

改良剂对红蛋植物修复污染土壤重金属铅和镉效果的影响

李磊¹, 陈宏¹, 潘家星¹, 张超兰^{2*}, 顾明华¹, 何冰¹

1. 广西大学农学院, 广西 南宁 530005; 2. 广西大学环境学院, 广西 南宁 530005

摘要: 通过盆栽试验研究了在重度重金属混合污染土壤上, 施用不同配比的石灰和泥炭 (T1, 泥炭0 g·kg⁻¹土, 石灰2 g·kg⁻¹土; T2, 泥炭30 g·kg⁻¹土, 石灰0 g·kg⁻¹土; T3, 泥炭50 g·kg⁻¹土, 石灰0g·kg⁻¹土; T4, 泥炭30 g·kg⁻¹土, 石灰2g·kg⁻¹土; T5, 泥炭50 g·kg⁻¹土, 石灰2g·kg⁻¹土) 对红蛋(*Echinodorus osiris*)生长及其去除污染土壤铅、镉量的影响, 探讨了化学修复和植物提取修复技术相结合修复重金属污染土壤的可能性。研究表明, 施用石灰显著提高了土壤pH, 施用泥炭不显著; 施用石灰和泥炭后土壤中交换态铅、镉含量较CK显著降低, 红蛋地上部和地下部铅、镉含量较CK有不同程度降低, T4、T5处理降低不显著; T3、T4、T5处理显著地提高了红蛋的铅单株迁移量和年迁移量, 年迁移量分别为CK的2.1倍、2.6倍和2.8倍; T1、T2、T3、T4、T5处理显著地提高了红蛋的镉单株迁移量和年迁移量, 年迁移量分别为CK的1.8倍、2.9倍、2.9倍、2.8倍和2.9倍, 其主要原因在于施用土壤改良剂改善了红蛋的生长, 显著增加了地上部生物量。结合经济效益方面因素考虑, 以施用泥炭30g·kg⁻¹土和石灰2g·kg⁻¹土的处理更适合推广运用。

关键词: 石灰; 泥炭; 植物修复

中图分类号: X53

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2010) 04-0822-04

由于矿石开采、污水灌溉、施肥等原因^[1], 矿区周边农田土壤遭受多种重金属元素复合污染。土壤遭受重金属污染后, 不仅降低土壤肥力、作物的产量与品质, 严重时甚至导致田地绝产。如何修复重金属污染土壤是目前面临的一大难题。植物提取技术是一种环境友好的重金属污染土壤原位修复技术^[2], 而超富集植物是植物提取技术的基础。但是现已发现的铅、镉超富集植物种类较少, 且大多生长慢、地上部生物量小、地域性较强, 加之对其农艺性状、病虫害防治、育种潜力以及生理学特性等方面的研究不充分, 使得这些植物在实际应用中受到了限制^[3]。在自然环境中存在一些对重金属耐性较强的植物, 虽然其体内重金属含量达不到超积累植物的标准^[4], 但其重金属迁移总量仍较可观, 这些植物对重金属污染地的修复作用不可忽视。红蛋(*Echinodorus osiris*)是一种生长在热带地区的泽泻科纤维植物, 也是一类多年生、湿生的草本植物, 它对重金属镉具有较强的耐性和累积特性^[5], 由于红蛋的生物量大、生长周期长, 因而其在重金属污染土壤修复应用中具有一定的优势。施用石灰、泥炭等土壤改良剂是化学修复重金属污染土壤的重要措施之一。但是, 施用改良剂对红蛋修复铅、镉污染土壤的效果的影响方面的研究尚未见有报道。本研究探讨了施加土壤改良剂对红蛋的铅、镉的忍耐力及其去除土壤铅、镉能力的影响。

1 试验材料和方法

1.1 试验材料

供试植物: 红蛋(*Echinodorus osiris*)。

供试土壤: 采自广西某受污染水田, 采样深度为0~20 cm, 土壤样品经室温风干后过2 mm筛备用。土壤pH为5.67, 有机质质量分数为40.09 g·kg⁻¹, 镉质量分数为78.85 mg·kg⁻¹, 铅质量分数为3 345.46 mg·kg⁻¹, 泥炭中有机碳质量分数为467.5g·kg⁻¹。

