

文章编号: 1001-1498(2008)01-0064-05

冶铅区植被变化及残留植物耐铅性特征研究

李江¹, 刘仁林^{2*}, 叶晓燕³, 朱艳³

(1. 江西省林业科学研究院, 江西 南昌 330035; 2. 赣南师范学院化学与生命科学系, 江西 赣州 341000;
3. 江西环境工程职业学院, 江西 赣州 341000)

摘要:对江西莲花县冶铅区的植被变化和残留植物中耐铅性较高的植物的耐铅性特征研究表明:(1)耐铅性较强的植物是:夹竹桃、大青、商陆;(2)木本植物茎的韧皮部富铅最高,草本植物的叶和茎次之。不同器官富集铅的能力是:大青为茎韧皮部>根>叶>茎木质部;夹竹桃为茎韧皮部>根>茎木质部>叶。这两个树种的茎木质部和根的富铅性差异明显。夹竹桃的富铅速率在生长期前4个月最快。(3)冶铅区的铅污染主要分布在0~10cm土层,很容易通过地表径流扩大污染范围,因此,在冶铅区污染严重的地段进行植被恢复时,应辅以工程措施,防止水土流失;同时采用须根系植物或扦插苗造林(侧根多,吸收面积增大),适当配置草本植物,这样有利于提高植被恢复和污染治理的效率。

关键词:植被变化;耐铅特性;冶铅区;铅污染治理;植被恢复

中图分类号: X503.23

文献标识码: A

A Study on Changes of Vegetation and Tolerance of Alive Plant to Pb Pollution in the Area around a Lead Smeltery

LI Jiang¹, LIU Ren-lin², YE Xiao-yan³, ZHU Yan³

(1. Forestry Academy of Jiangxi Province, Nanchang 330035, Jiangxi, China; 2. Chemical and Life Science Department, Normal College of Gannan, Ganzhou 341000, Jiangxi, China; 3. Environment Engineering College of Jiangxi, Ganzhou 341000, Jiangxi, China)

Abstract: Because of Pb pollution, the vegetation changed greatly and a large number of plants died except a few species that showed higher tolerance to Pb around a lead smeltery located in Lian-Hua County of Jiangxi Province, China. With investigation and analysis of these changes, some results were obtained as follows: (1) The species with higher Pb tolerance was in the order of *Nerium indicum* > *Clerodendrum cyrtophyllum* > *Phytolacca acinosa*; (2) Experiments of plant tolerance to Pb indicated that the stem phloem of woody plant was the highest one to accumulate Pb from soil, followed by the stalk of herb plant. In addition, various organs and tissues of plant showed differences in accumulation of Pb. In this paper it was described that the order of uptake of Pb was stem phloem > root > leaf > stem xylem in *Clerodendrum cyrtophyllum*, and *Nerium indicum* had another order of uptake of Pb which was stem phloem > root > stem xylem > leaf. These two species had differences of accumulation of Pb between their stem xylems and between their roots. The rate of uptake of Pb of *Nerium indicum* was the highest at the first four months during its growing. (3) Because Pb was mainly distributed within the depth of 0-10 cm of soil and the way to lead extensiveness of Pb pollution was that Pb followed water to enter streams, rivers and so on, therefore it is necessary to take the measures of construction engineering for revegetation in the district of heavy Pb pollution.

收稿日期: 2007-08-20

基金项目: 国家林业局“长江中下游低山丘陵生态退化区植被恢复技术实验示范项目(2006BAD03A16)

作者简介: 李江(1963—),男,研究员,从事林地恢复技术研究工作。

*通讯作者,刘仁林,男,教授。主要从事植被分类学教学与研究,发表论文60余篇。E-mail: lrlidongh@126.com

tion and at the same time, seedings of fibrous root and seedings of cuttage and seedings of herb plant are very important to make more effective revegetation and control of Pb pollution.

