

# 铅锌冶炼厂土壤污染及重金属富集植物的研究

吴双桃<sup>1</sup>, 吴晓芙<sup>2</sup>, 胡曰利<sup>2</sup>, 陈少瑾<sup>1</sup>, 胡劲召<sup>1</sup>, 陈宜菲<sup>1</sup>, 谢凝子<sup>1</sup>

1. 韩山师范学院环境化学应用技术研究所, 广东 潮州 521041; 2. 中南林学院资源与环境学院, 湖南 株洲 412006

摘要: 对株洲市铅锌冶炼厂生产区进行了植被和土壤调查。结果表明, 该厂土壤污染以镉铅锌 (Cd、Pb、Zn) 最为严重, 尤其是重金属镉在土壤中含有量超过背景值高达 208 倍, 分析原因主要是由于大气尘降和雨水淋洗等使得污染加重。实验采集并分析测定了 9 种植物中重金属富集量, 首次报道了土荆芥是一种铅超富集植物, 其体内 Pb 质量分数高达 3 888 mg/kg。另一种植物商陆能大量富集镉, 具有地下部向地上部转运能力强、生物量大、富集总量高的特点, 有很大研究价值和应用潜力。另外, 荨麻对 Zn 有较强富集能力, 这 3 种植物可分别用于铅、镉和锌等 3 种重金属污染土壤的植物修复。

关键词: 植被; 重金属; 超富集植物; 植物修复

中图分类号: X53

文献标识码: A

文章编号: 1672-2175 (2004) 02-0156-03

植物修复是一种即经济又便于现场操作的去除环境污染物的技术, 是以植物忍耐和超量积累某种或某类重金属元素的理论为基础, 利用植物及其共生微生物体系清除环境中的重金属<sup>[1-3]</sup>。自从 20 世纪 80 年代问世以来, 植物修复已经成为国际学术界研究的热点问题<sup>[4-7]</sup>, 国外已经展开了一系列的相关研究与报道, 目前世界上已发现 400 多种超积累植物, 其中镉超富集植物仅报道两种。我国地大物博, 植物资源丰富, 为开展相关研究提供了良好基础。然而目前为止, 对超富集植物种类研究较少, 这与我国丰富的植物多样性不相适应。因此, 该领域工作的重点是筛选出能超量积累污染物的植物。

目前所发现的超富集植物往往植株矮小、生物量小, 限制了植物修复技术的推广和应用。因此, 本文研究了冶炼厂生产区分布较广、生物量较大的 9 种常见草本植物, 通过分析土壤和植物体内重金属含量, 明确对重金属的吸收富集特点, 探讨它们和环境净化上的应用潜力, 以期了解将它们应用到污染环境的植物修复可行性。

## 1 冶炼厂概况

湖南省株洲市铅锌冶炼厂始建于 1956 年 12 月, 是全国最大的冶炼厂之一, 主要生产锌产品。1974 年中国医科院卫生研究所调查, 厂区土壤重金属污染严重, 且一般在 2 000 m 内污染较重。

## 2 材料与方法

### 2.1 野外调查与采样

2002 年 5 月到冶炼厂生产区 (2 000 m 以内) 进行土壤和植物生长情况调查, 将表土 (10 cm) 和植物样品带回实验室作分析用。

在冶炼厂采集的材料有: 一年蓬(菊科), 白苏(唇形科), 荨麻(荨麻科), 吉祥草(百合科), 野艾蒿(菊科), 红花三叶草(酢浆草科), 商陆(商陆科), 土荆芥(藜科)和乌莓(葡萄科)。

同时采集植物生长的土样, 在室内分别制成植物样与土样的分析样品。

### 2.2 样品处理与分析

#### 2.2.1 植物和土壤样品处理

植物样品用蒸馏水洗净, 烘干, 粉碎, 使全部过 0.5 mm 尼龙筛。

采用干灰化法。称取 2.0000 g 植物样品于瓷坩埚中, 在电热板上进行预灰化, 待试样大部分炭化后移入高温电炉, 逐步升温至 500 ℃ 灰化 (若灰分中残存的炭较多, 于冷却后加入几滴硝酸 (HNO<sub>3</sub>)), 蒸发至干后, 在高温电炉中继续完全灰化, 灰化时间为 12 h。加入 3 ml 盐酸 (HCl) 溶解灰分, 必要时过滤, 用蒸馏水定容至 50 ml。

