007-5739(2019)12-0156-02

## Characteristics of Soil Heavy Metal Pollution and Evaluation of Remediation Techniques

WU Yan-fei<sup>1,2</sup> TIAN Cui-cui<sup>1,2</sup> WANG Meng-han<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>Shenzhen Yuanqing Environmental Technology Service Co.,Ltd,Shenzhen Guangdong 518071; <sup>2</sup>IER Environmental Protection Engineering Technology Co.,Ltd)

**Abstract** Soil heavy metal pollution has many potential risks to the ecological environment and human health. This paper overviewed the general characteristics, sources and hazards of soil heavy metal pollution, summarized the research status of heavy metal pollution at home and abroad, and discussed the advantages and disadvantages of several commonly used heavy metal remediation techniques, in order to provide general reference for the research and remediation of heavy metal pollution in China.

**Key words** soil heavy metal pollution; pollution characteristic; remediation technique; evaluation

土壤是构成生态系统的基本环境要素,是人类赖以生存和发展的重要物质基础,土壤环境质量事关农产品质量、饮用水安全和人体健康,是重大的民生问题。20世纪以来,随着经济的飞速发展和工业化进程的加快,土壤重金属污染日益严重<sup>[1]</sup>。2017年10月18日,习近平同志在十九大报告中指出,坚持人与自然和谐共生,必须树立和践行绿水青山就是金山银山的理念,坚持节约资源和保护环境的基本国策。开展土壤重金属污染调查研究,对于后续土壤环境相关工作的展开具有重要意义。

## 1 土壤重金属污染特征

### 1.1 土壤重金属污染概念及特点

土壤重金属污染是指因人类生产活动,使得土壤中某种重金属元素显著高于其本底含量(背景值),并对周围生态环境造成严重影响,使环境恶化,最终危害人体健康的一种现象<sup>[2]</sup>,主要包括汞、镉、铅、铬和砷等污染,生物毒性显著。重金属污染具有沉积性、滞留时间长、隐蔽性强、毒性大、化学行为和生态效应复杂、不易被微生物降解及污染有不可逆性等特点,治理和恢复的难度大<sup>[3]</sup>。

### 1.2 土壤重金属污染来源

土壤是一个开放系统,土壤中重金属污染物来源复杂、污染途径多样<sup>[4]</sup>。人类工矿业生产和农药化肥的施用是土壤中重金属污染物的主要来源<sup>[5]</sup>,此外还包括生活垃圾、家禽饲养、交通运输等产生的重金属污染物经日晒、雨淋等作用而污染土壤<sup>[6]</sup>。

### 1.3 土壤重金属污染危害

土壤重金属污染严重危害着土壤环境质量安全,对人体健康构成严重的威胁<sup>[7]</sup>。研究显示,重金属污染物对土壤的危害主要表现:一是对土壤微生物和动植物造成影响。重金属污染影响植物生长<sup>[8]</sup>,影响生态系统中土壤微生物生物

量和土壤酶活性<sup>[9]</sup>。二是对周围环境造成污染。当土壤中的重金属元素大量富集,随着环境因素的变化,可能对地下水和大气环境造成污染<sup>[10]</sup>。三是对人体健康造成危害。重金属毒性效果强<sup>[11]</sup>,其在食物链中的生物富集极具危险性<sup>[12]</sup>,严重影响人们的身体健康。如,日本1953—1956年水俣病(Hg污染)、1955—1972年骨痛病(Cd污染)、1961年四日市哮喘(SO<sub>2</sub>和重金属粉尘复合污染)以及我国南方地区经常报道的“镉大米”“铅大米”、血铅超标、汞中毒等事件。

