

尾矿污染区的植物修复研究进展

董鹏, 刘均洪, 张广柱

(青岛科技大学化工学院, 山东 青岛 266042)

摘要:植物修复是尾矿污染区土壤修复的常用技术。该技术可在稳定被污染土壤及防止地下水二次污染的同时修复污染土壤,既不破坏污染土壤结构,又减少修复费用,因此已成为重金属污染修复技术的研究热点。尾矿污染区植物修复有两种主要作用方式:植物萃取和植物稳定。本文对不同气候条件下两种植物修复方法的优缺点及其适用条件进行了讨论,并对植物修复技术最新研究动态和今后研究方向进行了阐述。

关键词:尾矿; 植物修复; 植物萃取; 植物稳定; 超富集植物

中图分类号:X53 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-6532(2009)03-0043-04

1 引言

矿产资源是人类生存和发展的重要物质基础之一,其主要特点是不可再生性和短期内不可替代性。我国90%的能源和80%的原材料来自矿产资源。随着我国工业化的迅速发展,矿产资源的需求将日益俱增,但是在矿产资源开发生产过程中,资源损失和浪费非常严重^[1]。不仅如此,矿产资源开发过程中丢弃的大量废石和尾矿也造成环境污染。据统计,2006年我国矿业生产的尾矿已达到80亿t以上,并呈逐年增加的趋势。尾矿不仅占用大量土地,而且也给人类生产、生活带来了严重污染和危害,已受到全社会的广泛关注^[2]。

Mendez等^[3]研究发现,尾矿周围土壤中缺少N、P、K和有机物质等植物生长的必需元素。尾矿周边土壤中的重金属(As、Cd、Cu、Mn、Pb、Zn等)含量较高。尾矿不仅占用了其周围大片的土地,而且还能造成其他更为严重的危害。在干旱和半干旱地区,尾矿中的小矿粒会通过空气传播或渗透到地下水循环系统,最终影响人们的正常生活。例如:墨西哥Santa Maria de La Paz地区附近有一座大型尾矿库,这个地区已经被其影响了近200年。常年的大风将矿粉带到空气中,重金属也通过季节性的溪流进入当地水循环和农业水利系统中^[4]。而在湿热地区由于地下水充沛,随水分流失的重金属物质和酸性液体相遇产生的生物毒性物质分散在地下水

系统中,从而对动植物生存和生长产生长期的不良影响^[5]。

尾矿区土壤的低pH值和高重金属含量都会造成植物生长障碍,即所谓的生物毒性。这两个因素很可能具有协同作用,因为低pH值会增加重金属的生物活性,所以植物修复首先面临的困难就是移植难度大。

本文考察了两种尾矿重金属植物修复方法,讨论了在不同气候条件下两种植物修复方法的优缺点及其适用条件。“干旱地区”包括干旱和半干旱地区,年降水量分别在100~300mm和300~700mm之间。“湿热地区”是指年降水量在1000~2000mm之间的地区。在以上两种方法的具体实施过程时,应该根据当地气候和其他自然条件选择不同的植物修复方法或是两种方法的结合。

2 尾矿污染区土壤的植物修复技术

传统尾矿土壤修复方法有土壤清洗、化学氧化、稳定固化等,但所需成本非常高。随着植物修复技术研究的不断深入,人们发现植物修复是一种成本低、环境友好且能有效解决尾矿重金属污染的方法,因此逐渐引起人们的关注。

植物修复主要分为两种方法:植物萃取和植物稳定。植物萃取技术是指用植物消除或降低矿区周围土壤中的重金属污染。在生长过程中植物通过积累或过积累作用逐渐将土壤中重金属物质转移到植

收稿日期:2008-12-02; 改回日期:2008-12-26

作者简介:董鹏(1985-),男,青岛科技大学发酵工程专业硕士研究生。

物的茎叶等地上组织中,达到一定浓度后收割这些作物,可以将它们作为危险品处理掉或是回收重新利用。植物稳定方法指利用耐性植物将重金属吸收、累积到根部或迁移到根际,从而固定重金属的一种方法^[6]。

