

土壤铅、镉污染及其微生物修复研究进展

徐慧, 陈明* (江西理工大学, 江西省矿冶环境污染控制重点实验室, 江西赣州 341000)

摘要 随着经济的飞速发展, 受到重金属污染的地区越来越多, 环境问题也日益突出, 特别是铅、镉等常见的重金属元素, 对土地造成的污染尤为严重。与微生物修复技术相比, 常见的物理化学修复技术易造成二次污染。而微生物修复以污染小、成本低等特点成为热门的重金属土地污染修复技术, 越来越受到关注。研究综述了铅、镉污染现状及其微生物修复技术在土壤修复中的应用, 包括微生物修复的机理、优缺点及今后的发展方向。

关键词 铅、镉污染; 微生物修复; 发展方向

中图分类号 S156 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)01-065-03

Research Progress of Soil Lead, Cadmium Pollution and Microbial Remediation

XU Hui, CHEN Ming* (Jiangxi Key Laboratory of Mining and Metallurgy Environmental Pollution Control, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou, Jiangxi 341000)

Abstract With the rapid development of economy, more and more areas was polluted by heavy metals, and environmental concerns are also increasingly prominent, especially in common materials, such as lead, cadmium, led to heavy soil pollution. The physical and chemical remediation technologies compared with bioremediation, are easily to cause secondary pollution, besides, bioremediation with its little pollution and low cost has become a hot land pollution repair technology of heavy metals. This paper reviews lead, cadmium pollution and the application of bioremediation in soil restoration, including the microorganisms repairing mechanisms, advantages and disadvantages, development direction in the future.

Key words Lead, cadmium pollution; Microbial remediation; Development direction

随着世界经济的飞速增长, 人类经济活动增加, 带来了—一个全球不容忽视的大问题——环境污染, 特别是工业废物排放、农用化学品的随意处理, 给土壤、河流等造成很大的污染, 尤其是重金属污染。目前为止, 目前, 全世界平均每年排放铅约 5×10^5 万 kg, 汞约 1 500 万 kg 等^[1]。还有研究表明, 一些进入市场的初级农产品有重金属残留物, 如镉米^[2]等。这些进入食物链, 会给自然环境甚至人体造成很大的损伤。因此, 重金属污染修复工作的开展对于整个人类和生态环境都有很重大的意义。

1 土壤铅镉污染现状

重金属污染的治理工作已得到多方关注, 尤其是对铅镉污染的土壤修复。铅、镉属于五大污染重金属, 其污染范围很广, 水体、土壤等均受其害。特别是土壤, 近些年来污染范围越来越广。据统计, 我国约有 1.3×10^4 hm^2 耕地受到铅等重金属严重污染, 致使粮食减产达 1.0×10^7 t^[3]。含铅汽油的使用也加重了土壤中铅的污染。近些年, 在对蔬菜等可食用农作物的检测过程中发现均有铅、镉超标的现象^[4-5]。

关于镉污染所引发的事件, 在世界各地发生得很频繁, 早在二战时期日本就已发生“镉米事件”。据统计, 全世界大约每年要排放镉 1.0×10^6 t^[6], 而随着工业的不断的展, 还在继续增长。

2 土壤中铅镉污染的来源、危害

土壤中是会含有铅、镉元素微量元素存在的。在自然情

况下, 铅是通过火山爆发、岩石风化等散发到环境中去的。镉是来源于岩石矿物的本底值^[7]。在非自然情况下, 人类的活动导致铅的污染, 如工业、农业等活动。在工业方面, 在矿山开采过程中废弃物的堆积、有毒的重金属离子便会污染土壤, 甚至污染地下水, 还有选矿废水的随意排放, 污染江河湖泊。在农业方面, 农药和化肥、塑料薄膜的使用造成农用地的大量铅镉污染。另外, 城市污水灌溉和污泥作为肥料所造成的污染也不容忽视, 虽然里面含有氮磷钾等丰富的营养物质, 但铅镉等有毒的重金属以离子态的形式沉淀下来, 进入土壤, 进入食物链, 污染环境。

