

# EDTA 对白茅和蔗草吸收土壤重金属的影响

施晓东<sup>1,2</sup>, 常学秀, 彭丽, 赵常友, 刘潮

(1. 曲靖师范学院生物资源与环境科学学院, 云南曲靖655011; 2. 云南大学生命科学学院, 云南昆明650091)

**摘要** [目的] 探索采用生物与化学相结合对重金属污染土壤进行人工修复的最佳方法。[方法] 以污染区采集的白茅和蔗草种子为试材, 采用温室盆栽法研究在不同浓度梯度的EDTA(1、3、5、10、15 mmol/L) 调控下白茅和蔗草对土壤中Cd、Zn、Pb 积累的影响。[结果] 调控剂EDTA 不同程度地增加了白茅和蔗草对土壤重金属的吸收, 提高了植物对污染土壤的净化率。不同植物对不同土壤重金属污染元素的净化需要不同EDTA 浓度调控。采用3 mmol/L EDTA 调控时白茅对土壤Cd、Zn 污染的净化率最高, 分别为0.226% 和0.305%; 15 mmol/L EDTA 调控时对土壤Pb 污染的净化率最高(0.047%)。采用10 mmol/L EDTA 调控时蔗草对Zn 和Pb 净化率最大, 分别为0.305% 和0.042%; 15 mmol/L EDTA 调控时对Cd 净化率最大(0.211%)。[结论] 修复土壤Cd、Zn、Pb 污染的最佳方法是蔗草+10 mmol/L EDTA。

**关键词** 白茅; 蔗草; EDTA; 重金属污染; 土壤净化率

中图分类号 X173 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2008)27-11995-02

Effect of EDTA on Absorption of *Imperata cylindrica* L. and *Scirpus triquetter* L. on Heavy Metal in Soil

SHI Xiao-dong et al. (College of Biological Resources and Environmental Science, Qijing Normal University, Qijing, Yunnan 655011)

**Abstract** [Objective] The study aimed to explore the optimum method of combining biology and chemistry to artificially repair the soil polluted by heavy metal. [Method] In the pot test in greenhouse, with the *Imperata cylindrica* and *Scirpus triquetter* seeds selected in polluted area as tested materials, the effect of *I. cylindrica* and *S. triquetter* under regulation of EDTA with different concn. (1, 3, 5, 10, 15 mmol/L) on the accumulation of Cd, Zn, and Pb in soil. [Result] The regulation agent EDTA increased the absorption of *I. cylindrica* and *S. triquetter* on heavy metal in soil to different degree and enhanced the purification rate of plant on polluted soil. The purification of different polluted heavy metal element in soil by different plant needed regulation of EDTA with different concn. With the regulation of EDTA at 3 mmol/L, *I. cylindrica* had highest purification rate (0.226% and 0.305%, resp.) on the pollution of Cd, Zn in soil and with EDTA at 15 mmol/L, *I. cylindrica* had highest purification rate (0.047%) on the pollution of Pb in soil. With the regulation of EDTA at 10 mmol/L, *S. triquetter* had highest purification rate (0.305% and 0.042% resp.) on the pollution of Zn and Pb and with EDTA at 15 mmol/L, *S. triquetter* had highest purification rate (0.211%) on the pollution of Cd in soil. [Conclusion] The best method of restoring soil polluted by Cd, Zn and Pb was *S. triquetter* plus EDTA at 10 mmol/L.

**Key words** *Imperata cylindrica*; *Scirpus triquetter*; EDTA; Heavy metal; Soil purifying rate

土壤重金属污染对生态系统的结构和功能以及人类健康、发展都构成直接的威胁<sup>[1]</sup>。重金属污染土壤治理常规方法多采用物理或化学法, 不仅治理费用昂贵, 难以大规模改良, 而且常常导致土壤结构破坏、土壤生物活性下降和土壤肥力退化<sup>[1]</sup>。植物提取修复是一项新兴的、绿色的、环境友好和廉价的污染治理方法, 尤其符合人类可持续发展的最终目标<sup>[2]</sup>。但所用超积累植物通常生长缓慢, 植株矮小, 地上部分生物量小, 修复重金属污染土地需时太长, 这是目前限制超积累植物大规模应用于植物修复的主要原因<sup>[3]</sup>。研究表明, 通过人工强化措施可增强一些植物对重金属的积累量, 从而提高植物修复效果<sup>[4-12]</sup>。笔者采用不同浓度的EDTA 对白茅和蔗草积累重金属的调控进行研究, 目的是为重金属污染土壤的人工修复探索生物与化学相结合的新方法。

