

文章编号:1672-058X(2012)08-0079-04

# 表面活性剂修复重金属污染土壤的研究\*

陈 锋, 傅 敏, 马文琳

(重庆工商大学 环境与生物工程学院, 重庆 400067)

**摘 要:**表面活性剂在重金属污染土壤修复中的应用,已被证明是一项非常有应用前景的土壤修复技术;介绍了重金属污染土壤修复中表面活性剂修复技术和影响因素,其中主要的修复技术有,离子型表面活性剂的修复、生物表面活性剂的修复以及联合修复技术等,对于复合污染的土壤,多种修复技术的联合应用是现在土壤修复的研究趋势;此外对土壤修复技术存在的问题进行了探讨。

**关键词:**表面活性剂;重金属污染;土壤修复

**中图分类号:** O693

**文献标志码:** A

土壤重金属污染主要来自灌水(特别是污灌)、固体废弃物(污泥、垃圾等)、农药和施肥,以及大气沉降物等<sup>[1]</sup>。重金属在土壤中迁移性差,不易被微生物降解,滞留时间长,还会影响农产品的产量和质量,通过食物链影响人体健康,通过生态系统的能量流动和物质循环影响整个生态系统安全。随着我国社会经济的不断发展,土壤受重金属污染面积越来越大。据报道,目前我国受重金属污染土壤至少约  $20 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ;农药污染面积约  $13 \times 10^6 \sim 16 \times 10^6 \text{ hm}^2$ <sup>[2]</sup>。可见修复重金属污染土壤已经刻不容缓。表面活性剂是指少量加入就能显著降低溶剂表面张力,并具有亲水、亲油、增溶、润湿、乳化、分散和洗涤等多方面功能特性的物质。目前,利用表面活性剂对重金属的增溶、活化作用来修复重金属污染土壤的方式已经成为环境和土壤化学领域中的研究热点。

## 1 表面活性剂在重金属污染土壤修复中的应用

### 1.1 离子型表面活性剂的修复

离子型表面活性剂能活化土壤中的重金属,提高重金属在土壤中的溶解性和生物利用性,对去除污染土壤中重金属有积极的效果。胡随喜<sup>[3]</sup>等研究发现十二烷基苯磺酸钠的质量浓度为  $35 \sim 45 \text{ mg/L}$  时,它对土壤中的重金属 Cd 具有很好的去除效果。Chen 等<sup>[4]</sup>的研究结果表明,阳离子表面活性剂 CTAB,阴离子表面活性剂 SDBS,非离子表面活性剂 TX-100 都能提高污染土壤中 Cd 的去除率。

### 1.2 生物表面活性剂的修复

生物表面活性剂是指由细菌、酵母菌和真菌等微生物代谢过程中产生的具有表面活性的化合物<sup>[5]</sup>。由

收稿日期:2011-11-18;修回日期:2011-12-30.

\* 基金项目:重庆市重点自然基金项目(CSTC,2008,BA4012).

作者简介:陈锋(1984-),男,福建福州人,硕士研究生,从事土壤修复研究.

于生物表面活性剂是由微生物代谢分泌出来的,因此它是完全可以生物降解且基本无毒。生物表面活性剂对多种重金属污染土壤具有良好的修复效果。有研究表明,用生物表面活性剂鼠李糖脂去除土壤中的铅和镉,发现鼠李糖脂对土壤中的重金属具有一定的去除效果。A sha A. Juwarkar 等<sup>[6]</sup>研究发现,与蒸馏水洗脱效果相比鼠李糖脂对污染土壤中 Cd、Pb、Cr 的去除率分别比蒸馏水高 25、9、13 倍。Mulligan 等<sup>[7]</sup>研究了鼠李糖脂、槐糖脂对土壤中重金属铜和锌的增容、活化作用;研究结果表明,0.15% 的鼠李糖脂能活化 16% 的锌和 65% 的铜。4% 的槐糖脂能活化 60% 的锌和 25% 的铜。

