

# Pb (铅) 富集植物品种的筛选

聂俊华<sup>1</sup>, 刘秀梅<sup>1</sup>, 王庆仁<sup>2</sup>

(1. 山东农业大学资源与环境学院, 泰安 271018; 2 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085)

**摘要:** 为选择和筛选富集重金属或对重金属具有耐性的植物, 为利用植物修复重金属污染土壤提供参考, 该研究通过温室砂培和土培的方法, 对生长于铅锌尾矿区的 36 种植物进行了筛选, 以叶片叶绿素含量、株高、植株含 Pb 量为 Pb 富集植物的筛选指标。同时满足下列条件, 即: 植物叶片中叶绿素含量: 处理/对照 > 0.90; 株高: 处理/对照 1.00 和含 Pb 量 > 500 mg/kg 的植物可以用做进一步的耐性试验。按以上标准筛选出 6 个富集 Pb 的植物品种, 分别是香根草、绿叶苋菜、裂叶荆芥、羽叶鬼针草、紫穗槐和苍耳。

**关键词:** Pb 富集植物; 品种筛选; 重金属污染土壤; 土壤植物修复

中图分类号: X53; Q948.12

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2004)04-0255-04

## 0 引言

随着人们对环境保护的日益重视, 迫切需要寻找在不破坏土壤物理化学性质的前提下治理重金属污染土壤的新途径, 植物修复是首选方法<sup>[1,2]</sup>。至今, 已有 400 种植物被证明对重金属具有吸收超富集作用, 但这类植物通常生物量低, 生长缓慢, 因此, 人们又在不断寻找其他植物以及能增加植物吸收重金属能力的方法。骆永明等<sup>[3]</sup>提出向土壤中加入螯合剂 EDTA 以降低重金属 (Cu、Cd、Zn) 在土壤中的稳定性, 从而增强植物对重金属的吸收能力, 但加入 EDTA 对土壤又造成潜在的危害。还有人提出把超富集植物体内的超富集基因转到农作物上以增强作物对重金属的忍耐性, 但转基因植物的出现, 又容易扩大污染源的范围。因此找到合适的物种并了解在矿业废弃地生长的植物对重金属的吸收、转移和累积规律, 对矿业废弃地的植被和污染土壤的修复有重要意义。在自然界的自然种群中, 存在着对重金属具有耐性的植物种类<sup>[4,5]</sup>, 露天堆积的金属尾矿是非常严重的污染源, 能够在其上面自然定居的植物必然对重金属有一定的耐性。利用这类植物种植于重金属污染地,

使其富集重金属, 经几次收割后, 土壤中的重金属水平显著减少<sup>[6]</sup>。从而达到修复土壤的目的。本文通过温室砂培和土培的方法, 对生长于铅锌尾矿区的 36 种植物进行了筛选, 以叶片叶绿素含量值、株高、植株含 Pb 量为 Pb 富集植物的筛选指标。选择和筛选出同时满足植物叶片中叶绿素含量: 处理/对照 > 0.90; 株高: 处理/对照 1.00 和含 Pb 量 > 500 mg/kg 条件的 6 个植物品种, 香根草、绿叶苋菜、裂叶荆芥、羽叶鬼针草、紫穗槐和苍耳作为富集 Pb 的植物品种, 可以用做进一步的耐性试验, 及利用其进行植物修复重金属污染土壤的研究。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