## 1 材料与方

**1.1 材料** 云南会泽铅锌矿具有70 多年的开采与冶炼历史, 冶炼矿渣堆放在厂西北角距厂200 m 形成小山, 称为黑沙山。野生白茅(*Imperata cylindrica* L.) 和蔗草(*Scirpus triquetter* L.) 是厂区附近的两个共优种。种子成熟期, 在黑沙山附近均匀布置采样点, 取6 个样地, 每个样地取6 个50 cm × 50 cm 样方, 采集0~15 cm 污染土壤并充分混合均匀。4 分法将65 kg 土样带回实验室。随机采取少量污染土壤进行常规理化分析, 大量土壤过2 mm 筛后用于温室盆栽调控试验。采集污染区白茅和蔗草种子, 用于盆栽调控试验。采集污染区白

茅和蔗草地上部分, 用于材料分析试验。调控剂为人工合成的螯合剂EDTA(分析纯)。

**1.2 试验设计** 将污染土样风干, 过2 mm 筛。取20 cm × 15 cm 的塑料花盆, 分别装入上述土壤2 kg 待用; 白茅和蔗草种子用0.5% 高锰酸钾溶液分别浸种1 h 后冲洗, 浸种8 h, 在培养箱(25 ± 1) °C 暗培养, 待种子萌发露白后, 选择生长均匀植株, 白茅每盆15 株, 蔗草每盆20 株均匀种植在昆明植物园温室大棚塑料花盆中。花盆底部用塑料碟防止水分渗漏。植株生长7 d 后, 浇不同浓度的EDTA 溶液, EDTA 浓度分别为1、3、5、10、15 mmol/L, 平均每次100 ml 左右, 10 次共1 000 ml。每个梯度3 个平行。同时作空白对照。种植3 个月, 用剪刀从植株根部剪取植物地上部分称重即为鲜重; 植物在烘箱中80 °C 干燥24 h, 称得干重。粉碎待测Cd、Zn、Pb 含量。

## 1.3 样品测定方法

(1) 土壤pH 值采用电位法测定, 速效N 采用扩散法测定<sup>[5]</sup>; 土壤全N 采用半微量凯氏定N 法测定; 土壤速效P 采用双酸浸提钼锑抗比色法测定; 土壤全P 采用硫酸-高氯酸溶解钼锑比色法测定; 土壤有机质采用重铬酸钾氧化-外加热法测定; 土壤含水量采用烘干法测定<sup>[13]</sup>; 土壤重金属Cd、Zn、Pb 总态、有效态含量和植物地上部分Cd、Zn、Pb 含量用原子吸收法测定。

(2) 净化率即植物对重金属污染土壤的修复效率。净化率与植物富集的重金属量(萃取量)、植物单位干重积累的重金属量(mg/kg)、样品测定重金属浓度之间的关系如下: 净化率 = 植物富集重金属量(mg) / 土壤重金属有效态(mg) × 100%; 植物富集重金属量(mg) = 植物单位干重积累的重金属量(mg/kg) × 植物干重(kg); 植物单位干重积累的重金属

**基金项目** 云南省教育厅科学研究基金项目(06Y133B); 曲靖师范学院研究基金项目(0513906)。

**作者简介** 施晓东(1965-), 男, 云南曲靖人, 硕士, 副教授, 从事污染生态学研究。

**收稿日期** 2008-09-01

量 (mg/kg) = 样品测定重金属浓度 (mg/L) × 定容体积 (L) / 用于测定的植物样品重 (kg) ; 净化倍率 = 植物在某 EDTA 浓度下对某元素的净化率 / 该植物在自然条件下的净化率。