1.2 盆栽试验

共设6个处理(见表1), 每个处理重复3次。将供试土壤装入高30 cm, 直径30 cm的塑料花盆中, 每盆装土3 kg。每盆施加等量氮、磷、钾作肥底。其中N用量为0.150 g·kg⁻¹, P₂O₅用量为0.075 g·kg⁻¹, K₂O为0.150 g·kg⁻¹。混合均匀, 浇水平衡一周后, 按照表1分别施加石灰、泥炭, 混合均匀, 浇水平衡一周后, 移栽红蛋, 每盆1株。生长3个月后收

表1 盆栽试验设计
Table 1 The design of pot experiments

处理	w(泥炭)/(g·kg ⁻¹)	w(石灰)/(g·kg ⁻¹)
CK	0	0
T1	0	2
T2	30	0
T3	50	0
T4	30	2
T5	50	2

基金项目: 国家863计划重点项目(2007AA061001); 广西南宁市科技局项目(2007011545C); 广西教育厅科研项目(200911MS13)

作者简介: 李磊(1983年生), 男, 硕士研究生, 研究方向为植物营养与环境生态。E-mail: lilei6201@163.com

***通讯作者:** 张超兰, E-mail: zhangcl@gxu.edu.cn

收稿日期: 2010-02-04

获植株,采集土壤样品。分析土壤 pH 值、交换态铅、镉含量,植株地上部、地下部生物量和铅、镉含量,并计算土壤铅、镉的去除量。

1.3 测定方法

土壤 pH 值(水土比 2.5:1)采用酸度计测定^[6]¹²⁻²⁰;土壤交换态铅、镉采用 0.1 mol·L⁻¹ CaCl₂ 中性盐溶液提取——AAS 法测定^[7-8];植株铅、镉含量采用微波消解——AAS 法测定^[6]。

1.4 数据处理

数据运算采用 Excel2003, 统计分析采用 SPSS13.0 中单因素方差分析法(ANOVA), 用新复极差法进行多重比较, 在图中有相同字母数据间无显著差异, 无相同字母数据间有显著差异($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 添加改良剂对土壤 pH 值和交换态铅、镉的影响

2.1.1 添加改良剂对土壤 pH 值的影响

由图1可以看出,无论是单施石灰还是石灰和泥炭配施都提高了土壤的 pH 值,而单施泥炭对土壤 pH 值的影响不大。

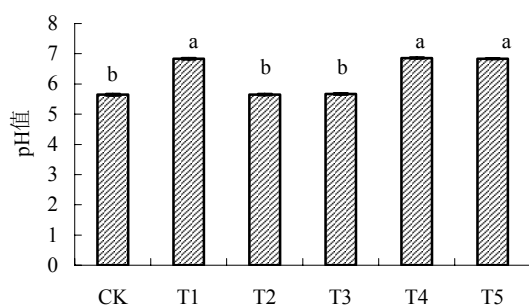
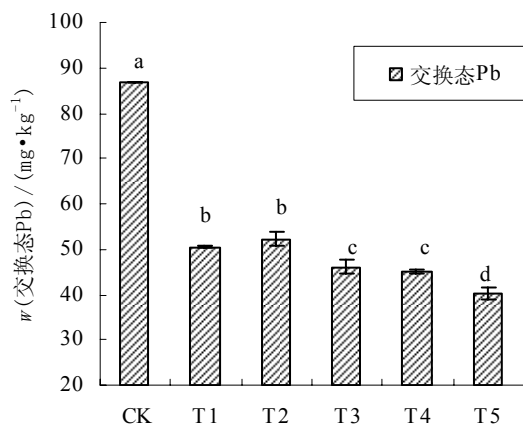


图1 不同处理对土壤 pH 的影响
Fig.1 Effect of different treatment on soil pH



2.1.2 添加改良剂对土壤交换态铅、镉的影响

从图2可以看出,单独添加石灰或者石灰和泥炭混合施用都显著降低了土壤中交换态铅、镉含量,石灰和泥炭配合施用对土壤中交换态铅、镉含量降低的效果较石灰、泥炭单独施用的效果明显,并且随着泥炭施用量的增加交换态铅、镉降低量也增加。这是由于施用石灰提高了土壤的 pH 值,导致部分水溶和交换态铅、镉转化为其它较稳定的形态^[9-10];泥炭比表面积大,富含胡敏酸,使铅、镉从可交换态转变为锰氧化物结合态和有机结合态^[11-12]。