土样风干过 0.25 mm 筛。在 550 ℃ 的高温中灰化 6 h, 加 5 ml 体积比例为 1:3 (HNO<sub>3</sub>:HCl) 浓混合酸消解, 用 HCl 溶解灰分, 过滤定容。

#### 2.2.2 仪器与试剂

采用原子吸收分光光度法测定样品重金属含量, 所用仪器主要有: WYX402B 原子吸收分光光度计 (沈阳分析仪器厂), Pb、Zn、Cd 空心阴极灯。

## 3 土壤重金属含量分布特征

大气或水污染均可导致土壤中重金属污染, 是污染物进入土壤的主要途径。而土壤污染是植物中重金属含量增高的重要原因之一, 因此通过分析和比较土壤中重金属含量分布特征, 对研究植物富集重金属具有重要意义。通过野外调查和实验分析得表 1。

表 1 污染区土壤重金属质量分数 mg/kg

项 目	w(总铅)	w(总锌)	w(总镉)
土壤中含量	497.0	513.6	14.6
超背景倍数	15.56	4.34	207.6

表 1 中的数据表明, 冶炼厂厂区土壤受到了不同程度的重金属污染, 其中镉污染最严重, 超过背景值倍数高达 207.6 倍, 其次是铅, 最后是锌, 重金属多富集在土壤表层土中。导致污染的可能原因是冶炼厂长年排放大量带有重金属的

基金项目: 广东省科技攻关项目 (2003C32910)

作者简介: 吴双桃 (1976 - ), 女, 硕士, 从事污水处理和土壤治理研究。

收稿日期: 2003-11-17

尘埃,大气污染严重,由于大气尘降和雨水淋洗等使得空气中重金属进入土壤,且不断积累浓度增大,污染加重。据 Kloke<sup>[8]</sup>的报道,许多工业发达国家,大气沉降对土壤系统中重金属累积贡献率在各种外源输入因子中排在首位。

由于镉较易于被植物吸收,该厂附近土壤不适合种植蔬菜、瓜果类农作物,以免重金属进入食物链,危害人类健康。

#### 4 植物重金属元素含量特征

基于文献记载,不同植物对各种重金属的吸收富集能力各有差别,有的植物在高浓度重金属环境胁迫下有较大的富集量,接近或已达到超累积植物的标准(表2)。由于锌是植物必需的元素之一,在植物中平均浓度大大高于铅,其超累积植物临界标准较高。世界上土壤中铅的含量相对较低,铅矿物质的水溶度很小,故植物体内含量较低。

表2 重金属在土壤和普通植物中平均质量分数以及超累积植物的临界标准 mg/kg (w)

项目	w(Pb) <sup>[9]</sup>	w(Zn) <sup>[9]</sup>	w(Cd) <sup>[10]</sup>
土壤	10	50	0.35
植物	5	100	1.2
临界标准	1 000	1 0000	100

##### 4.1 不同植物富集铅、锌和镉的能力不同

冶炼厂9种草本植物体内重金属含量的测定结果见表3。表3结果说明,各种植物中对Cd吸收富集能力较强的有一年蓬,白苏,商陆。对Zn富集能力较强的有白苏,芋

表3 草本植物中3种重金属的质量分数

项目	植物种类	mg/kg (w)					
		w(Cd)		w(Pb)		w(Zn)	
		茎叶	根	茎叶	根	茎叶	根
1	一年蓬 <i>Phytolacca acinosa</i>	62.1	58.6	149.9	230.8	1 547.5	1 496.3
2	白苏 <i>Paraphlomis albida</i>	65.7	55.8	626.1	581.4	4 020.6	3 861.7
3	荨麻 <i>Urtica fissa</i>	17.6	15.4	148.5	124.9	7 531.5	7 497.6
4	野艾蒿 <i>A.lavandulaefolia</i>	51.2	32.0	289.2	169.1	2 983.8	855.5
5	红花三叶草		21.4		99.2		482.9
6	商陆(1) <i>Phytolacca acinosa</i>	33.4	34.8	176.5	181.9	1 377.5	1 402.1
7	土荆芥 <i>C. ambrosioides</i>	46.6	43.8	3 888.0	3 200.0	2 162.0	198.3
8	乌菘莓 <i>C. japonica Gagnep</i>	29.3	30.0	207.1	153.2	1 485.3	1 348.1
9	商陆(2) <i>Phytolacca acinosa</i>	42.1	63.8	270.2	283.7	2 023.0	2 089.6
10	吉祥草 <i>Reineckea carnea Kunth</i>	20.5	15.6	255.0	182.4	639.7	616.1
土壤样品中重金属元素的质量分数		14.6		497.0		513.6	

