

研究快报

化学淋洗和深层土壤固定联合技术 修复重金属污染土壤

Remediation of Heavy Metals Contaminated Soils by Combined Technology of Chemical Washing and Fixation in Deep Soil Layer

卫泽斌^{1,2}, 郭晓方^{1,2}, 吴启堂^{1,2}

(1.华南农业大学农业部生态农业重点开放实验室, 广州 510642; 2.华南农业大学资源环境学院, 广州 510642)

关键词: 化学淋洗; 深层固定; 重金属; 土壤修复

联合技术用于修复重金属污染土壤是土壤修复领域的研究热点, 本研究主要是利用化学试剂淋洗污染土壤, 在深层土壤添加固定剂, 固定从耕作层淋下来的重金属, 旨在形成一种原位修复重金属污染土壤的新方法。

本文通过盆栽试验, 利用混合试剂(MC)^[1-2]对污染土壤(取自广东省乐昌市某铅锌矿废水污染的水稻田, 每盆 5 kg 土壤)进行缓慢淋洗, 收集淋出液并混合, 记为污染淋出液 I, 然后将淋出液 I 经过不同固定剂处理的深层土壤, 并收集水样。40 d 后, 用蒸馏水对污染土壤继续进行淋洗, 收集淋出液并混合, 记为污染淋出液 II, 然后将淋出液 II 经过不同固定剂处理的深层土壤, 并收集水样。

不同固定剂处理的深层土壤, 由 5 kg 下层土壤和不同的固定剂组成。下层土壤取自华南农业大学校园内 20 cm 以下土壤, 为酸性赤红壤, 与乐昌污染稻田底土具有类似性质, 土壤置于塑料盆中, 底部有孔可供水流出。固定剂设置 4 个处理: ①对照, 不加固定剂; ②CaO: 加入 7.5 g CaO; ③FeCl₃: 加入 1 L pH=8 的 0.5 mg·L⁻¹ 的 FeCl₃; ④FeCl₃+CaO: 加入 7.5 g CaO 和 1 L pH=8 的 0.5 mg·L⁻¹ 的 FeCl₃, 每个处理 3 次重复。

结果与分析: 利用混合试剂对土壤进行淋洗能有

效去除土壤中的重金属, 一次淋洗可以去除土壤中 20.46 mg Zn、0.042 2 mg Cd 和 67.97 mg Pb。混合试剂淋洗土壤产生的淋出液 I 的 COD、Zn、Cd 和 Pb 的浓度分别为 2 093、10.02、0.014 7、25.20 mg·L⁻¹ (表 1), 经过不同固定剂处理的深层土壤后, COD 和重金属含量都明显降低(表 1)。淋出液 I 经过碱性 FeCl₃ 处理的深层土壤后, 淋出液污染物浓度为最低, COD、Zn、Cd、Pb 浓度分别是无固定剂处理的 37.7%、15.5%、44.6%、69.0%, 其中 Zn、Cd 浓度低于地下水质量Ⅲ类标准; 然而淋出液 I 经过 CaO 和 FeCl₃+CaO 处理的深层土壤后, 淋出液 COD、Zn、Cd、Pb 浓度均明显高于无固定剂处理。

不同固定剂处理的深层土壤对表层淋出液 I 中的污染物的去除率, 碱性 FeCl₃ 处理对 COD、Zn、Cd、Pb 的去除率分别达到 89.28%、96.99%、82.99%、78.09%, 去除效果最好。CaO 和 FeCl₃+CaO 处理的去除率相当, 均明显低于无固定剂处理的深层土壤。

第一次淋洗试验 40 d 后用蒸馏水淋洗污染土壤, 可以看作是模拟降雨, 水的下渗会对下层土壤固定的重金属产生淋洗作用, 检验其固定作用的稳定性。结果表明(表 2), 经过不同的固定剂处理的深层土壤后, 淋出液 Zn、Cd 浓度均低于固定前, 均低于地下水质量Ⅲ类标准。但是对于淋出液中的 Pb, 经过 CK、CaO 和 FeCl₃+CaO 固定剂处理土壤后的浓度高于固定前, 超过了地下水质量Ⅲ类标准, 即前期被固定的 Pb 又解吸了下来; 只有经过碱性 FeCl₃ 处理土壤后的淋出液 Pb 浓度低于固定前, 也低于地下水质量Ⅲ类标准(0.05 mg·kg⁻¹)。说明碱性 FeCl₃ 与底层土壤混合能有效固定土壤淋洗产生的淋出液中的重金

