

文章编号: 1003-8701(2007)01-0035-05

浅述利用植物对受污染土壤中重金属的修复

李红霞, 马伟芳, 赵新华

(天津大学环境科学与工程学院, 天津 300072)

摘要: 对于土壤中积累的大量有毒有害物质, 尤其是重金属污染物, 由于其对人类具有潜在的威胁, 已经越来越多地引起了人们的关注。目前, 处理重金属污染主要是一些物理化学方法, 它们虽各有优点, 但不同程度地存在投资费用高、操作运行难、易产生 2 次污染等缺点。近年来出现的植物修复则可以满足这一需要, 尽管植物修复会受到植物种类、植物根系分布、污染物种类等影响, 但已有研究表明, 与传统的处理技术相比, 该技术在环境保护中具有重要的理论价值和广阔的实用前景。

关键词: 土壤; 植物修复; 重金属污染; 根际; 根系分泌物

中图分类号: X53

文献标识码: A

当今, 随着化工、电镀、印染工业的发展, 重金属的使用越来越广泛, 存在于土壤环境中的重金属可通过食物链在生物体内聚集, 极大地危害了人类健康。因此, 有效地去除土壤中的重金属污染已经成为当前一项十分迫切的任务。探索和开发新的污染治理和环境修复技术成为当前环境领域的研究热点。本文综述了利用植物修复技术对土壤中重金属污染治理的研究情况, 对于修复植物的最终处置问题, 由于其涉及范围较广, 本文未作讨论。

1 植物修复概述

1.1 植物修复的定义

自从 1983 年美国科学家 Chaney 等^[1]首次提出运用植物去除土壤中重金属污染物的设想(即植物修复)以来, 人们逐渐将低含量重金属污染治理的研究重点转向了植物修复技术。植物修复技术(一些文献也称之为植物生物修复、生物修复或者绿色修复)是以植物忍耐和超量积累某种或某些化学元素的理论为基础, 利用植物及其共存的微生物体系, 有效清除环境中污染物的一门环境污染治理技术, 它已被当今世界迅速而广泛地接受, 正在全球应用和发展^[2,3]。根据美国环保局的定义: 植物修复技术主要是指利用植物清除污染土壤的重金属^[4], 从这个意义上考虑, 植物修复就是利用具有重金属累积特性的植物来稳定、吸收、转化、或降解土壤中重金属元素和放射性核素等污染物, 即利用其生命代谢活动减少存在于土壤中的有毒有害物质的浓度, 或使其完全无害化, 使受污染土壤能够部分恢复到原初状态, 从而实现环境净化。生态效应恢复的环境治理技术^[5], 因具有实用范围广、对生态环境影响小、处理费用低和效率高等诸多优点, 受到了人们的广泛关注^[6]。

1.2 植物修复的分类

有关植物修复的分类问题, 国内外相关文献众说纷纭, 从现阶段的研究状况看, 可大致分为 3 个方面: 植物稳定、植物吸收和植物挥发。

具体来说, 植物稳定就是利用一些耐重金属植物或超累积植物降低重金属的活动性, 改变土壤的物理、化学、生物等条件, 抑制其中的污染物, 使其发生沉淀或被束缚在腐殖质上, 从而减轻有毒重金

收稿日期: 2006-03-08

基金项目: 天津市科技发展计划项目(043111811)

通讯作者: 李红霞

属对植物毒害的一种方法^[7]。如植物对重金属铬进行修复时,就可以使六价铬变为三价铬^[8],从而起到固化的作用。这种方法是一种原位降低污染物生物有效性的途径,不能永久的去除污染环境中的重金属元素;相比而言,植物吸收就可以永久地去除环境中的污染物,它是借助植物羽状根系所具有的强烈吸收能力和巨大的表面来达到去除或者是减少底泥中重金属污染的目的,值得一提的是,植物的根系分泌物可大大地促进根系周围土壤的微生物的活性和生化反应,植物吸收被人们公认为是一种去除环境中重金属元素的重要方法。而植物挥发是利用植物根系吸收降解金属、类金属及有机污染物,将其散发到大气中,或利用植物促进重金属元素转变为可挥发形态,挥发出土壤和植物表面,以达到减轻土壤污染的目的。如烟草能使毒性较大的二价汞离子转化为气态汞。这类方法主要是针对挥发性重金属元素和易于形成生物毒性低的挥发性有机物的元素进行的,挥发进入大气中的污染物还有可能产生二次污染,因而此方式尚存在不少疑虑,有较大的局限性。