**供试植物:** 选择铅锌尾矿废弃地上的自然物种 36 种 (见表 1)。采集植物种子, 苗床育苗。待幼苗长出 1 片真叶, 从苗床上挖取长势一致的幼苗, 用蒸馏水洗净根系泥土, 供栽培用。

**试验用砂:** 市售建筑用砂过 2 mm 筛, 用 2% HNO<sub>3</sub> 溶液浸泡过夜, 用蒸馏水洗干净, 500 g 装一盆。

表 1 供试植物品种

Table 1 Plant species for the test

编号	植物名称	植物拉丁文名称	编号	植物名称	植物拉丁文名称	编号	植物名称	植物拉丁文名称
1	冰草	<i>Agropyron cristatum</i>	13	稗草	<i>Echinochloa crusgalli</i>	25	狗尾草	<i>Setaria viridis</i>
2	羊草	<i>A neurolepidium chinense</i>	14	地肤	<i>Kochia scoparia</i>	26	艾蒿	<i>Gnaphalium polycaulon</i>
3	披碱草	<i>Elymus dahuricus</i>	15	含羞草	<i>M inosa pudica</i>	27	细柄茅	<i>P tilagrostis mongholica</i>
4	胡枝子	<i>Lespedeza bicolor</i>	16	牛筋条	<i>tristaniaecarpa</i>	28	牵牛花	<i>Pharbitis nil</i>
5	草木樨	<i>M elilotus suaveolens</i>	17	三棱子草	<i>Scirpus m attfeldianus</i>	29	节节草	<i>Tulipa edulis</i>
6	紫花苜蓿	<i>L. M edicago sativa</i>	18	锦葵花	<i>M alva sinensis</i>	30	菖蒲	<i>A corus tatarinow ii</i>
7	百喜草	<i>Paspalum notatum</i>	19	羽叶鬼针草	<i>B idens maximowicziana</i>	31	黄麻	<i>Corchorus capsularis</i>
8	香根草	<i>Vetiveria zizanioides</i>	20	臭椿	<i>A ilanthus altissima</i>	32	山芝麻	<i>H elicteres angustifolia</i>
9	绿叶苋菜	<i>L. Am aranthus tricolor</i>	21	紫穗槐	<i>Sophora japonica</i>	33	野生山楂	<i>Crataegus cuneata</i>
10	野生酸模	<i>L. Rum ex acetosa</i>	22	苍耳	<i>Xanthium sibiricum</i>	34	益母草	<i>Leonurus artemisia</i>
11	裂叶荆芥	<i>Schizonepeta fenuifolia</i>	23	紫苏	<i>Perilla frutescens</i>	35	雀稗	<i>Paspalum thunbergii</i>
12	风车草	<i>Cyperus alternifolius</i>	24	拉拉藤	<i>Galium boreale</i>	36	银合欢	<i>Leucaena leucocephala</i>

收稿日期: 2003-11-14 修订日期: 2004-03-21

基金项目: 中国科学院知识创新工程资助项目 (KZCX-401-1)

作者简介: 聂俊华 (1951- ), 女, 山东禹城人, 教授, 硕士生导师, 泰安 山东农业大学资源与环境学院, 271018



## 1.2 试验方法

采用温室砂培进行耐性品种的筛选, 每盆栽植幼苗 2 棵。按 Hoagland 配方浇灌营养液。幼苗正常培养 20d 后, 对植物进行浇醋酸铅处理液, 处理液浓度为  $400 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  (以纯 Pb 计), 每种植物品种 3 次重复, 每个品种均有空白(对照)。培养 60 d 后, 测定叶片叶绿素值, 株高, 植株收获时测 Pb 含量。

叶片叶绿素含量测定: 每株植物随机选取植株上部叶片 10 片, 用 SPAD-502 型手持叶绿素仪测定其叶绿素值, 取平均值。

Pb 含量的测定: 高压闷罐法。准确称量  $0.100 \text{ g}$  样品, 加入  $3 \text{ mL}$  浓  $\text{HNO}_3$  溶液放置过夜, 加入  $1 \text{ mL}$   $\text{HF}$ ,  $1 \text{ mL}$   $\text{HClO}_4$ ,  $180^\circ \text{C}$  恒温  $8 \text{ h}$  高压闷罐提取, 然后用 Z-6100 型火焰原子吸收仪测定。

