

土壤镉污染现状及修复研究进展

张兴梅^{1,2}, 杨清伟², 李 扬²

(1. 重庆交通大学河海学院, 重庆 400074; 2. 重庆广播电视大学, 重庆 400052)

摘要: 分析了土壤镉污染状况, 包括镉污染来源, 其对人体、动物和植物的危害, 镉的赋存状态与活性的关系, 并对植物修复技术进行了讨论, 提出了其他的土壤修复措施。

关键词: 土壤; 镉污染; 植物修复; 土壤修复

中图分类号: X173

文献标识码: A

文章编号: 1008-1631 (2010) 03-0079-03

Progress of Status and Remediation of Soil Cadmium Pollution

ZHANG Xing-mei^{1,2}, YANG Qing-wei², LI Yang²

(1. School of River and Ocean Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China; 2. Chongqing Radio & TV University, Chongqing 400052, China)

Abstract: The status of soil cadmium pollution including the sources of cadmium pollution, the hazards to human, animals and plants, the relationship between occurrence state and activity of cadmium was analyzed. The phytoremediation technology was discussed. Other soil remediation measures were put forward.

Key words: Soil; Cadmium pollution; Phytoremediation; Soil remediation

人类赖以生存的土壤正遭受着重金属的侵害, 时刻威胁着人类健康。重金属污染已成为全球面临的严峻问题之一, 其中 (Cd) 镉因周期长、移动性大、毒性高、难降解等备受关注。自 20 世纪 20 年代起, 随着电解工业的发展, Cd 产量明显增加, 由 Cd 产生的环境污染问题也随之出现。但由于其具有隐蔽性的特点, 直到二战时期日本发生的“镉米事件”后, 镉污染才逐渐被人们认识和重视, 有关镉污染的研究也从此深入开展。简要概述了土壤镉污染的状况, 分析讨论了目前先进的生物修复技术, 旨为后续研究提供参考。

1 镉污染概述

1.1 镉污染来源

土壤中镉的背景值含量范围为 0.01 ~ 2 mg/kg, 中值为 0.35 mg/kg, 我国土壤的背景值平均为 0.097 mg/kg, 略低于日本和英国^[1]。我国各区域的背景总体分布为: 西部地区 > 中部地区 > 东部地区; 北方地区 > 南方地区^[2]。虽然各地区镉背景值有较大差异, 但一般情况下土壤中自然存在的镉不至于对人类造成危害, 造成危害的土壤镉大都是人为因素引入的^[3]。土壤中的镉污染主要是随着采矿、冶炼和电镀工业的不断发展而积累的。归纳起来污染途径有 3 个方面。①大气沉降。工业废气中的镉伴随着粉尘随风扩散至工厂周围, 经过雨淋和自然沉降进入土壤中。当土壤中镉含量超过一定范围时, 就造成了污染。②污水灌溉。采矿废水和

电镀、碱性电池工业废水及城市居民用水如未经处理或处理不达标, 镉随着污水灌溉进入土壤。③施肥不当。施用含镉元素的化肥或施肥不妥以及长期施肥、大量施肥, 都会对加深土壤对镉的沉积。韩晓日等^[4]研究发现, 长期使用磷肥和高量有机肥会增加土壤镉的含量, 0 ~ 20 cm 土层镉含量高于 20 ~ 40 cm 和 40 ~ 60 cm 土层。

1.2 镉污染危害

1.2.1 对植物的危害 土壤中镉的存在形态很多, 大致可分为水溶性镉和非水溶性镉 2 大类。其络合态和离子态的水溶性镉能为作物所吸收, 对生物危害大; 而非水溶性镉不易迁移和难以被植物吸收, 但随着条件的改变, 二者可互相转化^[5]。环境中的镉不是植物生长的必需元素, 而是一种潜在性的有毒重金属元素^[6]。土壤中的镉离子由植物根部吸收, 少量运至上部。据研究, 镉在植物中各部位的分布情况基本上为根 > 叶 > 茎 > 花、果、籽粒^[7]。镉在植物组织中含量达到 1 mg/kg 时, 就对某些植物产生毒害, 使植物表现出叶色减退、植物矮化、物候期延迟的症状, 导致植物生物产量下降, 甚至死亡^[8]。具体表现为: 对根部的损伤, 抑制植物水分的吸收, 阻碍光合作用和蒸腾作用等。