收稿日期: 2010-01-11

基金项目: 国家“863”项目(2008AA10Z405, 2007AA061001-3); 国家自然科学基金(40801115); 广东省科技计划项目(2009B0308 02016, 2007A032303001)

作者简介: 卫泽斌(1980—), 男, 讲师。E-mail: wezebin@scau.edu.cn

通讯作者: 吴启堂 E-mail: wuqitang@scau.edu.cn

表 1 不同固定剂处理的深层土壤对表层土壤第一次淋出液的固定效果

项目	COD	Zn	Cd	Pb
表层淋出液 I / $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	2 093	10.02	0.014 7	25.20
深层固定后 / $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$				
CK(无固定剂)	578±99 c	1.946±0.435 b	0.005 6±0.000 8 b	8.000±1.673 b
CaO	145 7±50 a	4.516±0.095 a	0.009 8±0.000 2 a	18.41±0.731 4 a
FeCl ₃ (碱性)	218±26 d	0.301 2±0.123 2 c	0.002 5±0.000 3 c	5.522±0.570 b
FeCl ₃ (碱性)+CaO	1 672±49 b	4.515±0.200 a	0.010 1±0.000 6 a	18.21±0.25 a
深层固定去除率/%				
CK(无固定剂)	71.61	80.58	62.13	68.26
CaO	28.53	54.92	33.56	26.96
FeCl ₃ (碱性)	89.28	96.99	82.99	78.09
FeCl ₃ (碱性)+CaO	18.00	54.94	31.29	27.75

注:表中带不同小写字母的平均值间在 $P<0.05$ 水平有显著差异;去除率(%)=(固定前重金属浓度-固定后重金属浓度)/固定前重金属浓度×100%。

表 2 不同固定剂处理的深层土壤对表层土壤蒸馏水淋出液 II 的固定效果

项目	Zn	Cd	Pb
表层淋出液 II / $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	0.473 1	0.002 5	0.035 6
深层固定后/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$			
CK(无固定剂)	0.268 1±0.045 7 ab	0.001 9±0.000 2 ab	0.237 5 ±0.055 1 ab
CaO	0.285 0±0.033 7 a	0.002 4±0.000 1 a	0.571 7±0.134 5 a
FeCl ₃ (碱性)	0.183 7±0.018 7 bc	0.001 5±0.000 3 b	0.026 7±0.008 9 b
FeCl ₃ (碱性)+CaO	0.101 4±0.004 9 c	0.001 5±0.000 2 b	0.231 5±0.050 2 ab

注:表中带不同小写字母的平均值间在 $P<0.05$ 水平有显著差异。

属,且不易被后期过水(如降雨)淋洗出来。

结论: 用混合试剂对耕作层污染土壤进行淋洗,能够清除土壤中的重金属,从而降低耕作层土壤重金属;淋出的重金属可以被碱性 FeCl₃ 处理的深层土壤固定,固定的重金属很少被后期的降水等再淋洗出来,能很好地控制对地下水环境风险,从而实现重金属污染土壤的修复和安全利用。因此,化学淋洗和深层固定联合技术可能是一种新的、有效的重金属污染土壤高效低成本修复途径。

参考文献:

[1] Wu Qi-tang, Wei Ze-bin, Ouyang Y. Phytoextraction of metal-contaminated soil by hyperaccumulator sedum alfredii H: effects of chelator and co-planting[J]. *Water, Air and Soil Pollution*, 2007,180:131-139.

[2] Guo Zu-mei, Wei Ze-bin, Wu Qi-tang, et al. Chelator-enhanced phytoextraction coupling with soil washing to remediate multiple-metals-contaminated soils[J]. *Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management*, 2008,12(3):210-215.