## 2 结果与分析

### 2.1 筛选指标

富集 Pb 的植物品种应能适应 Pb 污染的环境, 能

在 Pb 污染的介质中正常生长, 自然界中的 Pb 富集植物一般生长缓慢, 生物量低, 这种植物尽管体内 Pb 含量较高, 利用价值也不大。只有生长较快, 生物量大的植物品种才有可能用来修复污染土壤。根据以上原则, 植株体内的 Pb 含量是第一个关键指标。其次是植株的生物量, 在植物生长过程中, 植株高度的变化可以指示生长介质环境对植物的影响, 是说明所筛选富集植物可利用程度的重要指标, 如果在 Pb 处理下植物的株高低于对照, 说明植株生长受到抑制; 反之, 则说明植物能适应此生长介质, 或此介质对植物的生长影响不大。因为光合作用是植物生产的原动力, 任何影响作物生理活动的因素必然影响光合过程, 叶绿素的含量是影响光合作用的物质基础, 叶绿素含量的变化必然影响植株的正常发育, 因此选择叶片的叶绿素含量作为指标之一。当叶片叶绿素含量低于对照时, 说明该种植物的生长已受重金属 Pb 的影响。综上所述, 本文选择植物株高、叶绿素含量和含 Pb 量作为测定和筛选指标。

表 2 Pb 污染处理下不同植物的叶绿素含量、株高和 Pb 含量

Table 2 Chlorophyll content, plant height and Pb content of different species of plants under the condition of Pb polluted treatment

植物编号	叶绿素含量/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ (FW) SPAD			植株株高/ $\text{cm}$			植株含 Pb 量/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$		
	对照	处理	处理/对照	对照	处理	处理/对照	对照	处理	处理/对照
1	31.0	24.3	0.78	10.4	8.2	0.78	1.53	87.29	57.05
2	39.5	21.4	0.54	9.7	7.4	0.76	0.89	73.15	82.19
3	29.2	24.1	0.83	9.9	8.0	0.80	0.67	342.08	510.56
4	32.7	27.0	0.83	8.9	7.0	0.78	1.05	364.87	347.49
5	31.5	22.6	0.72	9.1	7.2	0.79	0.78	256.23	328.50
6	34.7	21.6	0.62	7.9	5.0	0.63	0.69	389.61	564.65
7	38.7	30.2	0.78	8.5	8.0	0.94	1.10	500.27	454.79
8	39.2	37.9	0.97	9.5	9.9	1.04	1.12	540.82	482.87
9	34.2	33.9	0.99	19.8	21.0	1.06	1.19	870.54	731.54
10	37.4	35.0	0.94	8.7	7.5	0.86	1.21	469.68	388.16
11	30.5	29.4	0.96	19.1	20.0	1.04	1.04	628.54	604.36
12	28.9	25.2	0.87	21.5	22.0	1.00	0.86	327.27	380.54
13	29.7	22.3	0.75	13.0	8.3	0.63	1.05	392.32	373.63
14	31.0	24.5	0.79	12.9	7.2	0.55	0.72	176.21	244.73
15	32.2	25.1	0.78	15.7	11.4	0.72	0.91	157.91	173.52
16	25.8	22.4	0.87	13.0	8.4	0.64	1.32	528.01	400.00
17	27.6	24.2	0.88	18.5	15.2	0.82	0.64	258.3	403.59
18	32.5	28.7	0.88	20.1	15.6	0.77	1.15	261.35	227.26
19	38.2	37.7	0.99	11.2	14.5	1.29	2.70	1020.38	377.91
20	34.5	30.0	0.87	18.1	18.4	1.0	1.14	512.74	449.77
21	38.7	37.2	0.96	16.2	16.5	1.02	1.32	700.09	530.37
22	39.2	36.8	0.94	20.4	20.5	1.0	2.42	650.42	268.76
23	29.6	20.0	0.67	17.4	15.0	0.86	0.73	97.36	133.36
24	28.1	21.5	0.76	13.0	11.1	0.85	0.61	361.52	592.65
25	30.2	26.8	0.89	24.5	21.4	0.87	0.84	447.2	532.38
26	22.6	20.1	0.88	16.4	14.5	0.88	0.62	82.61	133.24
27	31.1	21.2	0.68	13.0	11.7	0.9	1.17	116.4	99.48
28	34.7	26.4	0.76	17.8	16.0	0.89	0.95	208.67	219.65
29	29.4	21.6	0.73	16.7	15.1	0.90	1.27	314.27	247.45
30	31.5	24.3	0.77	7.7	6.0	0.77	1.71	139.2	81.4
31	28.6	24.5	0.85	20.4	18.2	0.89	1.42	321.04	226.08
32	30.4	20.7	0.68	15.8	13.9	0.87	2.01	222.23	110.56
33	32.8	25.6	0.78	17.2	15.8	0.91	1.81	282.67	156.17
34	34.6	25.9	0.74	17.4	15.2	0.87	0.82	185.42	226.12
35	29.9	24.8	0.82	16.5	15.7	0.95	1.34	317.42	236.88
36	35.7	29.9	0.83	20.0	19.5	0.97	1.19	306.10	257.22