土壤铅镉的污染所带来的危害是很大的, 对人类和生态环境都有很大的影响。在植物方面, 首先会导致产量下降, 严重的植物会死亡。在人和动物方面, 铅、镉对动物和人的毒害是通过食物链进入人体和动物体内。铅积累过量会导致肾脏衰竭、智力下降等中毒症状。镉积累过量可能会导致“痛痛病”, 引起肾小球功能衰竭等疾病, 影响动物的生产活动, 严重的重金属会遍布动物全身^[8]。

3 铅镉污染土壤的物理、化学、生物修复技术

3.1 物理法 物理法是指通过物理或物理化学的原理来改良土壤, 通常有换土法、隔离化法、玻璃化法、电化学法、吸附固定法等。换土法是指通过把受重金属污染的土壤换成未受重金属污染的土壤。隔离化法实质向土壤中添加固化剂, 使得土壤中的铅镉离子固定, 防止其迁移。玻璃化法是利用电极把受污染的土壤融化, 冷却后形成较稳定的玻璃物质。电化学法是美国路易斯安那州立大学所研究出来的一种修复土壤的方法。该方法是在饱和的黏土中插入石墨电极, 通过低强度直流电 ($1 \sim 5$ mA) 后使金属阳离子流向阴极, 然后采取措施回收。该技术已被应用于清除土壤中镉的污染^[9-10]。而吸附固定法就是向土壤中添加某种材料, 能够吸

基金项目 江西省对外科技合作计划项目 (20133BDH80027); 国家“十二五”科技支撑计划 (2012BAC11B07)。

作者简介 徐慧 (1993 -), 女, 江西九江人, 硕士研究生, 研究方向: 生态修复。* 通讯作者, 副教授, 博士, 从事水处理技术、矿山环保、矿物加工工程方面的研究。

收稿日期 2014-11-19

附重金属离子,将重金属离子固定,从而达到清除的效果。

3.2 化学法 化学法是指通过向土壤中添加化学药剂,使得土壤理化性质发生改变,清除或固定重金属离子,从而达到修复土壤的目的。常用的化学手段有向土壤中添加改良剂、金属拮抗剂、表面活性剂、钝化剂等,也可以调节土壤的酸碱度。GWOREK等^[11]用膨润土合成沸石等硅铝酸盐作为添加剂钝化土壤中重金属,显著降低受镉污染土壤中镉的作用浓度。王发园等^[12]研究表明,重金属钝化剂可以改变土壤中重金属的形态,降低其在土壤中的有效浓度、植物毒性及生物有效性。

3.3 生物修复技术 生物修复技术是指通过种植植物或添加外源微生物等生物手段减少或净化土壤中重金属的含量。生物修复技术目前主要分为植物修复技术和微生物吸附技术^[13]。植物修复技术是通过在污染土地上种植植物,植物通过其根系吸收、转化等固定在植物体内。目前,超富集植物成为研究热点。

微生物吸附技术则是通过微生物吸附、固定土壤中的重金属离子,减少污染。物理法、化学法虽然方法多样,有些修复效果很显著,但仍存在很大的问题,如换土法工程庞大,真正实施起来可行性不大。隔离化法、吸附固定法等易造成二次污染,加大修复难度(表1)。而生物修复大大降低了二次污染,特别是微生物修复技术。

表1 不同方法优缺点比较

方法	优点	缺点
物理修复	对土壤的扰动小,不改变土壤的性质	有些成本过高,不适合大面积的使用
化学修复	适合大面积操作,土壤扰动小	易造成二次污染,有些药剂的成本过高
生物修复	无污染,成本较低,土壤不受扰动,生态效应好	修复周期长,本身可变性大

4 微生物修复技术研究进展

4.1 微生物修复原理简述 具体的原理包括:通过微生物改变重金属离子的化学形态,使得重金属固定或解毒,甚至通过微生物的代谢,减少、固化重金属离子的含量^[14]。