Key words: changes of vegetation; characteristics of tolerance to Pb pollution; area of lpb smelter; control of Pb pollution; revegetation

铅是一种毒性很大的重金属,对环境污染较大。我国是世界上铅生产大国和消费大国^[1],但我国铅企业普遍存在生产技术落后、设备现代化程度低、环境污染严重等问题。因此对铅污染区的植被恢复已成为国内外环境保护研究的主要内容之一。孙庆业等^[2]研究了仁化县凡口铅锌尾矿库的植物自然定居,结果认为植物分布明显受到表层尾矿某些物理性质如稳定状况、含水量等的影响,尾矿中的营养物质含量与植物的生长高度以及群落盖度有一定的关系。张金桃等^[3]研究比较了铅锌冶炼污染区光板地种植泡桐和狗牙根进行人工植被重建前后土壤物理性质、养分蓄存、微生物及酶活性的改变,认为在铅锌冶炼污染区种植泡桐 (*Paulownia fortunei* (Seem.) Hemsl.) 和狗牙根 (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.) 进行人工植被重建是可行的。吴双桃等^[4]对株洲市铅锌冶炼厂生产区进行了植被和土壤调查,结果发现土荆芥 (*Chenopodium ambrosioides* L.) 是一种铅超富集植物,商陆 (*Phytolacca acinosa* Roxb.) 能大量富集镉。杨兵等^[5]研究了香根草 (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash) 在铅锌尾矿上生长及其对重金属的吸收,结果表明:添加垃圾后香根草生物量显著增加,而仅加入 N、P、K 肥对其并无显著影响,尾矿中重金属形态的变化受金属特性和尾矿理化性质的双重影响。董军等^[6]对广东韶关铅锌矿冶区植被恢复地的土壤酶活性进行了测定,结果表明自然植被恢复地的脲酶、蛋白酶、过氧化氢酶、蔗糖酶活性高于人工植被恢复地和无植被覆盖地,其中脲酶、蛋白酶在自然植被恢复地的活性极显著。但是对铅污染区的植被恢复成功与否,首先取决于所选用的植物是否耐铅污染和对铅是否有较高的吸附功能。本文主要研究江西莲花县冶铅区植被的动态变化,深入了解野生植物中哪些种类的耐铅性较强,探讨其耐铅性生物学特征,为污染区的植被恢复寻找富铅植物提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

研究地点是江西省莲花县冶铅厂,该企业的前

身是国家造币厂,当时植被保存较好。1989年造币厂搬迁后于1995年改为冶铅厂。位于27°09'N, 113°58'E,年平均气温17.5℃,降水量1600~1700mm。海拔486.7m,周围最高海拔712m。属低山地貌;天然植被为亚热带常绿阔叶林。

1.2 研究方法

首先调查、分析冶铅区投产前后的植被变化,主要是植物种类的变化、植物群落的变化等,然后进行比较分析,找出耐铅性最强的植物。

1.2.1 植被调查分析 铅厂投产前的植被情况主要利用以前的调查记录和1km以外污染很轻的植被调查以及对污染区内的枯死树干进行形态特征辨识,然后综合确定。这次调查选择离烟囱1500m处污染很轻的植被进行调查,目的是弥补以前的调查资料和污染区内枯死树干辨识的不足。根据观察,1500m以外的植被生长发育正常,有利于提高物种鉴定的准确性。对现在污染区的植被,以烟囱为圆心,在半径50、100、150、300、1000m的圆面积内进行植物种类、盖度、乔木树高和胸径等全面调查。取样、测定时间2004年7月。最后1次的植被调查时间是2004年。

1.2.2 取样 在以冶铅厂排尘烟囱为中心的100m半径的圆周上,随机取6点,每点挖一个剖面,分0~10、10~30cm两层自下而上各取6kg土样。植物不同器官富集铅的测定取样是在100m半径的圆周上分别选取3株大青、3株夹竹桃(建厂时的绿化树种)和3株商陆,并连根挖出,按根、茎、枝(带芽)、叶分开装袋。测定前各器官迅速用蒸馏水轻轻清洗表面尘、泥,但不得浸泡在水中清洗。

1.2.3 测定 土壤以及植物体各器官富集铅的量采用原子吸收分光光度法^[7]进行测定,使用仪器为日立Z-8000型偏振塞曼原子吸收分光光度计;植物细胞质膜透性采用电导仪测定叶的电解质相对外渗率。测定时间为7月。

1.2.4 富铅速率的盆栽实验 把用于土壤各层含铅量测定的剩余土样混合作为盆栽土,并在非污染区的苗圃取12株1.2~2m高的夹竹桃分别栽于6个花盆中,每个花盆垫一个半径大小相近