表 2 是 36 种供试植物在 Pb 污染处理下与其对照的 3 项筛选指标测定值。由表 3 可以看出, 供试植物经醋酸铅处理后叶片叶绿素含量、株高、植物的 Pb 含量 3

个指标值发生了较大变化, 且与对照相比差异显著, 说明筛选指标选择合理。叶片叶绿素含量、株高的最大值、最小值、均值与对照相比都有下降, 其中叶片叶绿素含

量的下降达到极显著水平,株高的下降达到显著水平。而处理植物的 Pb 含量最大值、最小值、均值则比对照明显提高,达到极显著水平。说明在土壤环境铅含量提高时,能刺激这些植物增强对铅的吸收,但是对植物的生长发育却有抑制作用(表 3)。

表 3 不同处理下各指标的统计特征值

Table 3 Statistical proper values of various parameters under different treatments

特征值	叶绿素值 SPAD		株高/cm		含 Pb 量/mg · kg <sup>-1</sup>	
	对照	处理	对照	处理	对照	处理
最大值	39.5	37.9	24.5	21.4	2.70	1020.38
最小值	22.6	20.0	7.7	5.0	0.61	73.15
极差	16.9	17.9	16.8	16.3	2.09	947.23
均值	32.39	26.58	14.88	13.09	1.17	358.62
标准差	4.08	5.33	4.58	4.98	0.48	220.29
变异系数/%	12.60	20.07	30.78	38.32	41.22	61.43
T 值	5.037**		2.069*		9.735**	

t<sub>0.05</sub> = 1.99, t<sub>0.01</sub> = 2.648

### 2.2 植物叶片叶绿素含量

叶绿素含量作为植物对 Pb 耐受力的指标,从表 2 可看出,所有供试植物的叶片叶绿素含量均低于对照,但编号为 8、9、10、11、19、21、22 的 7 种植物叶片叶绿素含量高于对照的 90%,分别为 97%、99%、94%、96%、99%、96%、94%,与对照相比下降不显著,说明此浓度的 Pb 处理对上述 7 种植物的正常生长发育影响不大。当叶绿素低于对照的 90% 时,差异显著,则认为植物受重金属 Pb 的影响已经不能正常生长发育。其它 30 种植物的叶绿素含量值均低于对照的 90%,特别 2 号植物叶绿素含量值仅是对照的 54%,植物已有明显的黄化现象,说明受到了严重的 Pb 毒害。

### 2.3 植物株高

株高正常的植株生长快,生物量大,在修复土壤中可以发挥较大的作用,有利用价值。测试结果表明,编号为 8、9、11、12、19、20、21、22 的 8 种植物的株高均高于或等于对照,分别为对照的 1.04、1.06、1.04、1.00、1.29、1.00、1.02、1.00 倍,而其它的植物株高都比对照低。