解车间从事锌的电解工作,周围土壤和空气均污染严重,两者土壤对植物的影响程度不同。表3中数据也表明,同种植物在不同环境下体中重金属含量具有明显差别,商陆(2)中镉含量显著高于商陆(1)中的,可见同一植物在不同的环境胁迫下有不同的富集反应。

##### 5 商陆用于治理重金属污染有较好的前景

商陆, *Phytolacca acinosa* Roxb., 属商陆科。其地上部分生物量通常较大,枝叶繁茂,高可达1.3~1.5 m,人工种植每公顷约可产鲜茎叶45 000~60 000 kg,其肉质根每公顷可产根干重为6 000~9 000 kg。商陆对镉的吸收可能以根为主,向上运输量大,具有较强的耐重金属能力与富集能力,体内富集质量分数高。根据植物生物量×重金属质量分数即

麻,接骨木。对Pb富集量大的有土荆芥。根据标准,超富集植物体内Pb质量分数须超过1 000 mg/kg (w),所以土荆芥可称为Pb超富集植物。

##### 4.2 植物地下部与地上部的富集规律

在调查分析中,一般植物富集重金属呈现地下部>地上部的富集规律。这与普通植物的富集规律一致。而白苏、荨麻、野蒿、土荆芥和商陆等植物出现相反规律,即茎叶中重金属含量较根中含量要高出许多,这与有关文献报导地下器官富集能力通常强于地上器官不同。分析出现这种情况的原因有两种可能,第一是这几种植物吸收重金属,其体内由地下部分向地上部分转移率较高,从而使得茎叶中含量高于根中的。第二是由于冶炼厂附近空气中重金属污染严重,冶炼厂排放的金属颗粒物尘降和叶面吸附是造成土壤和植物污染的重金属污染源。

另外,据观察发现,前四种植物叶片粗糙,表面有绒毛,极易吸附空气中的灰尘,因此推断其地上部大于地下部的原因主要是叶片吸附所致,从植株根、茎、叶分析结果也说明了这一点,重金属元素在植株体内的分布均是叶>根、茎。而商陆的叶片较光滑,其叶片所含重金属质量分数明显地较根系中的高,估计其对重金属的富集以根部吸收为主,商陆对镉有较大的转运率和富集能力。

##### 4.3 同一植物在不同环境条件下的富集情况

商陆(1)、商陆(2)分别采自厂门外花池和锌电解车间外,厂门距锌电解车间距离较远,且处于上风向,而锌电

为去除的重金属总量,商陆对镉有较大的富集总量,在植物修复镉污染土壤的应用中有很大发展潜力。

#### 6 结论

(1)土荆芥、荨麻、商陆等3种植物分别对铅、锌、镉有较高的富集浓度;土荆芥是新发现的一种铅超富集植物。

(2)冶炼厂附近土壤污染主要由于大气中带重金属的尘埃尘降和降水引起的,植物对重金属的吸收有叶面吸附和根部吸收两个主要原因,该区不适合种植可食用农作物。

(3)商陆对镉的富集质量分数虽未达超富集植物的标准,但生物量高,富集总量大,在植物修复应用中具有一定的应用前景,可对之作进一步的实验研究。

(下转第160页)

- 吸附和脱附的影响[J]. 土壤学报, 2003, 40(4): 567-573.
- [12] 汤家芳, 周九元, 刘芝兰, 等. 活性氨基酸农药[J]. 氨基酸和生物资源, 1996, 18(4): 44-50.
- [13] CARLISLE S M, TREVOR J T. Glyphosate in the environment[J]. Water, Air and Soil Pollution, 1998, 39: 409-420.
- [14] HENSELY D L, BEUERMAN D S N, CARPENTER P L. The inactivation of glyphosate by various soils and metal salts [J]. Weed Science, 1978, 7: 363-366.