微生物修复重金属的机理大概可概括为几个方面,包括表面生物大分子吸收转运、细胞代谢、空泡吞饮、生物吸附和氧化还原反应等^[15]。微生物吸附一般可分为胞内吸附、细胞表面吸附和胞外吸附。胞内吸附与转化是指一些金属离子能透过细胞膜进入细胞内。微生物可通过区域化作用将其分布于代谢不活跃的区域(如液泡),或将其与热稳定蛋白结合,转变成为低毒形式。细胞表面吸附是指重金属离子通过与细胞表面特别是细胞外膜、细胞壁组分相互作用,吸附到细胞表面。胞外吸附是指一些微生物可以分泌多聚糖、糖蛋白、脂多糖等胞外聚合物(EPS),具有络合或沉淀重金属离子作用。而且微生物对重金属离子的吸附作用和转化作用密不可分,两者同时作用。

4.2 对铅镉污染土壤的治理 对于含铅镉污染的土壤,也提倡采用生物治理方法,就是应用微生物来治理铅镉污染的土壤。在微生物方面,主要利用原土壤中的土著微生物或向

被污染土壤中加入已被驯化的微生物,通过吸附和还原反应,改变铅镉在土壤中的价态和形态,从而达到修复的目的。

曹霞等^[16]从污染土壤中筛选出微生物,扩大培养,并且加于含铅镉的液体培养基中,发现对铅镉有一定的去除作用。靳治国^[17]筛选出抗铅镉的微生物——淡紫拟青霉菌,将其加入土壤中,发现它对Cd⁺有较好的活化作用。李荣林等^[18]研究表明,从土壤中筛选出一种白腐菌,对土壤中的铅镉有很强的溶解作用,可以与植物连用,加大修复效率。对于某些单一菌种,有些被广泛用于与植物共生修复土壤。比较典型的有假单胞菌、菌根真菌等。

4.2.1 假单胞菌。假单胞菌是一类革兰氏阴性杆菌,在生态系统中广泛存在,并且在环境中有很好的适应性。耿印印等^[19]从Cd超标的土壤分离、驯化出具有耐镉能力的菌株。它属于铜绿假单胞菌。用于吸附土壤镉的试验表明,对土壤中的铅和镉进行吸附,分别达到40%、47%。全亚玲等^[20]将沼泽红单胞菌接种到含有铅、镉等不同浓度的重金属离子溶液中,对其进行重金属胁迫试验,发现它对铅镉均有一定的抗性。另外,荧光假单胞菌属于假单胞菌属,是植物生长根际促生细菌,对环境也有很强的抗性。李海华等^[21]使用荧光假单胞菌去除铬等重金属离子,去除率达到89.70%。所以,假单胞菌属用作工程菌修复重金属污染的土壤将会有很大的应用前景。

4.2.2 菌根真菌。菌根真菌是一种植物的根和土壤真菌共生的一种菌^[22],在自然界中广泛存在。它作为生态系统的重要组成部分,具有不可忽视的生物量,并且成为连接绿色植物和食真菌者食物链的重要一环。菌根通常可以分为外生根菌、丛枝根菌(VA)、内外生根菌等,其中VA菌、外生根菌是研究最多也是最重要的菌种。

陈家武等^[23]通过对比不接种、接种菌根菌到种有玉米的土壤中,土壤中含有铅镉等重金属元素,发现接种VA菌的玉米耐受性更好,能显著减弱过量金属对玉米生长的副作用,提高植株对重金属的耐受性。刘灵芝等^[24]通过盆栽试验,研究了在不同施Cd浓度的情况下,接种矿区污染土壤中丛枝菌根真菌对万寿菊根系侵染率、植株生物量及Cd吸收与分配的影响。结果表明,接种丛枝菌根真菌显著提高了Cd胁迫下万寿菊的根系侵染率和植株生物量。这说明丛枝菌根对Cd有很强的抗性,还表现出植物提取的应用潜力。

