

文章编号:1001-1498(2005)03-0246-04

柴河铅锌尾矿耐性植物与优势植物的 重金属含量研究*

刘成志¹, 尚鹤², 姚斌², 于成志¹, 梁景森², 胡希优²

(1. 辽宁省铁岭市林业科学研究院, 辽宁 铁岭 112000; 2. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 北京 100091)

摘要:通过实地调查取样,分析了辽宁省铁岭柴河铅锌尾矿库内受尾矿污染的土壤重金属含量,以及生长于其上的9种植物对Cu、Cd、Pb和Zn的吸收和富集能力。结果表明,Zn在小叶杨和刺玫蔷薇体内的含量较高;Cd在小叶杨和白莲蒿体内积累较多;而Pb在绣球绣线菊和华北蓝盆花中积累较多。但各种植物对重金属的富集能力均未达到超富集植物的要求,需采取综合农艺措施进行铅锌尾矿库污染土壤的植物修复重建工作。

关键词:铅锌尾矿;植物修复;重金属;金属耐性植物;辽宁

中图分类号:S718.43 **文献标识码:**A

A Survey on Heavy-metal Content in Plants and Soils in Zinc-lead Mine Tailing Wasteland

LIU Chengzhi¹, SHANG He², YAO Bin², YU Chengzhi¹, LIANG Jing-sen², HU Xi-you²

(1. Tieling Institute of Forestry, Liaoning Province, Tieling 112000, Liaoning, China;

2. Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, CAF, Beijing 100091, China)

Abstract: A survey on soils and nine plants growing on the soil polluted by Zinc-lead mine tailing wasteland in Tieling City was conducted. The concentration and heavy-metal enrichment abilities of Cu, Cd, Zn and Pb in the nine plants were measured. *Populus simonii* and *Rosa davurica* were proved to have certainly Zn-tolerant ability. The concentration of Cd in *Populus simonii* and *Artemisia sacrorum* were higher than that of other species. While Pb were higher in *Spiraea blumei* and *Scabiosa tchiliensis*. However, no hyperaccumulators of these four heavy metals were found in the survey. Further research on how to remediate the zinc-lead contaminated soil by integrated methods should be conducted.

Key words: tailing wasteland of Zn and Pb; phytoremediation; heavy metal; metal-tolerant plant; Liaoning Province

由于重金属有很高的植物毒性,因此,受重金属严重污染的土壤或者是富含重金属的冶炼渣、尾矿、矿石露头区、开采区域等地带的植被往往严重退化或者是寸草不生。但经几十年甚至数千年的自然演替,随着土壤条件的逐步改善,重金属毒性的降低,以及重金属耐性植物的侵入,这些重金属异常区也

会形成独特的植被。这些与重金属密切相关的植被统称为金属型植物^[1]。近年来,随着重金属污染土地植被重建和植物修复研究的兴起,人们越来越重视对金属型植被的研究^[2]。因为在重金属异常区的自然植被中,由于自然选择的作用,往往包含着大量的重金属耐性植物、重金属富集植物和指示植物,这

收稿日期:2005-02-06

基金项目:科技部基础公益研究专项(2003),国家林业局“948”项目(2002-16)和中国林业科学研究院森林生态环境重点实验室基金资助。

作者简介:刘成志(1963—),男,辽宁铁岭人,高级工程师。

*样品分析测试得到中国林业科学研究院分析中心刘惠文高级工程师的大力协助,特此致谢。

些植物在重金属污染土地的植被重建和植被修复中起着决定性作用。同时,这些植物在进化、遗传、生理、生化、生物地球化学领域也有着重要的研究价值^[3]。辽宁省铁岭市柴河铅锌矿已具有很长的开采历史,经自然演替,铅锌尾矿库已形成了一定数量的植被。显然,这些植被可能会含有重金属耐性植物,并有重金属超富集植物存在的可能。鉴此,以柴河铅锌尾矿为例,对尾矿废弃地上生长的植物进行调查,研究尾矿重金属对当地植物的毒害作用,希望找到适宜于进行植物修复的重金属耐性植物和超积累植物,用来指导柴河铅锌矿区污染土壤的植物修复重建工作。

1 材料与方法

1.1 研究地区自然概况

调查的铅锌矿区位于辽宁省的铁岭市境内,42°11'09" N、124°18'24" E,海拔300~350 m。属温带半湿润大陆性季风气候区,年平均气温7.8℃,1月平均气温-12.9℃,7月平均气温为24.4℃;年降水量600~800 mm,平均年降水量654.9 mm,降水随季节分配不均,冬季少,仅为17.2 mm,春季113.2 mm,夏季降水量多达440.1 mm,占全年降水量的63.0%,秋季降水量为130.4 mm。历年平均无霜期135~155 d,最长达207 d,最少126 d。