不论植物萃取或植物稳定都可以达到降低土壤中重金属含量的目的。但必须建立在植物能在矿区周围正常生长的前提下,这样就提出了两个问题,一是气候条件,二是土壤条件。

(1)气候条件:在干旱地区,所选植物应耐旱、耐盐以适应尾矿所在地区干旱、高盐度的土壤条件^[7]。而湿热地区多雨,气候潮湿,要求植物有厌氧及适应潮湿条件的特性^[8]。

(2)土壤条件:无论在上述哪种气候条件下,能用于土壤修复的植物必须具有在矿区恶劣的土壤条件下生存的特性。这类植物有一种或多种能抵抗或解除重金属毒性的生物机制。例如,有些植物能将重金属转移到茎叶组织中,有些会把重金属积聚在根区周围,另一些可能本身就具有抵抗高浓度金属物质的活性。

近来,应用于土壤修复的植物筛选和土壤改性工作逐渐增多。尾矿区周围土壤和水源条件十分恶劣,在开始移植新植物之前需要向土壤中添加肥料或其他方法来降低毒性和增加营养^[9]。常用的有机添加物有动物粪便和生物固体肥料。这些添加物能改善土壤结构、增加含水量、提高阳离子交换能力和营养物质含量,有些添加物还能降低重金属毒性。Mendez 等用 DTPA(一种用来检测植物阳离子活性的螯合剂)提取物测定有机和无机污染物的迁移率,发现重金属的溶解度会随着 pH 值的升高而减小。因此,向尾矿周围土壤中添加石灰能有效地降低金属物质的溶解度。但与此同时,大多数的尾矿都会不断释放出酸性物质,投放石灰等碱性物质只能起到暂时作用。所以只有不断的投放石灰以及和其他有机添加剂共同使用才能保证植物的正常生长。这样就又遇到一个新的问题——植物修复本身成本并不高,但为了改善土壤性质所投放的各种添加剂的成本却很高,使得植物修复整个工程的成本大幅提升。

2.1 植物萃取技术

植物萃取是目前研究最多并且最有前景的方法。利用专性植物——超积累植物通过根系从土壤

中吸取重金属,并将其转移、贮存到植物茎叶等地上部分,然后收割地上部分,连续种植超积累植物即可将土壤中的重金属降到可接受的水平。超富集植物主要是指那些对某些重金属具有特别的吸收能力,而本身不受毒害的植物种或基因型,即重金属超富集体。一般情况下,超富集植物对重金属的累积能力比普通作物高 100 倍以上。对于不同金属,其超富集植物富集浓度也有所不同。这些植物的重金属能占生物产出量的 0.01% ~ 1%。重金属含量的高低和转移速率的快慢是筛选超积累植物的两个重要因素。还有一些评价超积累植物的标准,例如茎叶组织与污染土壤中重金属含量比值。到目前为止,已经有属于 45 个科的 400 余种植物被划分为超富集植物^[10]。

利用螯合诱导技术来提高植物修复重金属的效果也被众多研究者看好。通过施用螯合剂来增加土壤溶液中重金属的浓度,强化重金属从根系向地上部分的运输,进而大幅度提高植物对重金属的吸收和富集能力,达到提高修复效果的目的。资料表明,施用 EDTA 和 HEDTA 对增加土壤溶液和豌豆及玉米中 Pb 浓度的效果明显,植物吸收 Pb 的量与土壤中 Pb 的总浓度密切相关^[11]。在遏蓝菜属植物(*Thlaspi caerulescens*)收获前两周加入 EDTA 可大幅度地增加土壤溶液中 Zn、Cu、Cd 金属的浓度,使植物体内 Zn 浓度提高一倍,而不影响其生物量。硫氰化铍络合金可提高金的溶解性而诱导印度芥菜的超富集作用。将印度芥菜种植在添加过 EDTA 的土壤上,做空白对照发现茎中的 Cd 含量提高 5 倍^[12]。与此同时,对于螯合剂应用的潜在环境风险也必须予以考虑,螯合剂的不断使用会使重金属的溶解度不断提高,逐渐渗透到当地的水循环体系中,从而造成更严重的污染;同时还会引发螯合诱导效应——强化植物修复技术存在土壤元素淋失与水质污染、螯合物残留与挥发和植物金属胁迫与外来植物品种蔓延等方面的潜在环境风险^[13]。因此,在天然和人工螯合剂中寻找一些降解性能好又有适宜螯合能力的螯合剂将是一个重要研究方向。