2.2 添加改良剂对红蛋生物量及其富集铅、镉的影响

2.2.1 添加改良剂对红蛋生物量的影响

红蛋在未加改良剂的土壤上虽然可以成活,但是生物量不大(表2)。两种改良剂单独施用或配施都显著地增加了红蛋地上部生物量,也不同程度的促进了红蛋地下部的生长。原因在于添加改良剂石灰和泥炭后,土壤中交换性等生物有效态铅、镉含量降低,减少了对红蛋的胁迫。此外,石灰对土壤酸度的调节,泥炭含有较高的有机质,也为红蛋生长提供了良好的条件,从而促进了红蛋的生长。

2.2.2 添加改良剂对红蛋富集铅、镉的影响

从表3可以看出,在各个处理中红蛋地上部、地下部均累积较多的铅、镉。添加土壤改良剂都不同程度地降低了红蛋地上部和地下部铅、镉含量,其中单独添加石灰和泥炭处理的显著低于对照。这是由于添加改良剂改变了土壤中铅、镉的形态,结合态铅、镉含量增加,交换态铅、镉含量降低,减缓了铅、镉毒害的胁迫,红蛋生物量显著增加,从而降低了红蛋地上部和地下部铅、镉的含量。而T4和T5处理红蛋的铅、镉含量降低不明显,其原因可

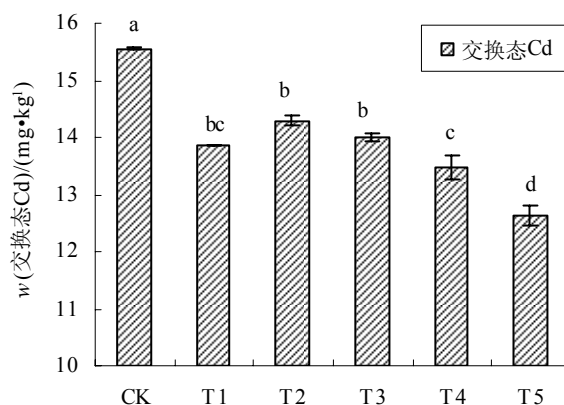


图2 不同处理对土壤铅、镉交换态的影响
Fig.2 Effect of different treatment on extractable Pb and Cd in soil

表2 不同处理对红蛋生物量的影响

Table 2 Effect of different treatments on biomass of *Echinodorus osiris*

处理	地上部干质量/(g·株 ⁻¹)	地下部干质量/(g·株 ⁻¹)
CK	5.32±0.41d	3.65±0.33b
T1	11.79±0.42c	4.73±0.46ab
T2	15.91±0.35b	4.65±0.47ab
T3	15.81±0.15a	4.76±0.47ab
T4	14.89±1.00a	4.75±0.30b
T5	15.18±1.04a	5.93±0.30a

注：表中同列数据后小写英文字母不同者表示差异显著($P<0.05$)；下同。

表3 红蛋地上部、地下部铅、镉含量

Table 3 Content of Pb and Cd in *Echinodorus osiris*

处理	w(地上部)/(mg·kg ⁻¹)		w(地下部)/(mg·kg ⁻¹)	
	铅	镉	铅	镉
CK	147.3±4.1a	172.12±0.3ab	193.0±16.6a	175.4±0.3a
T1	97.6±4.1b	139.45±1.5d	114.2±4.0b	131.2±1.1d
T2	68.7±8.2c	167.22±0.0c	106.1±12.5b	137.2±1.0c
T3	101.1±8.0b	169.93±0.9b	105.9±12.5b	133.4±1.0d
T4	135.2±0.0a	173.11±0.3a	180.7±12.4a	172.1±0.6a
T5	138.8±12.6a	174.26±0.7a	189.3±12.5a	168.5±0.4a

能是由于同时添加石灰和泥炭更大地减缓了土壤铅和镉对红蛋的胁迫，以及与红蛋对重金属镉具有较强的耐性和累积特性^[7]有关。

2.3 添加改良剂对红蛋修复铅、镉污染土壤的影响

重金属迁移量是用以评价植物修复重金属污染土壤潜力的指标之一^[14]。按红蛋每年种植3季，每季种植3个月，每1hm²种植160 000株计算，得到红蛋重金属年迁移量（表4）。由表4看出，添加土壤改良剂显著地提高了红蛋对镉的单株迁移量和年迁移量，T3、T4、T5处理红蛋地上部对铅的单株迁移量和年迁移量也显著高于CK。添加改良剂提高红蛋对土壤铅、镉的迁移量的主要原因在于生物量的增加。