1.4 数据处理方法 试验数据用 SPSS 统计与作图。

2 结果与分析

2.1 土壤样品理化性质测定结果 土壤 pH 值  $5.85 \pm 0.28$ ,

属酸性土; 土壤含水量  $24.52 \pm 2.01$  % ; 有机质含量  $(25.4 \pm 3.2)$  g/kg ; 土壤 Cd、Zn、Pb、N、P 含量测定结果见表 1。

参照国家土壤环境质量标准<sup>[7]</sup>, 对照表 1 可见, 试验土壤的 Cd、Zn、Pb 严重超过国家三级标准, 为 Cd、Zn、Pb 严重污染土壤。

2.2 植物样品 Cd、Zn、Pb 含量测定结果 由表 2 可见, 白茅

表 1 土壤全态、有效态 Cd、Zn、Pb、N、P 含量测定结果

Table 1 The determination results of total and available Cd, Zn, Pb, N and P in soil

项目 Item	Cd	Zn	Pb	N	P
全态 Total state	4.28 ± 1.18	3 773.11 ± 111.86	2 173.89 ± 77.49	1 025 ± 196	568.0 ± 91.0
有效态 Available state	25.47 ± 1.64	2 669.81 ± 175.97	1 157.58 ± 87.25	568 ± 31	46.7 ± 1.9

和蘆草对 Cd、Zn、Pb 都有积累, 但是积累量存在差异。白茅对 Cd 的积累大于蘆草; 蘆草对 Zn、Pb 的积累大于白茅。

表 2 植物样品 Cd、Zn、Pb 含量

Table 2 The content of Cd, Zn and Pb in plant samples

植物 Plants	Cd	Zn	Pb
白茅	22.350 ± 0.654	2 617.694 ± 18.503	26.717 ± 1.815
<i>I. cylindrica</i>			
蘆草	8.210 ± 1.575	4 871.165 ± 146.790	39.223 ± 5.985
<i>S. triquetra</i>			

2.3 不同浓度 EDTA 处理试验结果

2.3.1 不同浓度 EDTA 对 Cd、Zn、Pb 在植物中积累的影响。

由图 1 ~ 3 可见, 低浓度的 EDTA (0 ~ 3 mmol/L) 可促进白茅对 Cd、Zn 的积累, 达极显著相关水平 (r 分别为  $0.886^{**}$ 、 $0.812^{**}$ ) ; 随着浓度的提高, 白茅积累的 Cd、Zn 减少, 达到极显著相关水平 (r 分别为  $-0.609^{**}$ 、 $-0.840^{**}$ )。而白茅对 Pb 的积累则随着 EDTA 浓度的增加而增加 (r 为  $0.921^{**}$ )。

蘆草对 Cd、Zn、Pb 的积累随着 EDTA 浓度的增加而增加, 达到极显著相关 (r 分别为  $0.961^{**}$ 、 $0.962^{**}$ 、 $0.967^{**}$ )。

从图 1 ~ 3 还可看出, 白茅对 Cd、Zn 的积累与对 Pb 的积累存在很大的差异; 而蘆草则没有差异。在中高浓度的 EDTA 调控下, 蘆草对 Cd、Zn、Pb 的积累比白茅高。

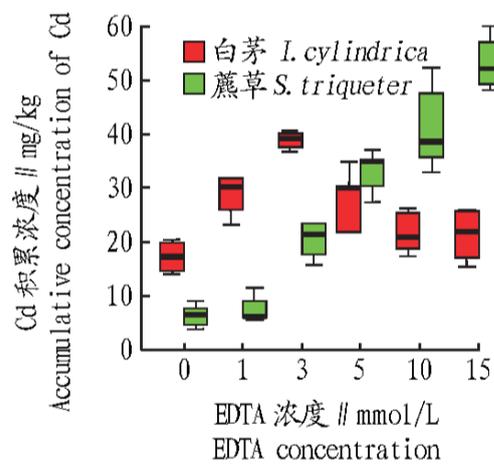


图 1 不同浓度 EDTA 处理植物对 Cd 的积累

Fig. 1 The accumulation of Cd in plants under EDTA treatment at different concentrations