### 1.3 联合修复技术

研究表明,大多数植物能够吸收利用的重金属只有土壤溶液中的溶解态与土壤颗粒微弱结合的交换态以及部分碳酸盐态,而土壤中的大部分重金属与土壤是固相结合<sup>[8]</sup>。表面活性剂能增加重金属在土壤中溶解态。所以在植物修复中,表面活性剂的引入促进植物对重金属吸收、提高重金属的生物利用性。罗立新<sup>[9]</sup>等研究表明,在液培条件下,表面活性剂 CTAB、LAS、Tween-80 能促进小麦对镉的吸收,吸收效果为 CTAB > LAS > Tween-80。有些表面活性剂与 EDTA 复合后强化植物吸收重金属的效果要强于单独使用表面活性剂的效果;陈玉成等<sup>[10]</sup>用表面活性剂与 EDTA 强化雪菜吸收土壤镉的试验发现。非离子型与阴离子型表面活性剂的强化修复效果比阳离子型表面活性剂好。表面活性剂与螯合剂联合使用对污染土壤重金属的去除方式主要表现为独立作用、拮抗作用和协同作用 3 种。蒋煜峰等<sup>[11]</sup>将表面活性剂 SDS 和 EDTA 复合,去除污染土样中重金属。实验表明,当 EDTA 的浓度较低时,SDS 抑制了 EDTA 对 Cd、Pb 的去除效果表现为拮抗作用;随着 EDTA 浓度增加,SDS 和 EDTA 去除重金属的能力表现为协同作用。

## 2 影响表面活性剂修复效果的因素

### 2.1 表面活性剂浓度是影响重金属去除效率的一个重要参数

A. S. Ramamurthy 等<sup>[12]</sup>认为临界胶束浓度(CMC)直接影响土壤重金属的流动性和去除效率,重金属的最佳去除浓度是在 CMC 附近或略高于 CMC。

### 2.2 pH 值的影响

Kyung - Jin Hong 等<sup>[13]</sup>实验表明,30 mM 的七叶皂甙溶液,在 pH 等于 7.8 时 Cd 的去除率 41%。在 pH 等于 2.8 时 Pb 的去除率 25%;pH 大于 7 范围内,pH 值不影响 Pb 的去除效果。

### 2.3 重金属赋存形态对去除效果影响

蒋煜峰等<sup>[14]</sup>试验表明,用生物表面活性剂皂角苷洗脱重金属不同形态,如,Cd、Zn、Pb 的可溶态、碳酸盐结合态、有机结合态的移除效率特别高,而氧化物结合态和残渣态去除率较低。

### 2.4 重金属的去除效果与土壤类型有关

Gadelle 等<sup>[15]</sup>研究发现阳离子表面活性剂通过阳离子交换能有效去除酸性土壤中的铀[U(VI)]。周小勇等<sup>[16]</sup>试验表明,用十二烷基苯磺酸钠(SDBS)、十六烷基三甲基溴化铵(CTAB)、聚乙二醇辛基苯基醚(TritonX-100)3 种表面活性剂对水稻土的重金属污染物 Zn、Pb 和 Cd 的去除效果都非常差。

## 3 存在的问题

表面活性剂在重金属污染土壤修复中存在的主要问题是:(1)表面活性剂被土壤吸附。袁平夫等<sup>[17]</sup>研

究表明,红壤和水稻土对表面活性剂的吸附量可达到4~8 g/kg,且吸附后不易解吸。(2)表面活性剂对土壤的破坏。表面活性剂在洗脱重金属的同时,可能会造成土壤营养元素的流失,pH的改变,影响土壤质量<sup>[18]</sup>。(3)表面活性剂的二次污染。一般表面活性剂都是有毒、不易降解,若在土壤或水体中不断积累必然对生态环境产生影响。(4)表面活性剂对重金属污染土壤的修复效果与表面活性剂种类及浓度、土壤pH值、土壤类型、土壤有机质含量、土壤中重金属种类和其他无机污染物的作用等因素有关<sup>[19]</sup>。此外对于现场的修复治理污染土壤要做现场调查;要经过实验室的小规模现场模拟试验等证明修复技术的可行性;因此,土壤修复是一个非常复杂的工程,将理论应用于实际还有许多问题亟待解决。

## 4 结 论

表面活性剂由于其特殊的结构、性质及性能,在修复污染土壤方面有很好的应用前景<sup>[20]</sup>。表面活性剂淋洗污染土壤时,必须考虑淋洗液可能造成的二次污染,因此要尽可能选择无毒(或低毒)、易降解、经济的表面活性剂以降低淋洗技术的风险。另外,选择表面活性剂可优先选择生物表面活性剂、阴离子表面活性剂和非离子表面活性剂。由于在自然条件下,土壤胶体一般带负电荷,阳离子表面活性剂通过离子交换被吸附在土壤胶体表面影响洗脱效果且毒性一般较大。对于复合污染的土壤,多种修复技术的联合使用可以说是现在土壤修复的研究趋势。