应用转基因工程技术将自然界中超富集植物的耐重金属和积累基因导入到生物量大、生长快的植物中,可培育出具有实用价值的转基因植物,从而克服天然超富集植物的缺点,提高植物修复的实用性,或者把植物中生长快、生物量大的性状基因导入到

超富集植物中,从而取长补短,创造出理想的超富集植物,是重金属超富集植物筛选研究的一个方向。与此同时,有关转基因植物对生态系统的影响的评价也应进行。比如,要考虑转基因植物对滋生植物群落的影响,也要考虑扩散到其他地方引起的环境问题。另外,如果富集高浓度的转基因植物通过草食动物进入食物链,到目前来说尚不具备相应的对策。

2.2 植物稳定技术

植物稳定是通过耐重金属植物及其根际微生物的分泌作用螯合、沉淀土壤中的重金属,以降低其生物有效性和移动性,达到固定、隔绝、阻止重金属进入水体和食物链的途径和可能性,减少对环境 and 人类健康危害的风险。

决定植物稳定性能否成功的关键因素有两条。首先是植株筛选,适合植物稳定方法的植物需要满足以下几个条件:(1)生命力强,尾矿区土壤条件恶劣,需要植株有较强的耐受力。(2)根系庞大,根系的延伸范围决定了植物能吸收的重金属的区域,只有足够广和深的根系才能保证植物稳定方法的有效性和经济可行性。(3)植株不能把重金属物质转移到地上茎叶组织中^[14]。其次是创造一个种类齐全,数量庞大的微生物系统,它不仅能帮助植物正常生长,而且还能将距离植物根区较远的重金属转移到更近的地方。

植物稳定只是一种原位降低污染元素生物有效性的途径,而不能永久除去土壤中的污染元素。这种方法并未将土壤中的重金属去除,仅只是暂时将其固定而使其减少对环境中生物的毒害作用,当环境条件改变仍可使重金属的生物有效性发生变化^[15]。因此,该方法并未彻底解决土壤重金属污染问题。

3 植物修复技术的局限性

虽然植物修复技术与物理、化学修复技术相比有很多优点,但它也存在一些缺点:第一,目前发现的超富集植物大都比较矮小,生物量较低,生长比较慢,修复污染较严重土壤的周期长。第二,高浓度污染地区很难适用。第三,目前发现的超积累植物只是对某一种重金属具有超积累性,还未发现具有广谱重金属超富集特性的植物。第四,超富集植物有一定的适生范围,许多富集植物只能在一定的气候

和土壤条件下生长,应用范围较小。第五,大多数植物的根圈范围有限,只能修复土壤浅层^[16]。第六,根系供养不足的地区,根系发育不良,随之效果也降低。超积累植物虽然体内能富集高浓度重金属,但是它的生长速度缓慢、生物量低,而生物量多的植物与超积累植物相比,体内的重金属浓度又较低,所以必须配合使用化学改良剂,成本太高。另外,在特定土壤上大量施用螯合剂时,土壤中重金属的溶解速度超过植物吸收重金属的速度会发生二次环境污染。利用转基因植物的污染土壤净化技术弥补了以往的植物修复技术的缺点,目前正在大力开展相关研究,但是利用转基因植物的植物修复技术工作应该同时进行有关的生理或生态安全性的研究^[17]。

4 结 论

生物修复技术是近年来发展起来的一项污染治理技术,尾矿的植物萃取技术和植物稳定技术是近期的研究热点。植物萃取技术的优势在于其对土壤污染处理的彻底性以及重金属重新利用的潜在利润,但也存在高成本和处理周期长等劣势,比较适合于长期空闲的尾矿区土壤修复。植物稳定技术的修复周期短、起效快,但其修复具有不彻底性、不稳定性。我国尾矿量大、分布广、性质复杂,在尾矿的综合利用方面已积累了一定的经验,但土壤环境生物修复技术尚处于刚刚起步阶段,该技术的进一步开发需要得到社会、同行及主管部门的广泛支持。大力开展以生物修复技术为主体的环境污染控制的研究,解决我国目前和未来面临的严峻的环境保护问题,并为环保市场提供高品质的环境保护技术是广大科技工作者今后努力的方向。