## 2 土壤重金属污染研究现状

### 2.1 土壤重金属污染现状

2005年4月至2013年12月,环保部(今生态环境部)会同国土资源部对全国土壤污染状况进行了调查。结果显示,中国土壤污染总超标率为16.1%,无机污染物超标点位占全部超标点位的82.8%,其中镉、汞、砷、铜、铅、铬、锌和镍的超标率分别为7.0%、1.6%、2.7%、2.1%、1.5%、1.1%、0.9%和4.8%。土壤环境污染日益加剧,且污染点位仍在增加、污染范围在扩大、污染种类在增多,出现了更加复杂的复合型、混合型污染,现已对粮食及食品安全、饮用水安全、人居环境健康以及经济社会的可持续发展构成了严重威胁。

### 2.2 土壤重金属调查现状

目前,我国已开展了土壤污染状况调查和农产品产地土壤重金属污染调查等工作,初步掌握了我国土壤污染总体状况,但早期调查精度尚难满足土壤污染防治工作需要。2016年5月,国务院正式向社会公开《土壤污染防治行动计划》(“土十条”)全文,后全国各省市陆续公布具体的土壤污染防治工作方案,要求以农用地和重点行业企业用地为重点,开展土壤污染状况详查。目前,该项工作正在如期进行中。

### 2.3 土壤重金属研究现状

近年来,国内外在重金属污染研究上的热点及取得的主

**作者简介** 吴燕飞(1990-),男,四川成都人,硕士。研究方向:土壤和地下水污染调查与评价、土壤污染治理与修复。

**收稿日期** 2019-03-17

要成果:一是确立了世界和区域范围内的土壤主要重金属元素背景值以及相应的环境质量标准、食品卫生标准和排放标准;二是查明了重金属在不同生态系统中的迁移、转化和循环规律<sup>[13]</sup>;三是系统研究了重金属对生物体的毒性效应及影响机制,从宏观至微观水平上对重金属在生物体内的吸收、迁移、富集、毒害以及生物体的解毒和抗性机理方面开展了研究<sup>[14]</sup>;四是对重金属污染的治理相继发展了物理、化学和生物方法;五是建立了较完善的各种主要重金属元素分析测定方法和规范;六是出版和发行了大量高质量的专著和期刊<sup>[15]</sup>。

### 3 土壤重金属污染评价与修复

#### 3.1 土壤重金属污染评价

土壤重金属污染评价主要就是评估土壤中的重金属元

素对土壤环境可能造成的影响以及危害,并对其危害程度进行量化,以便有针对性地进行预防以及治理,从而减轻其对生态的危害程度。目前,国内外常用的土壤重金属污染评价方法为指数法,评价主要集中在生态风险评价和人体健康风险评价 2 个方面<sup>[16]</sup>。据统计,常见的几种方法及其优缺点如表 1 所示。

#### 3.2 土壤重金属污染修复

重金属污染土壤修复主要是指通过物理方法、化学方法和生物技术等多种措施对土壤中存在重金属进行清除,或将其固定在土壤中,限制其迁移活动,从而达到土壤修复的目的<sup>[17]</sup>。常见重金属修复技术情况及优缺点对比见表 2。

**3.2.1 物理修复。**物理修复是指通过各种物理过程将污染物从土壤中去或分离的技术,传统物理修复包括物理分

表 1 几种常见指数法及优缺点

名称	内容	优越性	局限性
内梅罗指数法	$P_{综合} = \sqrt{\frac{(P_1)^2 + (P_{max})^2}{2}}$	避免由于平均作用削弱污染金属的权值	可能会人为夸大或缩小某些因子的影响
单因子污染指数法	$P_i = C_i / S_i$	能够比较准确地判断单个指标的污染情况	不同土地利用方式会对评价标准产生影响
富集因子法	$EF = \frac{(C_n / C_{nt})_{sample}}{(B_n / B_{nt})_{background}}$	能够比较准确地判断人为污染状况	参比元素的选择有待规范
地累积指数法	$I_{geo} = \log_2 \frac{C_i}{C_{i(KBn)}}$	考虑了成岩作用对土壤背景值的影响	应注意 K 值的选择
潜在生态危害指数法	$RI = \sum_{i=1}^n T_r^i C_r^i = \sum_{i=1}^n T_r^i C_{实际}^i / C_n^i$	将环境生态效应与毒理学联系起来	注意重金属间毒性加权或拮抗作用