T5的红蛋地上部1年从土壤中移走1.02 kg的铅和1.27 kg的镉，但与T4（铅0.97 kg、镉1.24 kg）差异不显著，而T5较T4多添加20 g·kg⁻¹的泥炭，故从

表4 添加改良剂对红蛋修复铅、镉污染土壤的影响

Table 4 Effect of Amendments on Phytoremediation of *Echinodorus Osiris* on the soil contaminated by Pb and Cd

处理	铅单株地上部 迁移量/mg	铅年迁移量/ (kg·hm ⁻²)	镉单株地上部 迁移量/mg	镉年迁移量/ (kg·hm ⁻²)
CK	0.78±0.04c	0.37±0.03c	0.91±0.07c	0.44±0.05c
T1	1.15±0.15c	0.55±0.00c	1.64±0.04b	0.79±0.03b
T2	1.10±0.15c	0.53±0.10c	2.66±0.06a	1.28±0.04a
T3	1.60±0.11b	0.77±0.08b	2.69±0.01a	1.29±0.01a
T4	2.01±0.14a	0.97±0.09a	2.58±0.17a	1.24±0.01a
T5	2.12±0.34a	1.02±0.23a	2.64±0.17a	1.27±0.12a

注：年迁移量=红蛋地上部铅、镉含量(mg·kg⁻¹)×红蛋生长量(g)×160 000(株)×3^[13]

去除效果和经济的角度，T4处理石灰与泥炭的施用量更适合实际。

3 结论

（1）本研究结果表明，红蛋直接种植在铅、镉重度污染的土壤中，生长受到抑制，主要影响红蛋新生叶片的数量和根系。加入改良剂石灰、泥炭后，土壤中交换态铅、镉含量显著降低，植物受铅、镉胁迫程度降低，地上部生物量显著增加。

（2）在重污染土壤中添加石灰和泥炭显著地提高了红蛋的铅、镉单株迁移量、年迁移量。从修复效果和经济的角度出发，施加石灰2 g·kg⁻¹与泥炭30 g·kg⁻¹更适合推广运用。

参考文献：

[1] 高志岭,刘建玲,廖文华. 磷肥施用与镉污染的研究现状与防治对策[J]. 河北农业大学学报, 2001,24(3):91-94.
GAO Zhiling, LIU Jianling, LIAO Wenhua. Situation of cadmium pollution caused by application of phosphate fertilizer and the countermeasure of prevention and control of cadmium[J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2001, 24(3):91-94.

[2] U Kramer. Phytoremediation: novel approaches to cleaning up polluted soils[J]. Current Opinion in Biotechnology, 2005,16:133-141.

[3] AD Vassil, Y Kapulnik, I Raskin, et al. The role of EDTA in Pb transport and accumulation by Indian mustard[J]. Plant Physiology, 1998, 117: 447-453.

[4] 王庆仁,崔岩山,董艺婷. 植物修复重金属污染土壤整治有效途径[J]. 生态学报, 2001,21(1):326-327.
WANG Qingren, CUI Yanshan, DONG Yiting. Phytoremediation—An effective approach of heavy metal cleanup from contaminated soil[J]. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(1):326-327.

[5] 张超兰,陈文慧,韦必帽,等. 几种湿地植物对重金属镉胁迫的生理生化响应[J]. 生态环境, 2008,17(4):1458-1461.
Zhang Chaolan, Chen Wenhui, Wei Bimao, et al. Response of physiology and biochemistry of plants in wetland to heavy metal cadmium stress[J]. Ecology and Environment, 2008, 17(4):1458-1461.

[6] 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, 1999:12-20.
Lu Rukun. Soil Agricultural Chemistry Analysis [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1999:12-20.

[7] 李亮亮,张大庚,李天来,等. 土壤有效态重金属提取剂选择的研究[J]. 土壤, 2008,40(5):819-823.
LI Liangliang, ZHANG Dageng, LI Tianlai, et al. On Relation Between Heavy Metal Available Contents of Soil Determined by Different Extractants and of Maize Organs[J]. Soil, 2008, 40(5):819-823.