1.2.2 对人类及动物的危害 镉是蓄积性毒物, 其毒性是潜在的, 人体内镉的生物学半衰期一般为 20 ~ 40 a。镉对人体组织和器官的毒害是多方面的, 且治疗极为困难^[5]。

土壤镉污染对人类的危害途径是通过食物链, 尤其是“镉米”、“镉菜”进入人体而大量积累, 引起各种疾病, 甚至死亡。长期食用遭到镉污染的食品, 可能导致“痛痛病”, 即身体积聚过量的镉损坏肾小管功能,

收稿日期: 2010-03-01

作者简介: 张兴梅 (1983 -), 女, 重庆开县人, 助教, 硕士研究生在读, 研究方向为城市生态与城市环境。

造成体内蛋白质从尿中流失,久而久之形成软骨症和自发性骨折。正常人血液中的镉浓度应 $< 5 \mu\text{g/L}$,尿中 $< 1 \mu\text{g/L}$ 。

动物体的镉主要来自于牧草或饲料。镉可导致动物采食量下降,生产性能降低,影响动物的繁殖性能。镉进入家畜体内后,可分布于动物全身,蓄积在肾脏,使肾小管发生结构性变化,进而破坏肾脏的排泄能力。据测定,镉在肾脏内可耐受的浓集量为 $2.71 \times 10^{-4} \text{mg/kg}$,超过此阈值可引起中毒。

1.3 土壤镉赋存形态及活性

土壤镉的毒性不但与土壤中镉总的含量有关,也与其在土壤中的赋存状态密切相关^[9]。镉进入土壤后,通过溶解、沉淀、凝聚、络合吸附等各种反应,形成不同的化学形态,从而表现出不同的活性^[10]。目前,其存在状态根据生物活性高低依次为可交换态,碳酸盐结合态,有机结合态,铁、锰氧化物结合态,残留态^[11]。可见离子状态和络合状态的镉占绝对优势,生物活性高,易被植物吸收,危害大;而残留态镉不易迁移,活性小,毒性低。但是这些赋存状态并不是一成不变的,会随着条件的变化而相互转化。如镉在 pH 值较高,尤其是含有较多 CaCO_3 的碱性土壤中活性低,不易移动,而在酸性条件下则易迁移,毒性增强。研究表明,镉在 pH 值 6.0 以上时就开始产生 CdS 、 $\text{Cd}(\text{OH})_2$ 、 CdCO_3 和 $\text{Cd}_3(\text{PO}_4)_2$ 沉淀;当 pH 值达 7.5 以上时,这些沉淀物就很难溶出^[12]。因此,提高土壤 pH 值也成为降低土壤镉含量的有效措施之一。此外,土壤有机质在土壤中可吸附易迁移的可交换态镉,降低其生物有效性,在镉的形态发生转化的过程中发挥着除土壤 pH 值以外重要的作用^[13,14]。

2 植物修复进展

植物修复技术被公认为是土壤重金属污染最好的修复技术,是 20 世纪 90 年代发展起来的绿色环境进化技术,具有治理效果永久性、治理过程原位性、治理成本低廉性、环境美学兼容性、后期处理简易性等特点^[15]。植物修复技术是以植物忍耐和超量富集某种或某些化学元素的理论为基础,利用植物清除土壤中的污染重金属的一类环境整治技术。

2.1 种质资源

超富集植物种质资源较多,目前世界上共发现了 500 多种超积累植物^[16],包括蔬菜、草本、蕨类植物、景天科植物和树木等。这些富集植物具有很强的吸收和蓄积土壤镉的能力,但它们的生长和发育却不会受到镉的抑制。郭艳杰等^[17]发现,印度芥菜对重金属镉、铅的抗耐性较强,土壤中镉的吸收量达到了 100mg/kg 以上,具有富集潜力。孙约兵等^[18]认为,三叶鬼针草幼苗对镉有很强的耐性和累积能力。吴双桃^[19]认为,紫茉莉对镉的耐性较强,富集浓度最高可达 92.82mg/kg ,

在中、低浓度镉污染土壤中可取得较好的修复效果。李福燕等^[20]研究发现,在镉重度污染的土壤中增加石灰用量,可促进剑麻的生长。

2.2 促进富集植物吸收

研究表明,植物对镉的吸收量与土壤含镉量和土壤酸性呈显著正相关。因此,根据不同植株特点加入螯合剂 DTPA、EGTA、柠檬酸等,可提高镉的活化能力,增强植株的吸收。Blaylock 等^[21]对施加螯合剂研究表明,施加这些螯合剂后,地上部分铅和镉的浓度显著提高。骆永明^[22]也发现,向镉污染土壤中加入 EDTA 等螯合剂,植物吸收的镉量明显增加,尤其适合印度芥菜。但是并不是所有的螯合剂都适合所有的富集植物。有的螯合剂对富集植物吸收镉效果不明显,甚至抑制镉的吸收^[3]。因此,应根据植株、环境情况,筛选高效的螯合提取剂。