表 2 常见重金属修复技术对比

类型	修复技术	优点	缺点
物理修复	物理分离修复	设备简单、费用低、可持续处理	可能造成扬尘等二次污染,破坏土壤结构
	换土法	效率较好	成本高,污染土壤还需处理
	玻璃化修复	效率较好	成本高,处理后用途受限
	固化修复	高效、快捷	成本高,处理后用途受限
	热处理	效果较好	成本高
化学修复	电动力学修复	效果较好	成本高
	淋滤法	长效性,操作简便	易造成二次污染
	化学固定技术	高效、快捷	处理后用途受限,有再次活化的风险
生物修复	土壤性能改良	成本低、效果好	适用范围窄,稳定性差
	植物修复	成本低、绿色环保、不改变土壤性质,无二次污染	周期长,适用条件苛刻,起效慢

离、换土法、热处理、电动力学修复和玻璃化技术等。这种方法的优点是快速、高效,可用于处理各种污染物;缺点是只能暂时转移污染物,但不会改变原有土壤性质,且工程量大,施工过程中易造成二次污染。

**3.2.2 化学修复。**化学修复是一种有效的原位修复技术,主要包括淋滤法和化学固定技术。化学淋滤是指利用外力或重力作用推动淋洗液流过污染土壤,使污染物从土壤中清洗迁移出来;原位固定技术是向土壤中投入化学试剂(如固定剂、改良剂、稳定剂等)或化学材料,使土壤中污染物与化学试剂发生吸附、沉淀、络合、离子交换、氧化还原等反应,形成不溶性或移动性差、毒性小的物质,从而降低其毒性和生物有效性。这种方法的优点是操作简单且修复治理效果适中;缺点是修复过程中只改变了污染物的赋存状态,易造成土壤所需元素的流失,导致土壤二次污染的可能性也较大。

**3.2.3 生物修复。**生物修复是指利用生物的某些特征(如酶、胞外多聚物及有机酸)来吸收、抑制、转化和改善重金属污染,一般指植物修复。目前,全世界共发现 400 余种具有重金属超量累积效应的植物,其中镍累积植物有 320 余种、钴有 30 种、铜有 34 种、硒有 20 种、铅有 14 种<sup>[18]</sup>;我国发现的镉累积植物也有 20 多种<sup>[19]</sup>。此外,蜈蚣草对砷、东南景天对镉、商

陆对锰等具有超富集性<sup>[19]</sup>。这种方法的优点是绿色环保、价格低廉,无二次污染;缺点是周期长,运用条件较苛刻。

#### 4 结语

重金属污染土壤的治理是一个世界性难题,虽然很多方法如物理法、化学法和生物法相继问世,但每种方法都有自己的应用范围和局限性。在修复实践中,目前没有一种技术可适用所有污染场地的修复,实际操作中需要综合考虑土壤环境条件、污染物类型、污染物来源、修复后土地用途、经济成本、修复周期等因素,有针对性地选择一种或几种修复技术进行治理。

相较于欧美国家历经逾 40 年发展后较成熟的污染调查和修复市场体系,我国关于土壤环境质量的调查和修复尚处于起步阶段,基础积累和技术储备有待加强,环境管理框架体系亟须完善,修复产业链的形成还需较长时间的培育。今后仍需加大基础研究投入,进行热点聚焦,增加自主创新,注重核心技术机理研究,提升技术水平和工程经验,加强研究成果的应用转化。

#### 5 参考文献

[1] 葛敏霞,袁旭音,叶宏萌,等.长江三角洲农灌区沉积物中重金属的污  
(下转第 162 页)

除,甚至部分虫卵还残留在农作物秸秆中。如果将这些带有病虫卵的秸秆直接粉碎后施入土壤,能够在土壤中迅速繁殖,随着生物繁殖力的增强,土壤细菌、真菌、放线菌的数量均有所增加,直接影响到种植的农作物,甚至会导致农作物病虫害暴发,危害农作物正常生长,造成作物减产。