1.2 土壤和植物样品的采集

根据矿区废渣堆积点的分布情况,为充分调查这些地区可能生长的植物种类,2003年8月对柴河铅锌矿山进行了一次详细的生态调查,调查点分别选在尾矿库、尾矿库附近山地和矿床远离区的李地沟,并在相应的调查点采集土壤和植物样品以供重金属含量分析。在每一样点采用交叉间隔布点法,选取有代表性、生长旺盛、数量较多的植物。采集到的植物种类主要有:刺玫蔷薇(*Rosa davurica* Pall.)、

野古草(*Arundinella hirta* (Thunb.) Tanaka)、野亚麻(*Linum stelleroides* Planch.)、狗舌草(*Tephrosia kirilowii* (Tercz. ex DC.) Holub)、白颖苔草(*Carex rigescens* (Franch.) V. Krecz)、白莲蒿(*Artemisia gmelinii* Web. ex Stechm.)、华北蓝盆花(*Scabiosa tschiliensis* Grun.)、小叶杨(*Populus simonii* Carr.)和绣球绣线菊(*Spiraea blumei* G. Don)等,同时在植物样品采集点采集土样品。

1.3 土壤和植物样品分析

采矿区表层(0~20 cm)的土壤样品,经自然风干后,磨碎过筛,采用王水消煮-ICP法测定土壤重金属全量^[4]。

pH计测定土壤pH值。

矿山的植物样品先用自来水冲洗数遍,再用蒸馏水冲洗2~3遍,在65℃烘干,磨碎后通过60目的尼龙筛,过筛后的样品用以测定植物体内的重金属含量。植物样品550 mg马福炉灰化4 h,再用1:1(v/v) HCl溶解,0.1N HCl定容,过滤。最后用ICP测定植物各部位重金属含量^[5]。

2 结果与分析

2.1 柴河铅锌尾矿库区土壤重金属含量

表1为柴河铅锌尾矿库土壤样品测定结果。结果显示,尾矿库土壤中Cu含量是辽宁省平均值的5倍,Cd是467倍,Pb是51倍,Zn是9倍。如此的重金属含量对绝大多数的植物的生长发育都会产生抑制和毒害作用^[6]。其间生长的植物,主要是草本植物,植株矮小、根系短浅。尾矿库附近的山地土壤矿渣相对较多,对植物的生长有一定的影响,但其影响程度小于尾矿库矿渣土壤。远离尾矿库的李地沟小桥附近土壤中仅有小部分的矿渣,土壤的通气透水性能较好,对植物生长的障碍不大,因而植物生长良好,根系发达。

表1 柴河铅锌矿矿渣土壤的重金属含量

土壤样品	pH值	Cu	Cd	Pb	Zn
尾矿库	7.24	103.31 ±9.46	50.46 ±5.68	1 100.5 ±98.2	591.24 ±48.25
山地	7.19	31.24 ±1.12	25.23 ±2.14	546.25 ±46.38	381.24 ±23.68
李地沟	6.82	29.93 ±2.54	14.64 ±1.25	339.54 ±32.65	223.62 ±30.28
背景值	-	19.8 ±8.1	0.108 ±0.07	21.4 ±6.83	63.5 ±22.53

2.2 不同取样点相同植物体内重金属含量

为探寻矿区不同取样点相同植物体内重金属的

积累状况。选取尾矿库和山地3种有代表性的土著植物进行根部重金属含量分析。结果见表2。

表2 相同种类植物体内重金属含量监测结果

植物品种	采样地	mg kg ⁻¹			
		Cu	Cd	Pb	Zn
绣球绣线菊	尾矿库	25.92 ±3.16	3.62 ±0.53	236.18 ±19.27	309.07 ±29.78
	山地	20.21 ±1.96	1.58 ±0.46	86.14 ±7.85	140.52 ±10.62
刺玫蔷薇	尾矿库	14.75 ±1.15	6.53 ±0.74	3.12 ±1.12	483.73 ±36.24
	山地	11.13 ±1.04	2.63 ±0.43	7.52 ±1.28	185.80 ±15.38
小叶杨	尾矿库	12.95 ±1.64	10.30 ±1.08	159.02 ±19.23	753.88 ±68.87
	山地	6.10 ±0.84	7.44 ±0.84	39.06 ±4.68	398.94 ±26.48

分析结果显示,铅锌尾矿库代表性植物体内的重金属含量明显高于山地同类植物体内的。这与两者土壤中重金属的含量情况相符。表明尾矿库地表植被可以耐受更高浓度的重金属。实地调查表明,尾矿库地表植被长势较弱,生物量较小,植物根系较浅。植物的生长在一定程度上受到土壤重金属污染的影响。