1.3 植物根际活动对植物修复的作用

1904年, Hiltner提出了植物根际的定义,受到了人们的广泛重视^[9],在深入开展利用植物修复对重金属污染的治理过程及机理研究中,不论采用哪种方法,植物根际活动对于植物吸收环境中的重金属都具有十分重要的作用,根际环境不仅是物质和能量的交换场所,也是土壤物质循环的重要作用界面。

植物吸收的金属离子必须以溶液形式存在,它之所以能够吸收、富集重金属,是由于其根部细胞与土壤中重金属有较多的结合位点,即重金属存在于细胞壁和液泡中,可以降低其毒性^[10]。通常把土壤沉积物中重金属的存在形态划分为5类:可交换态、碳酸盐结合态、铁锰氧化物结合态、有机物结合态和残渣态。除残渣态外,其余形态的重金属都可被直接或间接吸收。

根系分泌物是保持根际微生态系统中活力的关键因素,也是根际微生态系统中物质迁移和调节的重要组成部分。根系作为植物和土壤的重要界面,不仅是吸收和代谢器官,而且是强大的分泌器官。各种有机酸、氨基酸对重金属都具有一定的活化能力,且随着有机酸浓度的升高,对重金属的活化能力增强。所以人为地调控根际环境可以改变重金属的生物有效性,增强或抑制植物根系对重金属的吸收。比如采用一些化学试剂(络合剂、螯合剂)、土壤改良剂、酸碱调节剂等。根分泌的有机酸、氨基酸等有机物含有羟基和羧基等功能基团,对底泥中富余的金属离子特别是毒性重金属离子有较强的络合能力。

2 利用植物修复技术治理受污染土壤的国内外研究现状

过去,治理土壤中重金属污染的方法主要有客土法、玻璃化法、淋滤法、电化学方法及土壤化学方法等。总的说来,这些方法工程量大、操作复杂、费用昂贵,特别是在处理低含量重金属污染物质时,有些方法不能从根本上解决实际问题,易造成二次污染。植物修复技术以其独有的廉价、高效、安全的特点,已经成为修复土壤中重金属污染研究领域的一项新兴技术。

目前,我国在利用植物修复技术治理受污染土壤方面有许多人进行着探索与尝试。据报道,陈同斌^[11]领导的研究小组在国际上率先开发出了利用植物修复技术修复砷污染土壤,并建立了第1个植物修复示范工程基地。其研究证实,在中国南方湖南、广西等大面积地区分布的蕨类植物蜈蚣草对砷具有很强的超富集能力,其叶片含砷量较高,大大地超过了植物体内氮磷养分的含量。

刘秀梅等^[12]在盆栽试验条件下发现乡土植物羽叶鬼针草和酸模对铅有很好的耐性,其铅含量是该项研究工作中另4种植物的2~20倍,能把绝大部分的铅迁移到茎叶,有效去除受污染土壤中的重金属铅。另外,在她的一些其他研究中还表明,印度芥菜(Indian mustard)对Cd的活化率可达2.17%^[13],遏蓝菜(Thlaspi goesingense)对Cu和Zn的活化率可达2.74%和3.56%,这也充分说明,印度芥菜和遏蓝菜对重金属也具有较高的耐性。另据黄会一^[14]报道,当年生加拿大杨对Hg的富集量可高达6.8 mg/株,为对照样本的130倍。龙育堂等将Hg污染稻田改种芝麻后,对Hg的净化率也可高达41%。薛生国等^[15]对湖南省湘潭锰矿污染区的植物和土壤进行了一系列野外调查,着力寻找锰的超积累植物,试验结果表明:商陆科植物商陆对锰具有明显地富集特性。叶片内锰的含量可高达19 299 mg/kg,这一发现填补了国内锰超积累植物的空白,为利用超积累植物对大面积受锰污染的土壤实施植物修复提供