张旭红等^[25]研究了铅(Pb)污染下丛枝菌根真菌(*Glomus mosseae*)对早稻(*Oryza sativa* L.)生长的影响。结果表明,在接种处理下,早稻根系侵染率随着土壤Pb含量的增加而显著降低。这表明在一定的土壤Pb处理下接种丛枝菌根(*Glomus mosseae*)可以在一定程度上缓解Pb对早稻毒害作用。郭友红^[26]采用微生物与矿区植物组合的方式,研究受铅镉等重金属污染的土壤。研究表明,接种VA能明显提高提高芥菜、鬼针草、苍耳等植物的株高和生物量,促进煤矿区适生植物对土壤Cd、Cr、Cu、Ni、Pb等重金属的吸收,提高芥菜、鬼针草和苍耳的重金属修复效果。还有一些技术在未来的发展过程中加以尝试,如生物刺激技术、基因工程菌的构

建等。

4.2.3 生物刺激技术。生物刺激技术就是通过向土壤中添加微生物所需要的营养物质来刺激微生物。这种方法在国外已有报道。这种方法在未来有可能应用于微生物修复含重金属污染的土壤中,用于添加外源物质,从而增加微生物的量,加大土壤修复力度,达到修复土壤的目的。

4.2.4 基因工程菌的构建。基因工程菌的构建可以打破细菌种属的限制,如可以通过人工诱导构建某种有抗重金属离子的遗传因子的微生物,或把有重金属抗性基因转移到对污染土壤抗性强的微生物上,构建某种高效菌株^[27]。由于大多数微生物对重金属的抗性系统主要由质粒上的基因编码,且抗性基因亦可在质粒与染色体间相互转移,许多研究工作开始采用质粒来提高细菌对的累积作用,且取得良好的应用效果^[28]。

4.2.5 植物与微生物联合修复。植物和微生物共同作用于受重金属污染的土壤中,近年来已成为研究热点。目前,已筛选出一些抗铅镉的优势植物,如龙葵、东南景天等一系列的抗铅镉植物。它们与微生物共同作用能促进植物富集重金属。

豆科植物作为固氮、增强土壤肥力的作物,也有很多是超富集植物如紫花苜蓿等。作为超富集、固氮植物,土壤中的微生物一定具有抗重金属、提高土壤肥力的作用。那么,在未来的研究过程中,人们可以朝着筛选出更多的抗重金属、有固氮作用的微生物的方向,与植物联合作用,改良土壤肥力,加强微生物的修复作用。

5 展望

目前,土壤治理已是重中之重,虽然修复方法繁多,但是各有优缺点。生物方法作为其中的一种方法,由于其本身的优点,受到各方的关注。虽然当前已开展了各个方向的研究工作,但还有待进一步研究。

物理、化学方法作为普遍的修复方法,也被广泛运用到土壤修复中,但由于方法的局限性,对环境的扰动性大,成本高,工程量大,还存在着造成二次污染的风险,适用范围窄。而生物修复作为一种对生态友好的修复方法,被大众所熟知,有很高的应用前景,但存在局限性,如在微生物筛选过程中不定性大、修复周期较长等。在以后的研究探索中,应朝着以下几个方面去发展。①加强微生物吸附、转化等机理研究,在基础领域取得突破;②在微生物筛选部分进行深入研究,以便取得抗性强的菌株;③在基因工程技术方面,加大研究力度,与分子技术相结合,构建新型菌种,加大修复效果;④与其他技术连用,如植物-物理、植物-物理化学、植物-动物-微生物等联合修复技术,特别是植物-动物-微生物修复技术,开展深入研究,从而加大修复效果,减少修复周