### 2.4 植物体内的 Pb 含量

在富集 Pb 植物品种的筛选过程中,植物体内 Pb 的含量是一个最关键性的指标。分析结果说明,在 Pb 污染处理下,36 种植物的含 Pb 量在 73.15~1020.38 mg/kg 范围内变化,是对照的 57~592 倍,差异均达极显著水平(表 2,表 3),特别是植物品种 7、8、9、11、16、19、20、21、22 的含 Pb 量大于 500 mg/kg,说明上述 9 种植物能够大量富集重金属 Pb,对 Pb 污染的土壤有良好的修复潜力;其它 25 种植物体内的含 Pb 量小于 500 mg/kg。而对富集植物品种的筛选首先应该是大量富集重金属的植物,因此选择含 Pb 量大于 500 mg/kg 的 9 种植物,再进一步综合筛选。

### 2.5 植物耐 Pb 品种的综合筛选

图 1 是植物耐 Pb 品种的综合筛选流程图。由图可见,叶绿素含量处理/对照 > 0.90 的植物有 7 种,株高

处理/对照 > 1.00 的有 8 种,而植物含 Pb 量 > 500 mg/kg 的植物有 9 种。为了综合地反映植物对 Pb 的吸收和耐性,以叶绿素含量、株高和含 Pb 量三指标为筛选标准。由图 1 得知,含 Pb 量处理/对照 > 500 mg/kg 的 9 种植物包含了株高处理/对照 > 1.00 的 8 种,而这 8 种中有 6 种植物其叶绿素值处理/对照 > 0.90,说明此 6 种植物对 Pb 有一定吸收能力或耐性,它们分别是香根草、绿叶苋菜、裂叶荆芥、羽叶鬼针草、紫穗槐和苍耳。

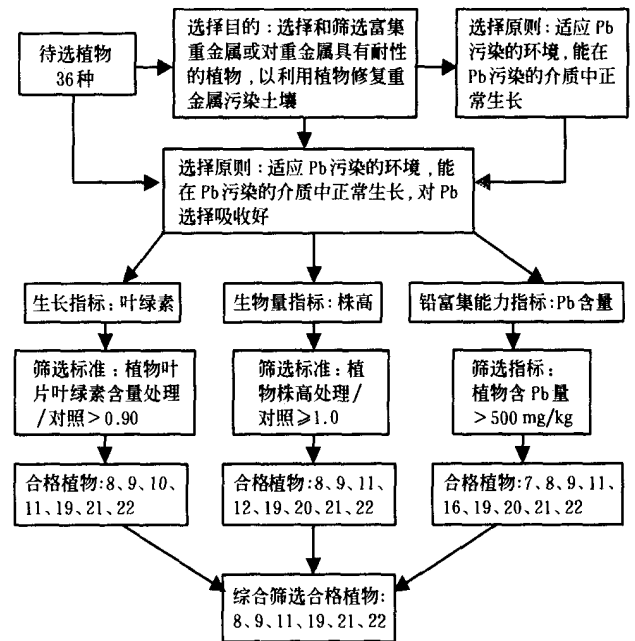


图 1 耐 Pb 植物种类的综合筛选

Fig. 1 Comprehensive selection of Pb tolerant plant species

### 3 讨论与结论

1) 收集、筛选富集重金属的植物是进行植物修复工作的前提, Lasat<sup>[7]</sup> 等曾做过超富集植物的筛选工作,筛选指标是植株体内重金属含量,把含 Pb、Cu、或 Hg 超过 1000 mg/kg 和含 Zn 超过 10000 mg/kg 的植物定义为超富集植物。Monni<sup>[8]</sup> 曾以株高为指标判断植物在重金属污染条件下的受害程度,但这些研究局限于单一的指标,不能综合地反应植物对 Pb 的吸收和耐性。本试验收集在铅锌尾矿区定植生长的植物种类 36 个作筛选对象,以叶绿素含量、株高和含铅作筛选指标,避免出现仅以单一指标为筛选标准时的偏差。有些植物,如本试验中的牛筋条和百喜草,虽然能够吸收大量重金属(体内含 Pb 量高达 629 mg/kg 和 800 mg/kg),但其叶片叶绿素含量显著下降,说明体内高浓度的 Pb 已导致植株光合作用受阻,代谢紊乱。