了有力证据。

世界上现已发现 400 余种可超量积累 Cd、Co、Cu、Pb、Ni、Se、Mn 和 Zn 等的植物^[16]。据美国 D. Glass 公司估测, 今年美国植物修复技术市场可达 3.7 亿美元^[17], 如前所述, 使用一些络合剂或螯合剂, 可增强根际环境对土壤中重金属的活化作用。例如 Wu 和 Luo^[9]在芥子草的盆栽试验中发现, 添加 EDTA 可显著提高植物体内总有机碳、Cu、Zn、Pb 和 Cd 的含量, 显著增加了根际土壤中可交换态重金属的含量, 从而提高了植物的生物可利用性。另外, 由于植物根系分泌甲酸、乙酸、柠檬酸等有机酸, 降低了根际土壤的 pH 值。一般来说, 根际土 pH 比非根际土低 1~2 个单位^[9], 可以显著活化重金属。Morghan 研究发现, 根际的酸化作用可明显增加重金属的可移动性^[18]。

值得一提的是, 近年来, 国外利用植物菌根技术对重金属污染土壤的修复研究比较多。许多国家的研究人员开始将菌根真菌作为重金属污染修复剂进行研究, 菌根是菌根真菌菌丝同高等植物营养根系形成的共生联合体, 菌根真菌对重金属污染的修复作用主要是通过直接或间接促进植物对重金属的修复来实现的。Galli 等^[19]分析认为, 菌根真菌细胞中的成分, 如几丁质、色素类物质能与重金属结合, 将重金属纯化。Paul^[20]通过 X- 射线光谱分析发现耐重金属菌株 *Pisolithus tinctorius* 分泌物含大量与磷酸盐结合的铜和锌, 从而限制了铜和锌的毒性。Ulla 等^[21]用 HPLC 法对含有不同重金属浓度的菌根真菌培养物进行分析, 发现草酸、柠檬酸、苹果酸、琥珀酸等有机酸随着重金属浓度的增加而增加, 这可能是真菌利用这些有机酸降低 pH 值及与重金属结合、纯化重金属的结果。同时, Jones^[22]也发现有有机酸能与重金属结合, 进而具有降低重金属毒性的作用。所有这些研究成果表明, 菌根能促进菌根植物对重金属的纯化。

3 今后研究面临的问题和应用前景展望

从国内外利用植物修复重金属污染土壤的研究进展来看, 虽然有许多人进行着探索与尝试, 但系统性的研究尚没有完全开始, 就其理论体系的完整性、修复机理的科学性和修复技术的先进性等方面仍存在许多不完善之处。

3.1 面临问题

利用植物修复技术对受污染土壤中重金属进行整治, 面临着许多问题, 该技术涉及植物生理学、土壤学、生态学、化学、遗传学、环境保护学等多个领域, 对于各种学科知识的交叉和综合应用, 需要进行大量的基础理论研究和应用实践。

首先, 要求植物对重金属污染的耐性要高, 植物应具有较高的生物量, 否则当污染物浓度太高时会影响植物的生长。由于自然界中超累积植物种属稀少, 分布受地域局限, 而且这类植物往往生长缓慢, 生物量小, 导致修复治理效率低、周期长而难于满足商业要求。因此, 寻找、培育和驯化有利于治理环境污染的超累积植物, 从而满足实际应用的需要, 是今后植物修复研究的重要内容之一; 其次, 目前的植物修复技术所采取的途径往往只考虑种植单一的修复型植物, 这样就会导致修复不彻底, 而且还有可能发生土壤环境和生物效应, 如由于拮抗作用使修复型植物生长不良进而导致生物量下降的情况。所以, 今后也应该努力寻找和培育高效修复型植物, 尤其是某些重金属超富集植物, 并可采用多种植物混作来提高修复效率。

另外, 作为新的污染物修复方法, 深化应用基础理论的研究是必不可少的, 包括植物对重金属的超量吸收及其解毒机理、根际作用以及根际微生物群落的生态学和生理学特征、根际土壤环境条件对重金属的生物有效性等一系列基础理论问题, 对污染物在植物根际及其体内的迁移和转化规律, 特别是对作为根际微生态系统活力的保持者和物质循环的重要组分的根分泌物作用还认识不足。

3.2 前景展望

针对植物修复方法存在的对植物种类的特殊要求的问题, 我们可以充分利用我国植物品种繁多的有利条件, 发挥植物资源丰富的优势, 寻找和培育新的超积累植物。不同的植物, 其根分泌物不同, 根际微生物的种群和数量也不同, 构建高效降解特定污染物的微生物, 诱导根际微生物去修复或降解特定的重金属污染物, 将会使植物修复技术得到更广泛地应用。如果能充分发挥根分泌物在植物 -