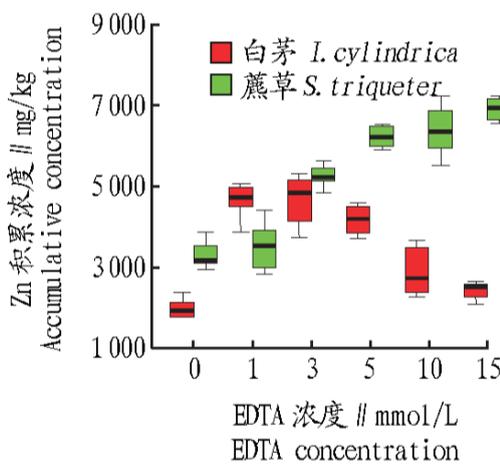


图 2 不同浓度 EDTA 处理植物对 Zn 的积累

Fig. 2 The accumulation of Zn in plants under EDTA treatment at different concentrations

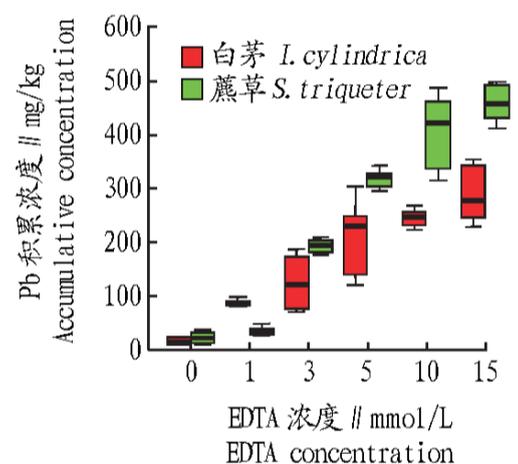


图 3 不同浓度 EDTA 处理植物对 Pb 的积累

Fig. 3 The accumulation of Pb in plants under EDTA treatment at different concentrations

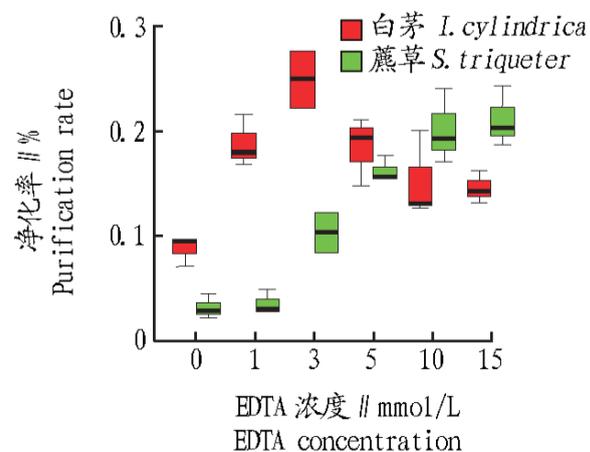


图 4 不同浓度 EDTA 处理植物对 Cd 的净化率

Fig. 4 Purification rate of plants under EDTA treatment at different concentrations to Cd

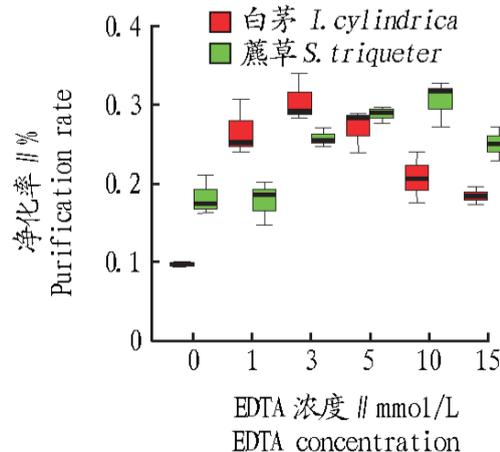


图 5 不同浓度 EDTA 处理植物对 Zn 的净化率

Fig. 5 Purification rate of plants under EDTA treatment at different concentrations to Zn