2.3 尾矿库植物体内重金属的吸收积累情况

柴河铅锌矿尾矿库主要是由矿石经磨碎、精选后所剩的细砂粒堆积而成,其海拔较高,人为改良因素少,大部分尾矿具有昼夜表面温差大,稳定性差,表面松散,干燥时形成风扬现象,少部分尾矿场则出现水湿环境,土壤表面出现板结现象等特征,均不利于植物的生长^[7,8]。

为了在铅锌尾矿库寻找耐受重金属或具有超积累特性的植物,对尾矿库采集的优势植物进行了重

金属含量分析。采集植物对 Pb、Zn、Cd 和 Cu 4 种重金属吸收程度各不相同,每种植物在根、茎、叶不同部位中 4 种重金属含量也各不相同(见表 3)。总体而言,植物体内 Zn 的含量最高,Cd 的含量也较高,Pb 的含量次之,植物体内 Cu 的含量最低。显然这基本反应了土壤的重金属含量,与一般的研究结果是一致的^[9]。研究结果表明不同植物对金属的吸收有着较大的差异。就 Zn 在植物体内积累状况而言,小叶杨的含量最高,刺玫蔷薇体内含量次之;白莲蒿和绣球绣线菊 Zn 的含量最低。重金属 Cd 在小叶杨和白莲蒿体内积累较多;而 Pb 在绣球绣线菊和华北蓝盆花中积累较多。总体而言,植物体内的重金属主要积累于根部,地上部分的含量相对较低。同时,叶子中的重金属含量一般高于茎,这可能是植物重金属耐性的一种对策,因为植物可以通过落叶而将金属排出体外^[10,11]。

表3 柴河铅锌矿尾矿库 9 种优势植物的重金属含量

种类	部位	mg kg ⁻¹			
		Cu	Pb	Zn	Cd
刺玫蔷薇	叶	19.34 ±1.38	4.57 ±0.86	1 441.36 ±128.64	6.35 ±0.84
	根	14.75 ±1.15	3.12 ±0.74	483.73 ±36.24	6.53 ±1.12
野古草	叶	10.05 ±1.26	17.27 ±2.16	368.70 ±28.46	1.44 ±0.2
	根	10.12 ±1.84	35.35 ±3.24	645.99 ±50.84	3.97 ±0.6
野亚麻	叶	17.94 ±1.54	26.86 ±1.94	350.10 ±29.24	2.98 ±0.72
	根	53.40 ±4.22	50.95 ±3.68	620.89 ±57.69	7.52 ±0.49
狗舌草	叶	11.05 ±1.67	119.91 ±9.47	878.71 ±79.58	7.92 ±0.37
	根	16.59 ±1.35	159.88 ±10.25	723.53 ±68.24	7.81 ±1.05
白颖苔草	叶	19.18 ±2.14	29.44 ±1.68	560.27 ±46.19	1.96 ±0.3
	根	25.66 ±2.58	142.76 ±12.24	848.66 ±80.21	8.08 ±1.24
白莲蒿	叶	35.97 ±3.45	131.31 ±9.61	709.12 ±69.32	18.89 ±2.01
	茎	8.09 ±1.02	36.17 ±2.14	141.41 ±12.04	4.71 ±0.35
	根	14.28 ±2.16	57.41 ±4.86	282.62 ±21.35	6.49 ±0.46
华北蓝盆花	叶	16.58 ±1.46	15.05 ±1.21	261.24 ±30.24	1.11 ±0.23
	茎	13.45 ±1.84	25.47 ±2.46	174.02 ±19.54	2.24 ±0.45
	根	37.56 ±3.24	228.18 ±15.28	785.96 ±79.56	8.64 ±0.68
小叶杨	叶	12.87 ±1.54	28.22 ±2.98	1 524.17 ±112.32	15.09 ±0.37
	茎	13.36 ±1.98	58.23 ±8.24	701.07 ±82.31	12.55 ±0.48
	根	12.96 ±1.64	159.02 ±19.23	753.88 ±68.87	10.30 ±1.08
绣球绣线菊	叶	21.34 ±1.58	75.39 ±5.28	385.41 ±40.26	4.17 ±0.65
	茎	12.80 ±2.13	44.30 ±4.39	140.88 ±18.65	2.74 ±0.48
	根	25.92 ±3.16	236.18 ±19.27	309.07 ±29.78	3.62 ±0.53