微生物协同修复土壤污染物中的作用,摸清根分泌物对根际微生物的进化选择,以及植物根际微生物的群落特征,将为土壤污染的植物修复技术开辟一条新的途径。

近年来国内外的一些相关报道还提出了利用转基因的方法,将自然界中超累积植物的耐重金属、超累积基因移植到生物量大、生长速率快的植物中去,构建能够同时超量积累多种重金属污染的植物种群,以克服天然超累积植物的缺点,改善超累积植物的生物学性状,提高植物对重金属的富集能力或超累积植物的生长速度和生物量,从而提高植物修复的效率^[20]。另外,将重金属超累积植物与新型土壤改良剂相结合,也会极大地推进植物修复的应用进程,具有广阔的研究前景。充分发挥植物修复与其它技术的联合修复作用,取长补短,达到高效、低耗的效果。

综上所述,虽然利用植物修复技术对土壤中重金属进行治理存在着一些不足,但就其发展前景来看,与其他修复技术相比费用较低,收效显著,特别适合发展中国家采用。具有较高的研究和实用价值,随着各方面的深入研究和实践,它必将得到更加广泛地推广和应用,为环境保护和治理带来更加广泛地实用前景。

参考文献:

- [1] Chaney R. L. et al. Phytoremediation of soil metals. *Current Opinions Biotechnology*, 1997, 8: 279 .
- [2] Salt D E, et al. Phytoremediation: a novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plant [J]. *BioTechnology*, 1995, 13: 468- 474 .
- [3] Carlos G, Itzia A. Phytoextraction: a cost - effective plant- based technology for the removal of metals from the environment [J]. *Bioresource Technology*, 2001, 77: 229- 236 .
- [4] USEPA. Introduction to Phytoremediation [R]. EPA/ 600/ R99/ 107, Washington D C, 2000 .
- [5] Cunningham SD, Berti W R. Remediation of contaminated soils with green plants: an over review[J]. *In Vitro Cell.Dev. Biol.* 1993, 29: 207- 12 .
- [6] Mary L G, David E S. Fortified foods and phytoremediation. Two sides of the same coin [J]. *Plant Physiology*, 2001, 164- 167 .
- [7] 陈玉成. 污染环境生物修复工程[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003 .
- [8] 张 慧, 等. 重金属污染的生物修复技术[J]. *化工进展*. 2004, 23 (5): 562 .
- [9] 何章莉, 潘伟斌. 受污染土壤环境的植物修复技术[J]. *广东工业大学学报*, 2004, 21(1): 56- 60 .
- [10] 王慎强, 陈怀满, 司有斌. 我国土壤环境保护研究的回顾与展望[J]. *土壤*, 1999, (5): 255- 260 .
- [11] 陈同斌, 韦朝阳. 砷超富集植物蜈蚣草及其对砷的富集特征[J]. *科学通报*, 2002, 47(3): 1196- 1202 .
- [12] 刘秀梅, 聂俊华, 王庆仁. 六种植物对铅的吸收与耐性研究[J]. *植物生态学报*, 2002, 26(5): 533- 537 .
- [13] 毕春娟, 等. 根际环境重金属地球化学行为及其生物有效性研究进展[J]. *地球科学进展*, 2001, 16(3): 387- 393 .
- [14] 张 健, 孙根年. 土壤重金属污染与植物修复研究进展[J]. *云南师范大学学报*, 2004, 24(2): 52- 57 .
- [15] 薛生国, 等. 中国首次发现的锰超积累植物 - 商陆[J]. *生态学报*, 2003, 23(5): 937 .
- [16] 张太平, 潘伟斌. 根际环境与土壤污染的植物修复研究进展[J]. *生态环境*, 2003, 12(1): 76- 79 .
- [17] 韦朝阳, 陈同斌. 重金属污染植物修复技术的研究与应用现状[J]. *地球科学进展*, 2002, 17(6): 833- 837 .
- [18] 周国华, 黄怀曾, 何红寥. 重金属污染土壤植物修复及进展[J]. *环境污染治理技术与设备*, 2002, 3(6): 33- 38 .
- [19] GALLI V, SCHUEPP H, BRUNOLD C. Heavy metal binding by mycorrhizal physid [J]. *plant*, 1994, 92: 364- 368 .
- [20] PAUL. C. Heavy metal tolerance by ectomycorrhizal fungi and metal oration by *Pisolithus tinctorius*[J]. *Mycorrhiza*. 1995, 2: 101- 107 .
- [21] ULLA .S, AHONEN- JONNARCH, PAJRICR A W Organic acids Produced by mycorrhizal *Pinus sylvestris* exposed to elevated aluminum and heavy metal concentrations[J]. *Mycorrhizal Research*, 2000, 146: 57- 576 .
- [22] JONES DL . Organic acid in the photosphere- a critical review[J]. *Plant and Soil* 1998, 205: 25- 41 .