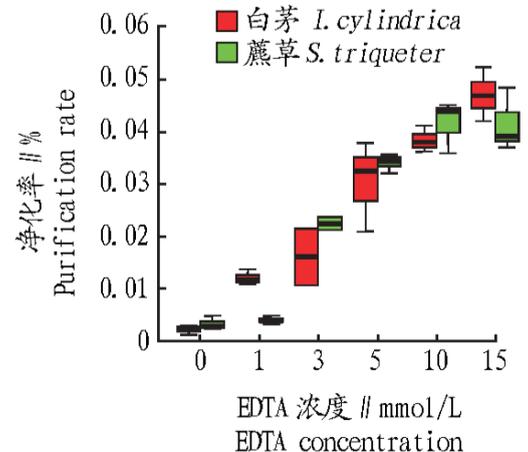


图 6 不同浓度 EDTA 处理植物对 Pb 的净化率

Fig. 6 Purification rate of plants under EDTA treatment at different concentrations to Pb

花、玉米、烟草和甜菜是耗竭土地的作物,应当限制耕种并采取销售限制,促使农户减少耕种作物的产量。这一法规对促进土壤保护发挥了一定的作用,后来1938年《农业调整法》将这一做法吸收,以立法的形式确立了美国农业环境保护的基本政策。

新政时期的农业立法为美国农业经济度过危机提供了有效的制度保障,农业净收入从1932年的192 800 万美元增为1935年的460 500 万美元;农产品价格与农民购买工业品所付价格之比,以1909~1914年平价期的比例为100,从1932年的58增加为1935年的88<sup>[6]</sup>。农业抵押贷款开始下降,从1930年的963 077 万美元降为1935年758 446 万美元。农业价格总体上有回升趋势,农民收入增多,农业又恢复活力。

新政时期农业立法从最初的应急性立法向确立有长远意义的农业经济制度立法转变,从最初的不成熟、不完善逐

步成熟、完善,并通过1938年《农业调整法》确立了美国农业立法上具有开创意义的价格支持、补贴,常平仓和农作物保险制度。新政时期的农业立法是美国农业立法史上的一个转折点,它开启了政府干预农业经济的先河,使得农业成为受保护和扶持的产业。它所规定的制度为后世农业立法创造了先例,确立了美国当代农业立法的基本模式。

#### 参考文献

- [1] WILLIAME LEUCHTENBURG, FRANKLIN D. Roosevelt and the new deal, 1932 - 1940[M]. New York: Harper & Row Publisher, 1963: 24.
- [2] 纳尔逊·曼弗雷德·布莱克. 美国社会生活与思想史: 下册[M]. 北京: 商务印书馆, 1997: 347.
- [3] 富兰克林·罗斯福. 罗斯福选集[M]. 北京: 商务印书馆, 1982: 10.
- [4] SALOUTOS THEODORE, JOHN D HICKS. Agriculture disconcert in the middle west, 1900 - 1939[M]. Madison, Wisconsin: University of Wisconsin, 1951: 508.
- [5] 关在汉. 罗斯福选集[M]. 北京: 商务印书馆, 1982: 12.
- [6] 刘绪贻. 罗斯福“新政”的农业政策[J]. 史学月刊, 2001(3): 103 - 109.

(上接第11996页)

**2.3.2 不同浓度EDTA调控白茅和蔗草对土壤中Cd、Zn、Pb污染的净化率。**图4~6反映了不同浓度EDTA处理的白茅和蔗草对土壤Cd、Zn、Pb污染的净化率变化情况。在低浓度(1~3 mmol/L) EDTA调控下,随着EDTA浓度的增加,白茅对土壤Cd、Zn污染的净化率逐渐增加( $r$ 分别为0.879、0.913); 3 mmol/L EDTA处理时,土壤Cd污染的净化率最高达0.226%, Zn污染的净化率最高达0.305%。5~15 mmol/L EDTA调控下,随着EDTA浓度的增加,白茅对土壤Cd、Zn污染的净化率逐渐减小( $r$ 分别为-0.514、-0.837)。白茅对土壤Pb污染的净化率随EDTA浓度的增加而增加( $r$ 为0.916)。在15 mmol/L EDTA处理时,白茅对土壤Pb污染的净化率最大达0.047%。