[8] 肖振林,王果,黄瑞卿,等. 酸性土壤中有态镉提取方法研究[J]. 农业环境科学学报, 2008,27(2):795-800.
XIAO Zhenlin, WANG Guo, HUANG Ruiqing, et al. Extraction Method for Available Cadmium in Acid Soils[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2008, 27(2):795-800.

[9] Sally B, Chancy R, Judith H, et al. In situ soil treatment to reduce the phyto- and bioavailability of lead, zinc, and cadmium[J]. Journal of Environmental Quality, 2004,33:522-531.

- [10] 陈晓婷,王果,方玲,等. 石灰泥炭对镉铅锌污染土壤上小白菜生长和元素吸收的影响[J]. 土壤与环境, 2001,11(1):17-21.
CHEN Xiaoting, WANG Guo, FANG Ling, et al. Effects of lime and peat on the growth and element uptake of *Brassica chinensis* in Cd, Pb, and Zn contaminated soil[J]. Soil and Environmental Sciences, 2001, 11(1):17-21.
- [11] 范文宏,陈俊,王琼. 胡敏酸对沉积物中重金属形态分布的影响[J]. 环境化学, 2007, 26(2). 101-104.
FAN Wenhong, CHEN Jun, WANG Qiong. INFLUENCE OF HUMIC ACID ON SPECIES OF HEAVY METALS IN SEDIMENTS[J]. Environmental Chemistry, 2007, 26(2). 101-104.
- [12] 苏天明,李杨瑞,江泽普,等. 泥炭对菜心-土壤系统中重金属生物有效性的效应研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2008,14(2):339-344.
SU Tianming, LI Yangrui, JIANG Zepu, et al. Effect of peat on heavy metal bioavailability in soil system and flowering Chinese cabbage[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2008, 14(2):339-344.
- [13] 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.
LI Fuyan, LI Shiping, LI Xuming, et al. Study of soil remediation of sisal and lime on Cd-contaminated soil[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2007, 9:46-48.
- [14] Monni S M, Salemaa M, Copper resistance of *Calluna vulgaris* originating from the pollution gradient of a Cu-Ni smelter in southwest Finland[J]. Environmental pollution, 2000, 109:211-213.

Effect of amendments on phytoremediation of *Echinodorus Osiris* in the soil contaminated by cadmium and lead

LI lei¹, CHEN Hong¹, PAN Jiaying¹, ZHANG Chaolan², GU Minghua¹, HE Bing¹

1. College of Agronomy, Guangxi University, Nanning 530005, China; 2. College of environment, Guangxi University, Nanning 530005, China

Abstract: In order to investigate the effect of applications of lime and peat on *Echinodorus Osiris* growth and removal of Pb and Cd in contaminated soil, 5 treatments of different proportions of lime and peat (T1: 0 g·kg⁻¹ peat and 2 g·kg⁻¹ lime; T2: 30 g·kg⁻¹ peat and 0 g·kg⁻¹ lime; T3: 50 g·kg⁻¹ peat and 0 g·kg⁻¹ lime; T4: 30 g·kg⁻¹ peat and 2 g·kg⁻¹ lime; T5: 50 g·kg⁻¹ peat and 2 g·kg⁻¹ lime) were designed in this pot experiment. The results showed that T1 significantly increased soil pH, but T2 didn't, T3 decreased exchangeable Pb and Cd in soil significantly, and decreased the contents of Pb and Cd in *Echinodorus Osiris* shoot and root, but T4, T5 did not significantly; T3, T4 and T5 significantly increased the Pb translocation of single *Echinodorus Osiris* plant and annual total Pb translocation. Pb annual total translocation of T3, T4, and T5 was 2.1, 2.6. and 2.8 times as much of CK respectively. All treatments significantly increased the Cd translocation of single plant and annual total Cd translocation. Cd annual total translocation of T1, T2, T3, T4 and T5 was 1.8, 2.9, 2.9, 2.8 and 2.9 times as much of CK respectively, that was due to the increase of aboveground biomass of *Echinodorus Osiris* by application of lime and peat. Based on an overall consideration of economic factors, the treatment of combine 30 g·kg⁻¹ peat with 2 g·kg⁻¹ lime is the best selection for phytoremediation of *Echinodorus Osiris* in Pb and Cd contaminated soil.

Key words: lime; peat; phytoremediation