### 参考文献:

- [1] 陈立民,吴人坚,戴星翼. 环境学原理[M]. 北京:科学出版社,2003
- [2] 骨家祯. 重金属污染土壤的螯合诱导修复技术研究[D]. 重庆:重庆大学,2007
- [3] 胡随喜,巴雅尔,张建平,等. 表面活性剂对土壤中镉的吸附解析的研究[J]. 江苏环境科技,2007,20:4-61
- [4] CHEN Y C, XIONG Z T, DONG S Y. Chemical behavior of cadmium in purple soil as affected by surfactants and EDTA[J]. *Pedosphere*,2006,16(1):91-99
- [5] 王世荣,李祥高,刘东志. 表面活性剂化学[M]. 北京:化学工业出版社,2005
- [6] SHA A A, KIRITI V D. B ioremed ia ti on of multi - metal contaminated soil using biosurfactant-a novel approach[J]. *hIndian J Microbiol*,2008,48:142- 146
- [7] MULLIGAN C N, YONG R N, GIBBS B F. Surfactant-enhanced remediation of contaminated Soil: a review[J]. *Engineering Geology*,2001,60:371-380
- [8] 彭自然,王毓芳,徐伯兴. 螯合诱导植物修复被重金属污染土壤[J]. 上海化工,2001,17:20-27
- [9] 罗立新,孙铁. Cd和表面活性剂复合污染对小麦叶片若干生理形状的影响[J]. 应用生态学报,1998(9):95-100
- [10] 陈玉成,郭颖,魏沙平. 螯合剂与表面活性剂复合去除城市污泥中Cd、Cr[J]. 中国环境科学,2003,24(1):100-104
- [11] 蒋煜峰,展惠英,袁建梅,等. 表面活性剂强化EDTA络合洗脱污灌土壤中重金属的试验研究[J]. 农业环境科学学报,2006,25(1):119-123
- [12] RAMAMURTHY A S. Surfactant - Enhanced Removal of Cu ( II ) and Zn ( II ) from a Contaminated Sandy Soil[J]. *Water Air Soil Pollut*,2008,190:197- 207
- [13] KYUNG J H, YOUNG K C, SHUZO T. Toshio Kajiuchi I Removal of Cadmium[J]. *Lead from Detergents*,1998(2):247-250
- [14] 蒋煜峰,展惠英,张德懿,等. 皂角苷络合洗脱污灌土壤中重金属的研究[J]. 环境科学学报,2006,26(8):1315-1319

- [15] GADELLE F, WAN J, TOKUNAGA T K. Removal of uranium(VI) from contaminated sediments by surfactants[J]. *Journal of environmental quality*, 2001, 30:470-478
- [16] 周小勇, 仇荣亮, 胡鹏杰, 等. 表面活性剂对长柔毛委陵菜(*Potentilla griffithii* var. *velutina*)修复重金属污染的促进作用[J]. *生态学报*, 2009, 29(1):283-290
- [17] 袁平夫, 廖柏寒, 曾清如, 等. 运用两阶段吸附模型探讨 SDBS 的吸附—解吸过程及其机理[J]. *土壤学报*, 2005, 42(5):871-874
- [18] POLETTNI A, POMI R, CALCAGNOLI G. Assisted Washing for Heavy Metal and Metalloid Removal from Contaminated Dredged Materials[J]. *Water Air Soil Pollut*, 2009, 26:183-198
- [19] AMES W J, MICHAEL P, AMABLE P. Surfactant/alcohol mixture for insitu solubilization of complex LNAPL as a single-phase microemulsion. *Environ Sci Technol*, 1998, 32(4):523-530
- [20] 赵景联, 刘萍萍, 梁继东. 环境修复原理与技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006
- [21] 时进刚, 袁兴中, 曾光明, 等. 鼠李糖脂对沉积物中 Cd 和 Pb 的去除作用[J]. *环境化学*, 2005, 24(1):55-58
- [22] 鲁如坤. 土壤农业化学分析法[M]. 北京: 农业科技出版社, 1999
- [23] 周启星, 宋玉芳. 污染土壤修复原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2004

## Research on Application of Surfactants to the Remediation of the Soil Polluted by Heavy Metals

**CHEN Feng, FU Min, MA Wen-lin**

(School of Environment and Bioengineering, Chongqing Technology  
and Business University, Chongqing 400067, China)

**Abstract:** Application of surfactants to the remediation of the soil polluted by heavy metals has been proved to be a prospective soil remediation technology. Surfactant remediation technology and its influence factors, mainly including ion-type surfactant remediation, biological surfactant remediation and combined remediation and so on, in the remediation of the soil polluted by heavy metals are introduced, the research trend for present soil remediation on complexly polluted soil is on combined application of many remediation technologies, furthermore, the problems in soil remediation technologies are discussed.

**Key words:** surfactant; heavy-metal pollution; soil remediation

责任编辑: 田 静