随着EDTA浓度的增加,蔗草对土壤Cd、Zn、Pb污染的净化率逐渐增加, $r$ 分别为0.946、0.713、0.945。在15 mmol/L EDTA处理时,蔗草对土壤Cd污染的净化率达最大(0.211%);在10 mmol/L EDTA处理时,Zn、Pb污染净化率达最大(0.305%、0.042%)。

### 3 结论

(1) 调控剂EDTA不同程度地增加了白茅和蔗草对重金属的吸收,使植物中重金属的含量都明显高于自然条件下的植物,提高了植物对污染土壤的净化率,但还没有达到超积累植物1%的标准<sup>[3]</sup>。

(2) 不同浓度的EDTA对2种植物积累不同的重金属存在差异,因此,对不同的重金属污染,需要选择不同的植物和不同的调控剂浓度。

(3) 白茅+3 mmol/L EDTA, Cd净化率达0.226%,是白茅未加调控剂的2.57倍; Zn净化率达0.305%,是白茅未加调控剂的3.11倍; Pb净化率达0.015%,是白茅未加调控剂

的6.63倍。蔗草+15 mmol/L EDTA, Cd净化率达0.211%,是蔗草未加调控剂的6.55倍; Zn净化率达0.251%,是蔗草未加调控剂的1.37倍; Pb净化率达0.042%,是蔗草未加调控剂的12.25倍。

(4) 白茅+15 mmol/L EDTA, Pb净化率达0.047%,是白茅未加调控剂的20.37倍; Cd净化率达0.146%,是白茅未加调控剂的1.66倍; Zn净化率达0.185%,是白茅未加调控剂的1.88倍。蔗草+10 mmol/L EDTA, Pb净化率达0.042%,是蔗草未加调控剂的12.27倍; Cd净化率达0.201%,是蔗草未加调控剂的6.24倍; Zn净化率达0.305%,是蔗草未加调控剂的1.67倍。

#### 参考文献

- [1] BAKER A J M, MCGRATHS P, SIDDI C MD, et al. The possibility of in situ heavy metal decontamination of polluted soils using crops of metal-accumulating plants[J]. Resources, Conservation and Recycling, 1994, 11: 41 - 49.
- [2] BROOKS R R. Plants the hyperaccumulate heavy metals[M]. Wallingford: CAB International, 1998.
- [3] 骆永明. 金属污染土壤的植物修复[J]. 土壤, 1999, 31(5): 261 - 265.
- [4] 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.
- [5] 魏树和, 周启星, 张凯松, 等. 根际圈在污染土壤修复中的作用与机理分析[J]. 应用生态学报, 2003, 14(1): 143 - 147.
- [6] 顾继光, 周启星. 镉污染土壤的治理及植物修复[J]. 生态科学, 2002, 21(4): 352 - 356.
- [7] 李玉红, 宗良纲, 黄耀. 螯合剂在污染土壤植物修复中的应用[J]. 土壤与环境, 2002, 11(3): 303 - 306.
- [8] 刘玉荣, 党志, 尚爱安. 几种萃取剂对土壤中重金属生物有效部分的萃取效果[J]. 土壤与环境, 2002, 11(3): 245 - 247.
- [9] 王焕校. 污染生态学[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [10] 王美娥, 周启星, 张利华. 污染物在根-土界面的化学行为与生态效应[J]. 应用生态学报, 2003, 14(11): 2067 - 2071.
- [11] 邢前国, 潘伟斌, 张太平. 重金属污染土壤的植物修复技术[J]. 生态科学, 2003, 22(3): 275 - 279.
- [12] 蒋先军, 骆永明, 赵其国. 镉污染土壤植物修复的EDTA调控机理[J]. 土壤学报, 2003, 40(2): 206 - 209.
- [13] 刘光崧. 土壤理化分析与剖面描述[M]. 北京: 中国标准出版社, 1996.