的托盘,并在托盘与花盆之间放一块小石头,以便花盆渗水。雨后及时将托盘中的水倒回花盆,避免铅流失。

2 结果与分析

2.1 冶铅区植被变化

2.1.1 植物种类 根据以前的调查记录和离烟囱 1 500 m 处的植被样方调查以及污染区内的枯死树干辩识,污染前是保存较好的亚热带森林植被,在一个 20 m × 20 m 的样地中维管束植物 81 种,其中乔木树种有:罗浮栲 (*Castanopsis fabri* Hance)、石栎 (*Lithocarpus glaber* (Thunb.) Nakai)、青冈 (*Cyclobalanopsis glauca* (Thunb.) Oerst)、苦槠 (*Castanopsis sclerophylla* (Lindl.) Schottky)、白栎 (*Quercus fabri* Hance)、山乌桕 (*Sapium discolor* (Champ.) Muell)、拟赤杨 (*Alniphyllum fortunei* (Hemsl.) Perk.)、桃叶石楠 (*Photinia pnunifolia* (Hook et Am.) Lindl)、红叶树 (*Helicia cochinchinensis* Lour)、桢桐 (*Clerodendron japonicum* (Thunb.) Sweet)、盐肤木 (*Rhus chinensis* Mill) 等;灌木有:山苍子 (*Litsea cubeba* (Lour.) Pers)、白檀 (*Symplocos paniculata* (Thunb.) Miq)、豆腐柴 (*Prunna microphylla* Turcz)、狗骨柴 (*Tricalysia dubia* (Lindl.) Ohwi)、乌饭树 (*Vaccinium bracteatum* Thunb.)、淡竹 (*Phyllostachys nigra* var *henonis* (Mitf.) Stepf ex Rendle) 等;草本有:商陆 (*Phytolacca acinosa* Roxb.)、朝天罐 (*Osbeckia opiparea* C. Y. Wu et C. Chen)、星宿菜 (*Lysimachia fortunei* Maxim.)、荆三棱 (*Scirpus martinus* L.) 等;蕨类有:乌蕨 (*Stenoloma chusanum* (L.) Ching)、铁芒萁 (*Dicranopteris dichotoma* (Thunb.) Bernh.)、海金沙 (*Lygodium japonicum* (Thunb.) Sweet)、半边旗 (*Pteris semipinnata* L.) 等^[8]。

冶铅污染后于 2004 年调查,结果表明,50 m 半径的圆内无植物生存;100 m 半径的圆内只有 6 种生存,即夹竹桃 (*Nerium indicum* Mill)、大青 (*Clerodendrum cyrtophyllum* Turcz)、红叶树、苦槠、商陆、乌蕨;150 m 半径的圆内有 13 种生存,即 100 m 半径圆内的 6 种和淡竹、朝天罐、铁芒萁、海金沙、星宿菜、葡蕃 (*Broussonetia kaempferi* Sieb.)、荆三棱;300 m 半径的圆内有 21 种,即

150 m 半径圆内的 13 种和桢桐、盐肤木、山苍子、白檀、金毛耳草 (*Hedyotis chrysotricha* (Palib.) Merr.)、半边旗、紫花络石 (*Trachelospermum axillare* Hook. F.)、豆腐柴等;1 000 m 半径圆内有 59 种,包括 300 m 半径圆内的 21 种和网脉酸果藤 (*Embelia nudis* Hand. Mazz.)、五节芒 (*Miscanthus floridulus* (Labill.) Warb.) 等其他 38 种;1 000 m 以外污染较轻,很少有植物死亡。

2.1.2 冶铅区存留植物的构成与习性 冶铅区存留植物的生态习性不同(表 1),反映了不同植物种类对铅污染的不同适应性。半径从 50 m 到 300 m 的各圆内,乔木树种没有增加,灌木和蕨类增加较多,其中落叶灌木增加到 5 种;当半径增加到 1 000 m 时,由于污染程度降低,各种习性的物种都有增加,其中常绿灌木增加最多(18 种)。从生态习性看,不论在污染严重的半径较小的圆内,还是在污染较轻的大半径圆内,阳性植物占大多数,说明阳性植物的耐铅性可能比耐阴性植物强。