2) 本试验在富集植物的筛选中只采用了一种砂培方法,砂培条件的特点是植物生长介质中的各种环境条件容易控制。但富集植物最终要去修复被重金属污染的土壤,所以有一定的局限性。

3) 以叶片叶绿素值、株高、植株含 Pb 量为 Pb 富集植物的筛选指标。从 36 种植物中选出同时满足叶片叶绿素含量处理/对照 > 0.90、株高处理/对照 > 1.00 和

含Pb量> 500 mg/kg的植物6种,分别是香根草、绿叶苋菜、裂叶荆芥、羽叶鬼针草、紫穗槐和苍耳。

#### [参 考 文 献]

- [1] Wang Q R, Liu X M, Cui Y S, et al. Concept and advances of applied bioremediation for organic pollutants in soil and water[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(1): 159- 163(in Chinese).
- [2] Wang Q R, Cui Y S, Dong Y T. Phytoremediation—An effective approach of heavy metal cleanup from contaminated soil[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 21(2): 326 - 331(in Chinese).
- [3] 骆永明. 强化植物修复的螯合诱导技术及其环境风险[J]. *土壤*, 2000, 2: 57- 63
- [4] Chaney R T, Malik M, Li Y M. Phytoremediation of soil metal[J]. *Current Opinions in Biotechnology*, 1997, (8): 279- 284
- [5] Chaney R L, Li Y M, Angle J S. Improving metal hyperaccumulator wild plants to develop commercial phytoextraction systems: Approaches and progress[A]. In: Terry N. And Bacuelos G S eds. *Phytoremediation of Trace Elements*[M]. Ann Arbor Press, Miami, USA, 1999, 112- 128
- [6] Reeves R D. The hyperaccumulation of nickel by serpentine plants[A]. In: Baker vegetation of Ultramafic (serpentine) soil [M]. Intercept Ltd, Andover, Hampshire, UK, 1992, 253- 277.
- [7] Lasat M M, Fuhman M, Ebbs S D. Phytoextraction of radiocesium-contaminated soil: Evaluation of cesium bioaccumulation in the shoots of three plant species[J]. *J of Environmental Quality*, 1998, 27(1): 165- 165
- [8] Monni S M, Salemaa. Copper resistance of calluna vulgaris originating from the pollution gradient of a Cu-Ni smelter in southwest Finland [J]. *Environmental pollution*, 2000, 109: 211- 219.

## Screening out of Pb hypertolerant plant species

Nie Junhua<sup>1</sup>, Liu Xiumei<sup>1</sup>, Wang Qingren<sup>2</sup>

(1. Resource and Environmental College, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China;

2. Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

**Abstract** In order to choose the hypertolerant plants to heavy metals and for the case of phytoremediation in soils polluted by heavy metals, the researches were carried out by using the methods of soil-planting and sand-planting in the greenhouse. Thirty-six species growing on lead-zinc tail mining areas have been chosen for the study. The treatment concentration of lead was  $400 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ . Three indexes, which are chlorophyll content of plant leaves, the plant length and the content of lead in plants, were used as standard to choose Pb tolerant plant species. There are six plant species, i.e. are *Vetiveria zizanioides*, *Schizonepeta tenuifolia*, *Amaranthus tricolor*, *Xanthium sibiricum*, *Sophora japonica*, *Bidens maximowicziana*, meet jointly the criterion of chlorophyll:  $\text{Tr}/\text{CK} > 0.90$ , plant length:  $\text{Tr}/\text{CK} \geq 1.00$  and lead content:  $\text{Tr} > 500 \text{ mg/kg}$ , and they could be used for further test of hypertolerant plant polluted by heavy metals.

**Key words** Pb hypertolerant plants; selection of plant species; heavy metal contaminated soil; phytoremediation for soil