#### 4 应对措施

##### 4.1 增施氮肥

秸秆还田后土壤中碳素物质激增,引起微生物大量繁殖,分解碳素,微生物必然从土壤中汲取一定的氮元素作为补充,造成与作物争氮的现象。若不及时增施氮肥,导致土壤中氮素不足,会影响下茬作物生长,出现苗黄、瘦弱、发育不良、生长缓慢的现象,不利于培育壮苗,甚至造成减产。因此,秸秆还田应及时增施氮肥,既可以加速秸秆腐解,又可以保障作物正常需求。一般须增施尿素 75~150 kg/hm<sup>2</sup>,对于缺磷、钾的土壤,还应适量补施磷钾肥<sup>[9]</sup>。

##### 4.2 翻压保墒

土壤肥力状况决定秸秆还田数量,一般土壤瘠薄、肥力不足的田块,秸秆还田量不宜过多,按还田 3 000~4 500 kg/hm<sup>2</sup>为宜;在高肥力地块,还田不宜超过 6 000 kg/hm<sup>2</sup>。还田后要及时翻压深耕,深度在 20 cm 以上,并耙平加重镇压,使秸秆分散均匀,与土壤充分融合,避免出现虚空现象。同时,选择土壤墒情好的时期还田,利于充分发挥土壤微生物的活性作用。当土壤含水量为田间持水量的 60%~70%时最适宜秸秆腐解,一般建议午收后立即进行,此时小麦秸秆中含有较高的水量和养分,收获后适时翻耕深埋有利于迅速腐解、保墒。在酸性和透气性差的土壤中进行秸秆直接翻压还田时,应施入石灰 450~600 kg/hm<sup>2</sup>。若土壤含水量较低,会严重影响土壤微生物的繁殖,减缓秸秆分解速度,应及时浇水保墒保温。

##### 4.3 杀菌防害

一般情况下,秸秆还田后病虫害有加重发生的趋势,尤其是蛴螬、蝼蛄等地下害虫。因此,秸秆还田前,可用药剂将

秸秆进行消毒。一般撒施 3% 辛硫磷颗粒剂(或 3% 甲·辛颗粒剂)45~60 kg/hm<sup>2</sup> 和五氯硝基苯可湿性粉剂 2~5 kg/hm<sup>2</sup>,可有效杀死土壤中病原菌和虫卵,以减少病原菌和虫卵残留量。另外,播种时最好选购包衣种子,或者进行药剂掺拌,以最大程度杀死土壤中的病菌源和虫卵,并适当增加播种量 20 kg/hm<sup>2</sup>,确保出苗率以及起到杀菌控害作用。

#### 5 问题与展望

试验表明,秸秆还田具有良好的经济效益和社会效益,环保增产效果显著,一般可增产 5%~10%。由于目前秸秆还田多半采取自然循环的方式,大量农作物秸秆应有效完成分解,不及时补充水分、氮肥等辅助措施,仅凭土壤的自解能力是不够的,尤其是土壤黏重、有机质含量低的地块。若处理方法不当,还可能会导致土壤病菌增加,作物病害加重及缺苗(僵苗)等不良现象发生,直接影响微生物活性和作物根系的发育。因此,只有采取合理的秸秆还田措施,才能起到良好的还田效果。为充分调动农民秸秆还田的积极性,一是要建立完善的秸秆还田技术支撑体系,针对不同地块选择适宜的还田技术;二是着力解决好机械化配套和建立专业化服务组织及后期病虫害防控问题。同时,指导农民科学合理进行秸秆还田,以保障秸秆还田持续、高效、有序、深入推进。