表 1 冶铅区存留植物的分布

项目	半径				
	50 m 圆内种数	100 m 圆内种数	150 m 圆内种数	300 m 圆内种数	1 000 m 圆内种数
乔木	常绿	2	2	2	6
	落叶			2	3
灌木	常绿	1	2	2	19
	落叶	1	2	5	7
草本	1 年生			1	3
	多年生	1	4	4	13
蕨类	常绿	1	3	4	4
	落叶			1	2
合计	0	6	13	21	59
耐阴性植物		1	2	3	11
阳性植物		5	11	18	48

2.1.3 冶铅区存留植物的生长变化 半径为 50 m 的圆内污染最严重,因而没有植物能够生存下来;半径 100 m 的圆内有 6 种植物存留下来,表现出较强的耐铅性。这 6 种植物在生长特性上表现出一定的差异(表 2)。相对而言,乔木生长没有其他种类好,灌木和草本及蕨类植物生长较好,其中夹竹桃、大青、商陆具有很高的耐铅性。表 2 中乔木和灌木有少量的细根变黑,这是随时间污染日趋加重所致,而那些不耐铅污染的植物早已死亡。

表 2 污染区半径 100 m 圆内 6 种高耐铅性植物的生长观察

物种	叶	茎	根	树冠枝叶浓密程度	生长状况	备注
红叶树	叶出现黄色斑点;叶色正常;生长期落叶约 15%;色泽正常。	灰褐色,正常。	土层 0~10 cm 内有少量细根变黑,大部分根正常。	枝叶比无污染危害时稀疏约 15%。	中等	乔木 21 年生
苦槠	叶缘出现不规则黄色斑块;叶色正常;生长期落叶达 20%;色泽稍暗。	灰白色,正常。	土层 0~10 cm 内有 15% 细根变黑,大部分根正常。	枝叶比无污染危害时稀疏约 20%。	中等	乔木 28 年生
夹竹桃	叶无斑块和斑点;叶色正常;生长期有少量落叶;色泽稍暗淡。	暗绿色,正常	土层 0~10 cm 内有少量细根变黑,大部分根正常。	枝叶浓密。	好	灌木 16 年生
大青	叶出现不规则黄色斑块,轻则为斑点;叶色正常;生长期无落叶。	灰白色,正常。	土层 0~10 cm 内有少量细根变黑,大部分根正常。	枝叶浓密。	好	灌木 12 年生
商陆	叶无斑块和斑点;叶色正常;生长期有少量落叶;色泽较淡。	正常。	土层 0~10 cm 内有少量细根变黑,大部分根正常。	枝叶浓密。	好	多年生草本
乌蕨	叶无斑块和斑点;叶色正常;生长期有少量落叶;色泽正常。		正常。		好	多年生蕨类

2.1.4 冶铅区植物群落变化 冶铅区从半径 50 m 到半径 300 m 的各个圆内,景观与植物群落外貌呈梯度性变化,即:半径 50 m 范围内全为裸土外貌;100、150 和 300 m 范围内只有零散的植物分布,不成群落;1 000 m 半径范围残留了一些群落,但乔木层树种大部分死亡,枯木林立;灌木和草本层密度较大,种类较丰富,如果及时停止污染,则向亚热带顶

级群落类型演替。在半径 1 000 m 的圆周上(以离烟囱 1 000 m 处为样地的最外一条边)设置 1 个 20 m × 20 m 的样地进行植物种类、盖度、乔木树高和胸径等调查,可以看到铅轻度污染时的群落结构特点(表 3):乔木稀疏,灌木丰富。由于乔木层遭到破坏,在轻度污染的群落中,淡竹等阳性植物开始侵入,形成以淡竹为优势的灌木层。

表 3 冶铅区 1 000 m 半径圆周附近植物群落结构特征

样地号	坡位	坡度 / (°)	乔木层				灌木层		草本层主要种	群落总盖度	
			优势种	优势树种胸径 / cm	乔木种数	郁闭度	优势树种高 / m	优势种			盖度
01	中	21	苦槠	19	9	0.3	12.4	淡竹	0.6	商陆、朝天罐、星宿菜等。	0.7