The Prospect of Studies on the Phytoremediation of Heavy Metal Contamination in Soil

LI Hong-xia, MA Wei-fang, ZHAO Xin-hua

(School of Environmental Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: The soil pollution has been the one of the serious environmental problems with the rapid development of the industry and the growth of the world population nowadays all over the world. A large number of harmful substances in the contaminated soil, especially the heavy metal pollutant which has potential threat to the mankind, have been paid attention by many people increasingly. At present, there are mainly some physical

chemistry methods to deal with the heavy metal pollutant in the world, but they have some disadvantages, such as high cost, hard-operating, secondary pollution, etc. Although phytoremediation is limited by species of plants, rhizosphere and the elements of the pollutant, some research has indicated the theory have wide practical prospect in environmental protection in the future. Researches of phytoremedition to get rid of heavy metal in the contaminated soil were reviewed in the paper.

Key words: Soil; Phytoremediation; Heavy metal contamination; Rhizosphere; Root exudates

~~~~~  
(上接第 30 页)

虽然采用化肥处理小区的产量高于各处理小区, 但是各个处理小区水稻产量构成因子中千粒重和结实率有明显提高, 这对改善稻米品质, 提高水稻品种质量是有利的。

参考文献:

[1] 赵国臣. 无公害优质米水稻栽培研究浅析[J]. 吉林农业科学, 1997, (2): 25- 27 .  
[2] 张三元. 有机栽培环境对水稻产量构成及稻米品质的影响[J]. 吉林农业科学, 2005, 30(2): 13- 16 .  
[3] 齐藤邦行. 有关水稻有机栽培的持续试验. 日作记, 2001, 212 回, 273- 274 .  
[4] 比嘉照夫. 微生物的农业利用与环境保护. 日本, 农文协, 1991 .

~~~~~  
(上接第 34 页)

连作保护地土壤各养分含量均处于比较高的水平。施肥时偏重氮磷肥, 而忽视钾肥的施用, 应注重氮磷钾及有机肥配合施用, 以便在提高产量的同时改善蔬菜品质。

连作保护地随种植年限的增加土壤 pH 值下降严重, 甚至出现酸化现象, 应施入一些石灰进行改良, 为蔬菜创造良好的生长环境。

根据调查, 从保护地的施肥情况看, 菜农施肥的品种较少, 多以鸡粪、猪粪等有机肥配施磷酸二铵、尿素、碳酸氢铵为主, 施钾肥较少。应提高钾肥的施用量。

参考文献:

[1] 夏立忠, 杨林章. 保护地番茄优化施肥与土壤养分和盐分的变化特征[J]. 中国蔬菜, 2003, (2): 4- 7 .
[2] 吴凤芝, 刘 德, 等. 大棚番茄不同连作年限对根系活力及其品质的影响[J]. 东北农业大学学报, 1997, 28(1):33- 38 .
[3] 刘兴成. 番茄嫁接栽培效果实验[J]. 蔬菜栽培, 2003, (5):22- 23 .
[4] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000 .
[5] 张福瓚. 设施园艺学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2002: 186- 189 .

Effects of Continuous Cropping on Status of Soil Nutrients

MA Lin¹, LIU Wen-li²

(1.Yanbian University Herbage Pharmaceutical Co.,Ltd, Longjing 133400;

2.Agricultural college of Yanbian University, Longjing 133400, China)

Abstract: Thirty- six soil samples of different years of continuous cropping of protected cultivation and controls in the near open ground were collected and their nutrients determined in this study. The results showed that the contents of organic matter, total N, total P, total K and alkali- hydrolysable N, available P and available K in the soil of continuous cropping of protected cultivation of tomato were obviously higher.

Key words: Continuous cropping; Protected soil; Soil nutrients