#### 6 参考文献

- [1] 张婷,李志洪,赵传拓,等.秸秆还田对土壤肥力及作物生长的影响研究进展[J].安徽农业科学,2015,43(2):89-91.
- [2] 孙伟红.长期秸秆还田改土培肥综合效应的研究[D].泰安:山东农业大学,2004.
- [3] 黄志浩.秸秆还田对增强土壤肥力的影响[J].安徽农学通报,2015(6):21.
- [4] 肖建军.秸秆还田与化肥配合施用对土壤肥力的影响[J].中国农业信息,2016(7):104.
- [5] 罗宜宾.秸秆还田对作物产量及土壤养分的影响[J].现代园艺,2013(2):9.
- [6] 许立广.农作物秸秆还田对土壤养分和作物产量的影响研究初报[J].安徽农学通报,2016(2):63-64.
- [7] 张珺.黄淮海平原北部区秸秆不同处理与还田方式对土壤肥力和产量的影响[D].北京:中国农业科学院,2015.
- [8] ecosystem[J].Soil Biology & Biochemistry, 1997, 29(2): 179-190.
- [9] 韩张雄,刘美美,王曦婕,等.土壤中重金属元素迁移规律研究进展[J].当代化工,2014,43(12):2621-2623.
- [10] BADAL K M, KAZUO T S. Arsenic round the world: a review[J]. Talanta, 2002, 58: 201-235.
- [11] DEMIRBAS A. Accumulation of heavy metals in some edible mushrooms from Turkey[J]. Food Chemistry, 2000, 68: 415-419.
- [12] 徐冰,郭克贞.土壤中溶质迁移的研究现状及问题[J].内蒙古水利, 2003(3): 20.
- [13] MANDAL B K, SUZUKI K T. Arsenic round the world: A review[J]. Talanta, 2002, 58: 201-235.
- [14] 王宏斌,束文圣,蓝崇钰.重金属污染生态学研究现状与展望[J].生态学报,2005,25(3):596-605.
- [15] NASER. Assessment and management of heavy metal pollution in the marine environment of the Arabian Gulf: A review[J]. Marine Pollution Bulletin, 2013, 72(1): 6-13.
- [16] 崔龙哲,李社锋.污染土壤修复技术与应用[M].北京:化学工业出版社,2016.
- [17] BAKER A J M, BROOKS R R. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements: A review of their distribution, ecology and phytochemistry[J]. Biorecovery, 1989, 1: 81-126.
- [18] 何启贤. 镉超富集植物筛选研究进展[J].环境保护与循环经济,2013, 33(1):46-49.

(上接第 157 页)

- [1] 染特征及生态评价[J].农业环境科学学报,2010,29(12):2398-2405.
- [2] ZHANG W, LIU X, CHENG H, et al. Heavy metal pollution in sediments of a typical mariculture zone in South China[J]. Marine Pollution Bulletin, 2012, 64(4): 712-720.
- [3] 冯乙晴,刘灵飞,肖辉林,等.深圳市典型工业区土壤重金属污染特征及健康风险评估[J].生态环境学报,2017,26(6):1051-1058.
- [4] BOLAN N, KUNHIKRISHNAN A, THANGARAJAN R, et al. Remediation of heavy metal(loid)s contaminated soils: To mobilize or to immobilize?[J]. Journal of Hazardous Materials, 2014, 266(4): 141-166.
- [5] GAVRILESCU M. Colloid-mediated transport and the fate of contaminants in soils (chapter 17)[M]// FANUN M. Role of colloidal systems in environmental protection. New York: Elsevier; 2014: 397-451.
- [6] 林凡华,陈海博,白军.土壤环境中重金属污染危害的研究[J].环境科学与管理,2007,32(7):74-76.
- [7] IZQUIERDO M, DE M E, ORTEGA M F, et al. Bioaccessibility of metals and human health risk assessment in community urban gardens[J]. Chemosphere, 2015, 135: 312-318.
- [8] PEN M S, HUKUROV N, STEINBERGER Y. Influence of industrial heavy metal pollution on soil free-living nematode population[J]. Environmental Pollution, 2008, 152(1): 172-183.
- [9] KUPERMAN R G, CARREIRO M M. Soil heavy metal concentrations, microbial biomass and enzyme activities in a contaminated grass land