2.2 冶铅区主要植物耐铅性特征

由前面的分析可知,冶铅区内存留下来的夹竹桃、大青、商陆具有较强的耐铅性,因此进一步对它们分别不同的组织、器官进行实验分析,以验证其耐铅性特征的真实性与规律性。

2.2.1 土壤中铅含量的空间分布 表 4 结果表明,土壤中的铅主要分布在土层 0~10 cm,这与表 2 中根的观察分析相吻合。

表 4 土壤各层的含铅量

土壤垂直深度 / cm	含铅量 / (mg · kg ⁻¹)	备注
0~10	1 554.78	6 个取样点的平均值
10~30	29.8	6 个取样点的平均值

2.2.2 3 种耐铅性植物不同组织、器官的耐铅特征

表 5 反映了大青、夹竹桃和商陆 3 种植物耐铅性的一些特点:1)大青和夹竹桃的茎韧皮部均有较大的富铅能力,大青为 342.24 mg · kg⁻¹,夹竹桃为 349.17 mg · kg⁻¹(器官干质量)。韧皮部是活的细胞,含有细胞活性物质及液泡,能把铅带进液泡或与体内的其它活性物质形成络合物,从而减少铅的毒

害。2)商陆叶(包括茎)和根的富铅能力分别是大青叶的 16 倍、根的 3.3 倍;是夹竹桃叶的 13 倍、根的 1.5 倍。3)夹竹桃与大青比较,夹竹桃木质部和根的富铅量明显高于大青,而其他器官差异不大。原因是夹竹桃是须根型植物,吸附面积大;夹竹桃木质部具有无节乳汁管,可能对铅的富集更有效。

表 5 3 种耐铅植物(器官干质量)的富铅性特征

物种	mg · kg ⁻¹				
	叶	根	韧皮部	木质部	根系类型
大青	12.26	72.36	342.24	9.19	主根系
夹竹桃	15.0	156.95	349.17	28.92	须根系
商陆	197.9(茎和叶)	238.0			

2.2.3 铅污染对夹竹桃、大青细胞膜的影响 各种不良环境对细胞的影响往往首先是损伤细胞膜,细胞膜损伤后外渗液的电导率增加。于 7 月植物生长期选择冶铅区污染的大青、夹竹桃之叶和冶铅区以外未污染的大青、夹竹桃之叶,用电导仪测定细胞膜的透性,计算电解质相对外渗率(表 6)。由表 6 可知,污染与未污染的大青的叶细胞膜透性相对外渗率之差为 5%,而夹竹桃污染与未污染的叶细胞膜透性相对外渗率之差为

2.87%,说明铅污染对植物叶细胞膜有一定的损伤^[9],相对而言大青的细胞膜比夹竹桃更容易受到创伤。总之,这 2 种植物的叶细胞膜相对外渗率在污染与未污染条件下差异不大,说明都有较强的耐铅性。此外,各器官铅的含量在污染与未污染条件下差别较大,反映了这两个树种对铅污染有较大的富集潜力。其次,未污染的夹竹桃根的铅含量明显偏高,这可能与富集铅的过程有关,即初期根迅速吸附铅,达到一定阈值后通过机体转运到韧皮部等其它器官,因此,在土壤中铅的含量很低的情况下,根的含铅量较高。未污染的大青根含铅量较小,而茎的韧皮部较高,这可能是大青的根吸收铅后迅速转运到韧皮部等器官所致,这反映了大青富集铅的过程可能与夹竹桃有区别。

表 6 大青、夹竹桃叶细胞膜透性相对外渗率与各器官的含铅量

物种	污染状况	外渗率 / %	吸附铅量 / (mg · kg ⁻¹)			
			叶	根	韧皮部	木质部
大青	污染	22.75	12.26	72.36	342.24	9.19
	未污染	17.75	3.71	8.18	14.48	1.22
夹竹桃	污染	7.92	15.0	156.95	349.17	28.92
	未污染	5.05	1.8	26.72	1.98	1.1