期;⑤对现有的植物-微生物联合修复技术进行深入研究,并且深入研究假单胞菌、VA菌等这些具有很大应用前景的菌属,使其能够应用最大化,修复含重金属污染的土壤。

参考文献

- [1] 李兆辉,王光明,徐云明,等. 镉、汞、铅污染及其微生物修复研究进展[J]. 中国畜牧兽医,2010,37(8):39-42.
- [2] 刘冬英,王晓波,陈海珍,等. 广州市部分市售大米铅镉污染状况调查及健康风险评估[J]. 华南预防医学,2013,39(1):86-88.
- [3] 张丛. 污染土壤生物修复技术[M]. 北京:中国环境科学出版社,2000:1-42.
- [4] 田秀红. 我国城郊蔬菜重金属污染研究进展[J]. 食品科学,2009,30(21):449-453.
- [5] 李晓晨,赵丽,赵星明. 南京市郊区蔬菜重金属污染特征的研究[J]. 安徽农业科学,2007,35(30):9650-9651.
- [6] 吴求亮,杨玉爱,谢正苗,等. 微量元素与生物健康[M]. 贵阳:贵州科技出版社,2000:290-291.
- [7] 刘育红. 土壤镉污染的产生及治理方法[J]. 青海大学学报,2006,24(2):75-79.
- [9] SLOLZHENKO E G, SOBOLEVA N M, GONCHARUK V V. Decolorization of azo dye solutions by fenton's oxidation[J]. Water Research, 1995, 29(9):2006.
- [10] FLESCHER D J. Light Aided(Laser) Decontamination. WHC-SD-WM-TI-518[R]. 1992.
- [11] GWOREK B, 肖辉林. 利用合成沸石钝化污染土壤的镉[J]. 热带亚热带土壤科学,1992,1(1):58-60.
- [12] 王发园,王玲,王旭刚,等. 钝化剂在烟草植物修复铅镉污染土壤中的作用[J]. 环境工程学报.2014,8(2):89-94.
- [13] WILSON S C, JONES K C. Bioremediation of soil contaminated with polynuclear aromatic hydrocarbons (PAHS): a review [J]. Environmental Pollution, 1993, 81(3):229-249.
- [14] 钱春香,王明明,许燕波. 土壤重金属污染现状及微生物修复技术研究进展[J]. 东南大学学报,2013,43(3):69-77.
- [15] 郭灿泉,薛沿宁,王会信. 微生物展示技术在重金属污染生物修复中的研究进展[J]. 生物工程进展,2001,21(5):48-51.
- [16] 曹霞,王春雷. 耐重金属铅和镉微生物的筛选[J]. 绿色科技,2010(7):118-120.
- [17] 靳治国. 耐铅镉菌株的筛选及其在污染土壤修复中的应用[D]. 重庆:西南大学,2010.
- [18] 李荣林,沈寿国,陈浩,等. 微生物对土壤中铅镉的溶解作用研究[J]. 农业环境科学学报,2006(25):124-126.
- [19] 耿印印,王旭梅,王红旗,等. 污染土壤中耐镉菌株的筛选、鉴定及吸附试验研究[J]. 东北农业大学学报,2010,41(11):59-65.
- [20] 全亚玲,欧小兵,戴静,等. 重金属胁迫培养对沼泽红假单胞菌生长的影响[J]. 西南大学学报:自然科学版,2012,38(4):570-574.
- [21] 李海华,应一梅,付莹莹. 荧光假单胞菌对重金属废水的去除特性研究[J]. 人民黄河,2011,33(11):105-108.
- [22] 梁宇,郭良栋,马克平. 菌根真菌在生态系统中的作用[J]. 植物生态学报,2002,26(6):739-745.
- [23] 陈家武,卢以群,陈志辉. 菌根菌对玉米抗铜、镉、铅、锌及生物有效性的影响[J]. 湖南农业科学,2007(5):99-101.
- [24] 刘灵芝,张玉龙,李培军,等. 铅锌矿区分离从枝菌根真菌对万寿菊生长与吸镉的影响[J]. 土壤学报,2012,49(1):43-48.
- [25] ZHANG X H, YANG W J, WANG L M, et al. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) on growth of upland rice under soil Pb contamination [J]. Agricultural Science & Technology, 2013, 14(11):1624-1628.
- [26] 郭友红. 微生物对煤矿区适生植物污染修复的作用[J]. 北方园艺, 2012(17):65-67.
- [27] 黄春晓. 重金属污染土壤原位微生物修复技术及其研究进展[J]. 中原工学院学报,2011,22(3):41-44.
- [28] 陈范燕. 重金属污染的微生物修复技术[J]. 现代农业科技,2008(24):296-299.