## Toxicity of the interaction of glyphosate and cadmium to wheat

WANG Yu-jun, ZHOU Dong-mei, CHEN Huai-man

State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China

**Abstract:** The toxicity of cadmium and glyphosate interaction to wheat germination, sprout length and root elongation was studied. The results indicated that cadmium did not significantly affect wheat germination but glyphosate affected that. Although cadmium had little effect on the rate of wheat germination, it prohibited wheat root elongation and sprout length obviously. Glyphosate clearly reduced the rate of wheat germination. The presence of cadmium decreased glyphosate toxicity when glyphosate was at a high concentration and increased glyphosate toxicity when glyphosate was at a low concentration.

**Key words:** cadmium; glyphosate; interaction; germination; root elongation

(上接第157页)

参考文献:

- [1] 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(2): 326-331.
- [2] 唐世荣, WILKE B M. 植物修复技术与农业生物环境工程[J]. 农业工程学报, 1999, 15(2): 21-26.
- [3] 蒋先军, 骆永明, 赵其国. 土壤重金属污染的植物提取修复技术及其应用前景[J]. 农业环境保护, 2000, 19(3): 179-183.
- [4] NADAN KUMAR P B A, DUSHENKOV V, MOTTO H, et al. Phytoextraction: the use of plants to remove heavy metals from soils[J]. Environ Sci Technol, 1995, 29(5): 1 233-1 238.
- [5] 沈振国, 陈怀满. 土壤重金属污染生物修复的研究进展[J]. 农村生态环境, 2000, 16(2): 39-44.
- [6] SUERBECK D R. Plant, element and soil properties governing uptake and availabilities of heavy metals derived from sewage sludge [J]. Water, Air and Soil pollution, 1991, 52-58.
- [7] 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: 1-15.
- [8] KLOKE A D R, SAVERBECK. Changing Metal Cycles and Human Health[M]. Berlin: Springer-verlag, 1984: 113-141.
- [9] 沈振国, 刘友良. 重金属超量积累植物研究进展[J]. 植物生理学通讯, 1998, 34(2): 133-138.
- [10] 张金彪, 黄维南. 镉对植物的生理生态效应的研究进展[J]. 生态学报, 2000, 20(3): 514-523.

## Studies on soil pollution around Pb-Zn smelting factory and heavy metals hyperaccumulators

WU Shuang-tao<sup>1</sup>, WU Xiao-fu<sup>2</sup>, HU Yue-li<sup>2</sup>, CHEN Shao-jin<sup>1</sup>, HU Jin-zhao<sup>1</sup>, CHEN Yi-fei<sup>1</sup>, XIE Ning-zi<sup>1</sup>

1. Research Institute of Environmental Chemistry and Technology, Hanshan Teacher's College, Chaozhou, Guangdong 521041, China;

2. College of Resources and Environment, Central South Forestry University, Zhuzhou, Hunan 412006, China

**Abstract:** In this paper, soils and native vegetation in the vicinity of Zhuzhou Pb-Zn Smelting Factory were investigated. The results showed that the soil was severely contaminated with cadmium, lead and zinc (Cd, Pb and Zn). Especially, the Cd concentration in the soil was more than two hundredfold (208) of the background. Data analysis indicated that the atmospheric dusts originated from the factory and rain-drop scavenging were the important factors responsible for the severe heavy metals pollution problem in the soil. In addition, nine representative plants of the native vegetation were collected and analyzed for heavy metal concentrations. For the first time, we reported that *C. ambrosioides* was a hyperaccumulator of lead, and the *in vivo* concentration of Pb could reach as high as 3 888 mg/kg. Also, it was found that *Phytolacca acinosa* had good capability to enrich Cd. *Phytolacca acinosa* displayed many good traits, such as excellent ability to transport Cd from roots to stems and leaves, bigger biomass and larger enrichment capacity. Thus, *P. acinosa* plant showed promising potentials in phytoremediation applications and was warranted for further studies. We also noted that another plant, *Urtica fissa*, seemed to exhibit excellent enriching power for Zn. In summary, our results indicated that these three plants could be used to effectively treat soils contaminated with heavy metals Cd, Pb and Zn.

**Key words:** vegetation; heavy metal; hyperaccumulator; phytoremediation