参考文献:

- [1]张锦瑞. 金属矿山尾矿综合利用与资源化[M]. 北京:冶金工业出版社,2002. 2~53.
- [2]蒲含勇,张应红. 论我国矿产资源的综合利用[J]. 矿产综合利用,2001(4):19~22.
- [3]Mendez MO, Glenn E P, Maier RM. Phytostabilization potential of quailbush for mine tailings: growth, metal accumulation and microbial community changes [J]. Environ Qual. 2007, 36:245~253.
- [4]Castro - Larragoitia J, Kramar U, Puchelt H. 200 years of mining activities at La Paz [J]. Mexico - consequences for environment and geochemical exploration. J Geochem Explor. 1997, 58:81~91.

- [5] USEPA (US Environmental Protection Agency) Abandoned mine lands team; Reference notebook [S]. 2004.
- [6] Wong MH. Ecological restoration of mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils [J]. Chemosphere. 2003, 50: 775 ~ 780.
- [7] Craw D, Rufaut C, Haffert L, Paterson L. Plant colonization and arsenic uptake on high arsenic mine waste [J]. Water Air Soil Pollut. 2007, 179: 351 ~ 364.
- [8] Tordoff GM, Baker AJM, Willis AJ. Current approaches to the revegetation and reclamation of metalliferous mine wastes [J]. Chemosphere. 2000, 41: 219 ~ 228.
- [9] Ernst WHO Phytoextraction of mine wastes - options and impossibilities, Chem Erde Geochem 65 [S]. 2005.
- [10] Deng JC, Liao B, Ye M. The effects of heavy metal pollution on genetic diversity in zinc/cadmium hyperaccumulator *Sedum alfredii* populations [J]. Plant Soil. 2007, 297: 83 ~ 92.
- [11] Huang J W, Chen J J, Berti W, et al. Phytoremediation of lead - contaminated soil: role of synthetic chelates in lead phytoextraction [J]. Environ Sci Technol. 1997, 31: 800 ~ 805.
- [12] Salt D E, Blaylock M, Kumar NPBA, et al. Phytoremediation: A novel strategy for removal of toxic metals from the environment using plants [J]. Bio/Technology. 1995, 13: 468 ~ 478.
- [13] Khan A G, Kuek C, Chaudhry TM. et al. Role of plants, mycorrhizae and phytochelators in heavy metal contaminated land remediation [J]. Chem osphere. 2000, 41 (2): 197 ~ 207.
- [14] Conesa HM, Garcia G, Faz A. Dynamics of metal tolerant plant communities' development in mine tailings from the Cartagena - La Union Mining District (SE Spain) and their interest for further revegetation purposes [J]. Chemosphere. 2007, 68: 1180 ~ 1185.
- [15] Pond AP, White SA, Milczarek M. Accelerated weathering of biosolid - amended copper mine tailings [J]. Environ Qual. 2005, 34: 1293 ~ 1301.
- [16] Keller C, Hammer D, Kayser A. Root development and heavy metal phytoextraction efficiency: comparison of different plant species in the field [J]. Plant Soil. 2003, 249: 67 ~ 81.
- [17] Castellanos AE, Martinez MJ, Llano JM, Halvorson WL. Successional trends in Sonoran Desert abandoned agricultural fields in northern Mexico [J]. Arid Environ. 2005, 60: 437 ~ 455.

The Progress of Phytoremediation in Contaminated area of Mine tailings

DONG Peng, LIU Jun-hong, ZHANG Guang-zhu

(Qingdao University of Science and Technology, Qingdao, Shandong, China)

Abstract: Phytoremediation is an emerging technology for the remediation of mine tailings. It has become a hot spot of the research of heavy metal contamination recovering technology, because this technology could recover the contaminated soil and do not destroy the construction of contaminated soil while making contaminated soil stabilize and stopping groundwater from second - time contaminating. There are two approaches to phytoremediation of mine tailings, phytoextraction and phytostabilization. This review discussed the advantages and disadvantages of the both techniques within the context of some specific climate types. Finally, the development trend of phytoremediation technology is put forward.

Key words: Mine tailings; Phytoremediation; Phytoextraction; Phytostabilization; Hyperaccumulators

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告