3 土壤修复其他措施

由于土壤一旦被镉污染就很难消除,因此,应该坚持以防为主、防治结合的方针。

3.1 以防为主,从源头上消灭镉污染

(1) 成立环境监测小组,定期监测土壤中镉的含量。目前测定土壤中微量镉的仪器分析方法主要有原子吸收光谱法、原子荧光光谱法、电感耦合等离子体质谱(ICP2MS)等方法^[23]。严格控制“三废”排放,加强对工业镉“三废”的治理,合理采矿和冶炼。(2) 合理施肥,加强对磷肥和有机肥料中镉的监测。

3.2 农艺措施

(1) 根据农作物累积特点,尽量在工厂周围种植低富集能力的作物品种。(2) 提高土壤 pH 值,可以降低作物镉的活性,减少作物吸收。(3) 可采用轮作的方式降低土壤重金属的积累。

3.3 利用低级动物富集土壤中的镉

敬佩等^[24]在重金属污染土壤中接种蚯蚓,结果表明,蚯蚓对镉具有较强的富集能力,富集量随着蚯蚓培养时间的延长而逐渐增加,富集系数 K 值为 $1.6 \sim 49.2$;蚓粪中铅、镉酸提取态的含量较土壤含量有较大幅度提高,且蚓粪对镉表现出较强的富集现象。

4 结语

镉污染问题是全球关注的环境热点问题之一,在亚洲镉污染尤其严重。其防治不单需要科学技术,更重要的是需要全社会全人类共同关注,需要各个部门密切合作,共同解决。为了子孙后代,为了可持续发展,为了全人类的发展,每个人都应该有责任和义务保护好人类的生活环境。

参考文献:

[1] 许嘉林,杨居荣.陆地生态系统中的重金属[M].北

- 京: 中国环境科学出版社, 1995.
- [2] 王 云, 魏复盛. 土壤环境元素化学 [M]. 北京: 中国环境科学出版, 1995: 67-69.
 - [3] 熊愈辉. 镉污染土壤植物修复研究进展 [J]. 安徽农业科学, 2007, 35 (22): 6876-6878.
 - [4] 韩晓日, 王 颖, 杨劲峰, 等. 长期定位施肥对土壤中镉含量的影响及其时空变异研究 [J]. 水土保持学报, 2009, 23 (1), 107-110.
 - [5] 罗绪强, 王世杰, 张桂玲. 土壤镉污染及其生物修复研究进展 [J]. 山地农业生物学报, 2008, 27 (4): 357, 361.
 - [6] 周启星, 吴燕玉, 熊先哲. 重金属 Cd-Zn 对水稻复合污染和生态效应 [J]. 应用生态学报, 1994, 5 (4): 438-441.
 - [7] 章钢娅, 骆永明. 太湖流域典型水稻土对镉吸持特征的初步研究 [J]. 土壤, 2000, 32 (2): 91-94.
 - [8] 康 浩, 石贵玉, 潘文平, 等. 镉对植物毒害的研究进展 [J]. 安徽农业科学, 2008, 36 (26): 11200-11201, 11204.
 - [9] 熊愈辉, 杨肖娥. 镉对植物毒害与植物耐镉机理研究进展 [J]. 安徽农业科学, 2006, 34 (13): 2969-2971.
 - [10] 陈怀满. 土壤-植物系统中的重金属污染 [M]. 北京: 科学出版社, 1996.
 - [11] 林 琦, 郑春荣, 陈怀满. 根际环境中镉的形态转化 [J]. 土壤学报, 1998, 35 (4): 461-467.
 - [12] Kr Ishnamurti Gsr, Huang Pm, Van Rees, *et al.* Speciation of articulate2bound cadmium in soils and its bioavailability [J]. Analyst, 1995, 120: 6592-6651.
 - [13] 张 浩, 王 济, 郝萌萌, 等. 土壤-植物系统中镉的研究进展 [J]. 安徽农业科学, 2009, 37 (7): 3210-3215.
 - [14] 吴大付, 任秀娟, 姜俊宇. 镉在土壤-植物系统中迁移积累的研究进展 [J]. 安徽农业科学, 2007, 35 (5): 1420-1422.
 - [15] Lee SZ, Allen H E, Huang C P, *et al.* Predicting soil water partition coefficients for cadmium [J]. EnvironSci Technol, 1996, 30: 3418-3424.
 - [16] 陈 凌. 土壤镉污染的植物修复技术 [J]. 无机盐工业, 2009, 41 (2): 45-47.
 - [17] 郭艳杰, 李博文, 杨 华. 印度芥菜对土壤 Cd、Pb 的吸收富集效应及修复潜力研究 [J]. 水土保持学报, 2009, 23 (4): 130-135.
 - [18] 孙约兵, 周启星, 王 林, 等. 三叶鬼针草幼苗对镉污染的耐性及其吸收积累特征研究 [J]. 环境科学, 2009, 30 (10): 3028-3035.
 - [19] 吴双桃. 紫茉莉修复镉污染土壤的研究 [J]. 污染防治技术, 2006, 19 (4): 17-18.
 - [20] 李福燕, 李士平, 李许明, 等. 剑麻与石灰对镉污染土壤修复研究 [J]. 广东农业科学, 2007, (9): 46-48.
 - [21] Blaylock M J, Salt D E, Dushenkov S, *et al.* Enhanced accumulation of Pb in Indian Mustard by soil-applied chelating agents [J]. Environmental Science & Technology, 1997, 31 (3): 860-865.
 - [22] 骆永明. 强化植物修复的螯和诱导技术及其环境风险 [J]. 土壤, 2000, 32 (2): 57-61.
 - [23] 陈 媛. 土壤中镉及镉的赋存形态研究进展 [J]. 广东微量元素科学, 2007, 14 (7): 7-12.
 - [24] 敬 佩, 李光德, 刘 坤, 等. 蚯蚓诱导对土壤中铅镉形态的影响 [J]. 水土保持学报, 2009, 23 (3): 65-69.
 - [25] Qian Y, Yang LJ. Effects of cadmium pollution in soil on physiological and biochemical index of *Allium sativum* L. [J]. Agricultural Science & Technology, 2009, 10 (3): 7-10.

(上接第 53 页)

于玉米多样性中心, 但还有一部分可能蕴藏在被我们忽视的地方种质中。因此, 在目前利用大量外引群体和基因库进行全国性的种质扩增、改良和创新研究的同时, 对地方种质的研究也不可忽视, 充分挖掘利用我国的地方玉米种质, 对我国今后玉米育种的发展具有重要作用。

参考文献:

- [1] 杜金友, 黎 裕, 王天宇. SSR 和 AFLP 分析玉米遗传多样性的研究 [J]. 华北农学报, 2003, 18 (1): 59-63.
- [2] 袁力行, 傅骏骅, Warburton M, 等. 利用 RFLP、SSR、AFLP 和 RAPD 标记分析玉米自交系遗传多样性的比较研究 [J]. 遗传学报, 2000, 27 (8): 725-733.
- [3] Pejic I, Ajmone-Marsan P, Morgante M, *et al.* Comparative analysis of genetic similarity among maize inbred lines detected by RFLPs, RAPDs, SSRs and AFLPs [J]. Theor Appl Genet, 1998, 98: 219-227.
- [4] Mumm R H, Dudley J W. A classification of 148 U. S. maize inbreds: I. Cluster analysis based on RFLPs [J]. Crop Sci, 1994, 34: 842-851.
- [5] 李瑞奇, 马峙英, 王省芬, 等. 转基因抗虫棉农艺性状和纤维品质的遗传多样性 [J]. 植物遗传资源学报, 2005, 6 (2): 210-215.
- [6] 徐雅静, 汪远征. 主成分分析方法的改进 [J]. 数学的实践与认识, 2006, 36 (6): 68-75.
- [7] 王文博, 陈秀芝. 多指标综合评价中主成分分析主因子分析方法的比较 [J]. 统计与信息论坛, 2006, 21 (5): 19-20.
- [8] 吴景锋. 我国主要玉米杂交种种质基础评述 [J]. 中国农业科学, 1982, 16 (2): 1-8.
- [9] 刘世建, 荣廷昭, 杨俊品, 等. 四川地方玉米种质的 SSR 聚类分析 [J]. 作物学报, 2004, 3 (3): 221-226.