特别要指出的是,柴河铅锌尾矿库地表植被中重金属 Zn 在小叶杨和刺玫蔷薇地上部分(DW)中的质量分数达 1 524.17 和 1 441.36 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。但根据 Brooks 对超富集植物的定义,植物地上部分(DW)能富集 100 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的 Cd, 1 000 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的 Pb、Cu、Ni 和 10 000 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的 Zn 则称之为超富集植物^[12]。小叶杨和刺玫蔷薇对重金属 Zn 的积累量远低于 Brooks 定义的重金属超积累植物标准。因此,可以认为柴河铅锌尾矿库地表代表性植被中不存在重金属耐性植物。

由于通过不断的种植和收割超富集或重金属耐性植物可以逐步去除土壤中的重金属污染,即植物修复。国内的重金属超积累植物研究主要集中在南方,对北方矿区的关注较少^[13,14]。实地调查发现,柴河铅锌尾矿库生长的小叶杨和刺玫蔷薇对重金属 Zn 具有较高的耐性,虽然其体内重金属含量远低于 Brooks 定义的重金属超积累植物标准,但由于自然选择的原因,其已经适应柴河铅锌尾矿库的特殊生境:能够耐受较高重金属,适应柴河铅锌尾矿库贫瘠、干旱等不良环境,因此在矿业废弃地的植物重建中具有一定的应用价值。通过客土、施肥及相关的综合农艺措施提高其生物量及加大扩展地下根系的分布范围,也可以达到保持水土,逐步降低尾矿库重金属污染状况的目的。此不失为柴河铅锌尾矿库重金属污染土壤植物修复重建的有效途径。

3 结论

柴河铅锌尾矿不良的物理性质、养分贫瘠及过高的重金属浓度是限制植物在其上正常定居的主要因素。柴河铅锌尾矿库重金属污染土壤上分布的植物种类单一,试验研究的 9 种植物均为广布性、耐贫瘠、对环境适应性强的物种,是重金属污染土壤上的优势植物。它们对尾矿的植被重建、生态恢复具有重要的意义。柴河铅锌尾矿库重金属污染土壤的

理化性质太差,必须将土壤改良技术与植物修复技术结合起来,找到适于当地的生物修复技术,这是今后工作的重点。

参考文献:

- [1] Ernst W H O. Mine vegetation in Europe[A]. In: Shaw A J. Heavy Metal Tolerance in Plants: Evolutionary Aspects [M]. Boca Raton, Florida: CRC press, 1989: 21 ~ 38
- [2] Bradshaw A D, Chadwick M J. The Restoration of Land[M]. Berkeley: University of California press, 1980
- [3] Megher R B. Phytoremediation of toxic elemental and organic pollutants [J]. *Curr Opin in Pl Biol*, 2000, 3(2): 153 ~ 162
- [4] 袁大伟. 土壤中铜、锌、镉、镍、锰的测定预处理方法比较研究[J]. *农业环境保护*, 1988, 7(1): 34 ~ 36
- [5] Khan A G, Kuek C, Chaudhry T M, et al. Role of plants, mycorrhizae and phytochelators in heavy metal contaminated land remediation. *Chemosphere* [J], 2000, 41(1 ~ 2): 197 ~ 207
- [6] 束文圣, 蓝崇钰, 张志权. 凡口铅锌尾矿影响植物定居的主要因素分析[J]. *应用生态学报*, 1997, 8(3): 314 ~ 318
- [7] Wenzel W W, Jockwer F. Accumulation of heavy metals in plants grown on mineralized soils of the Austrian Alps [J]. *Environ. Pollut*, 1999, 104: 145 ~ 150
- [8] 刘登义, 田胜尼, 杨世勇, 等. 铜尾矿对 5 种豆科植物种子萌发和幼苗生长影响的初步研究[J]. *应用生态学报*, 2002, 13(5): 596 ~ 600
- [9] Wong M H. Reclamation of wastes contaminated by copper, lead and zinc. [J] *Environ Manag*, 1986, 10(6): 707 ~ 713
- [10] Adriano D C. Trace Elements in the Terrestrial Environment [M]. New York: Springer Verlag, 1986
- [11] Baker A J M, Walker P L. Ecophysiology of metal uptake by tolerant plant [A]. In: Shaw A J. Heavy Metal Tolerance in Plants: Evolutionary Aspects [M]. Boca Raton: CRC press Inc., 1989: 155 ~ 178
- [12] Dahmani M H, Vanort F C, Celie B L. Strategies of heavy metal uptake by three plant species growing near a metal smelter [J]. *Environ Pollut*, 2000, 109: 231 ~ 238
- [13] 束文胜, 杨开颜, 张志权, 等. 湖北铜绿山古铜矿冶炼渣植被与优势植物的重金属含量研究[J]. *应用与环境生物学报*, 2001, 7(1): 7 ~ 12
- [14] 李影, 王友保, 刘登义. 安徽铜陵狮子山铜尾矿场植被调查[J]. *应用生态学报*, 2003, 14(11): 1981 ~ 1984