2.2.4 夹竹桃的富铅速率 由表 5 和表 7 比较可知: 1) 盆栽夹竹桃的根含铅量高于污染区中夹竹桃的根,原因是盆栽空间较小,土壤中的铅相对均匀、相对集中,根与铅结合的机会增加,因而出现这种差异。2) 盆栽中韧皮部富集铅的量明显低于污染区,叶和木质部富集铅的量仅略高于污染区的相应器官。原因可能是植物的抗重金属污染在生理上表现为 2 个过程。首先是被动吸收过程,初期根周围的重金属随着根吸收水分的过程进入木质部甚至到达叶的维管束。这个过程时间较短,效果明显。当进入第 2 个过程,即主动吸收过程,重金属与叶的光合作用产物相互作用,并随有机物的转运而进入韧皮部。这个过程相对需要较长的时间,抗性强的植物能吸收大量的重金属,并通过生理途径进行内化而不产生毒害^[10],抗性较弱的植物即便死亡。盆栽的夹竹桃时间短,以被动吸收为主,而污染区的夹竹桃时间长,以主动吸收为主,因此出现表 7 所示的差异。3) 富铅速率在前 4 个月最快。

表 7 夹竹桃各器官富铅速率 mg · kg⁻¹

项目	叶	根	韧皮部	木质部
盆栽 4 个月	3.10	442.18	6.82	3.85
盆栽 12 个月	17.16	562.05	49.23	44.17

3 结论

(1) 通过冶铅区植被变化和相应的植物耐铅性特征分析,在残留的植物中富铅能力夹竹桃 > 大青 > 商陆,这 3 种植物都有较强的抗铅性,可用于铅污染地区的植被恢复。

(2) 木本植物茎的韧皮部富铅最高,其次是草本植物的叶和茎。不同器官吸附铅的能力是:大青为茎的韧皮部 > 根 > 叶 > 茎的木质部;夹竹桃为茎的韧皮部 > 根 > 茎的木质部 > 叶。这两个树种在茎的木质部和根的富铅量上差异明显。夹竹桃的富铅速率在生长期前 4 个月最快。

(3) 冶铅区以烟囱为中心,半径从 50 m 到 300 m 的各圆内,乔木树种没有增加,灌木和蕨类增加较多,其中落叶灌木增加到 5 种;当半径增加到 1 000 m 时,由于污染程度降低,各种习性的植物都有增加,其中常绿灌木增加最多。不论在污染严重的圆内还是在污染较轻的圆内,阳性植物占大多数,说明阳性植物的耐铅性可能比耐阴性植物强。

(4) 冶铅区的铅污染主要分布在 0 ~ 10 cm 的土层中,如果污染不停止,则可能通过水体造成异地污染,扩大污染范围。因此,在冶铅区污染严重的地段进行植被恢复时,应辅以工程措施,减少水土流失;同时采用须根系植物或扦插苗造林,适当配置草本植物,这样有利于污染区的植被恢复。

参考文献:

- [1] 张正洁,李东红,许增贵.我国铅污染现状、原因及对策[J].环境保护科学,2005,31(130):41-42
- [2] 孙庆业,蓝崇钰,黄铭洪,等.铅锌尾矿上自然定居植物[J].生态学报,2001,21(9):1457-1462
- [3] 张金桃,杨清伟.植被重建对铅锌冶炼区退化生态系统土壤环境质量的影响[J].湖南有色金属,2004,20(5):29-32
- [4] 吴双桃,吴晓芙,胡日利,等.铅锌冶炼厂土壤污染及重金属富集植物的研究[J].生态环境,2004,13(2):156-160
- [5] 杨兵,蓝崇钰,束文圣.香根草在铅锌尾矿上生长及其对重金属的吸收[J].生态学报,2005,25(1):45-50
- [6] 董军,杨清伟,栾天罡,等.Pb/Zn 矿冶区植被恢复地土壤酶的活性特征[J].应用与环境学报,2006,12(2):200-202
- [7] 汤章城,魏家绵,陈因,等.现代植物生理学实验指南[M].北京:科学出版社,1999
- [8] 傅立国,陈谭清,郎楷永,等.中国高等植物(第 4~9 卷)[M].青岛:青岛出版社,1999
- [9] 蒋高明,常杰,高玉葆.植物生理生态学[M].北京:高等教育出版社,2004
- [10] 李培军,孙铁珩,巩宗强,等.污染土壤生态修复理论内涵的初探[J].应用生态学报,2006,17(4):561-565