

安徽铜陵矿区优势植物的重金属富集特性研究

曹德菊¹, 王光宇², 汪 琰¹, 项 剑¹, 司友斌¹

(1.安徽农业大学资源与环境学院,安徽 合肥 230036;2.安徽省农科院,安徽 合肥 230031)

摘 要:调查了安徽省铜陵宝山矿区自然植被,记录了 11 种植物,优势度较高种分别为鸭跖草、酸模、空心泡,并分析了以上 3 种优势植物和相关土壤中重金属 Zn、Mn、Pb、Cd、Cr、Fe、Cu 的含量,研究了优势植物体的重金属富集特性。结果表明,3 种植物对重金属的吸收有较大差异,鸭跖草是 Cu 的超富集植物,空心泡和酸模属于 Cu 耐性植物。Pb 在鸭跖草中含量较高,而酸模的地上/根比高达 17.2,说明两者对 Pb 有富集能力。而空心泡中重金属含量较低,另鸭跖草对 Zn、Cr,空心泡对 Mn 及 3 种优势植物对 Cd 都有富集趋势,但不是 Fe 的累集植物。

关键词:优势度; 重金属; 超富集植物; 鸭跖草; 空心泡; 酸模

中图分类号:X753 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2005)06-1079-04

Accumulation of Heavy Metals in Dominant Plants Growing on Mineral Areas in Anhui Tongling

CAO De-ju¹, WANG Guang-yu², WANG Yan¹, XIANG Jian¹, SI You-bin¹

(1. College of Environment and Resource, Anhui Agricultural University, Hefei, 230036; 2. Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei, 230031)

Abstract: A survey was conducted in order to investigate the natural plant resources in Baoshan Mineral Area. 11 species were found growing on the soil heap, including 3 dominant species: *Cpmmelina communis*, *Rosacfolius smith* and *Rumex acetosa*. The concentrations of selected heavy metals Zn, Mn, Pb, Cd, Cr, Fe, Cu in dominant plants and soil in Baoshan Mineral Area were analyzed. In addition, characters of accumulation for the heavy metals in the dominant plants from soils were evaluated. It has been found that the concentrations of heavy metals in the plants were quite different. *Cpmmelina communis* is hyper-accumulation of Cu, because the concentrations of Cu in shoot and root of this species were higher and the ratio is higher than 1 and accumulation coefficient of heave mentals in *Cpmmelina communis* is higher than 1. The accumulation coefficient of Pb in *Cpmmelina communis* is higher and the ratio in *Rumex acetosa* is 17.2, showing that *Cpmmelina communis* and *Rumex acetosa* can accumulate Pb. In addition, *Cpmmelina communis* towards Zn, Cr, *Rosacfolius smith* towards Mn exhibited more or less accumulation, but they were not capable of accumulation of Fe.

Keywords: preponderance degree; heavy metals; hyper-accumulation; *Cpmmelina communis*;

Rosacfolius smith *Rumex acetosa*

矿区重金属污染已引起广泛关注,其生态系统也极度退化^[1]。有一些自然生长在重金属污染土壤上的植物能够在它们的地上部分富集较高的重金属,即超富集型植物,可利用其生物修复重金属污染土壤同时改善生态系统的环境质量^[2,3,5-8]。已发现 400 多种超富

集植物,但主要是 Ni 的超富集植物,Cu 超富集植物只有 24 种,我国发现的 Cu 富集植物和超富集植物有唇形科、鸭跖草科、蓼科、豆科等^[2]。铜陵宝山矿区位于江南古铜矿带上,山上形成了良好的植被,这些植被可能为重金属耐性植物,或为重金属超富集植物。据此,本文调查了宝山铜矿区的主要自然植被,分析优势植物的重金属含量及其与相关土壤中重金属含量的关系,研究优势植物的重金属富集特性,这对重金属污染土壤的植物修复,改善重金属污染区的生态环境具有重要的实践意义。

收稿日期:2005-01-21

基金项目:国家科技部重点项目(02221401);安徽省高等学校“十五”优秀人才计划资助项目[2003] 022

作者简介:曹德菊(1965—),女,安徽省含山人,副教授,硕士,主要从事环境污染生物修复及污染评价研究。

E-mail:caodeju@etang.com

1 矿区概况与研究方法

1.1 矿区概况

宝山矿区位于安徽省铜陵市西南,东经 117°42′00″~118°10′6″,北纬 30°45′12″~31°07′56″,属于亚热带湿润季风气候,气候温暖湿润,春夏多雨,无霜期长,四季分明,年平均降水量 1 370 mm,年平均气温 16.2℃,全年日照 2 000~2 500 h,全矿总面积 1.5 km²,矿区地貌为低山,丘陵,海拔在 150~320 m。

1.2 研究方法

1.2.1 野外调查与采样

2004 年 4—7 月调查了宝山矿区生态环境,记录了 11 种自然定居于宝山的高等植物,分析其优势度,确定优势植物,并采集优势植物地上部分。同时在植物根系挖掘一定深度的剖面,采集根系样品。地上部分与根系分别取样 3 份,然后采集 0~20 cm 根系土样^[3]。

1.2.2 试验仪器

美国 ThermoElenent SOLAAR M5 型原子吸收光度计。

1.2.3 植物与土壤样品制备与分析

植物样品洗净后用蒸馏去离子水冲洗干净,将根、茎、叶分开取材,60℃恒温烘烤干至恒重,于研钵内,研成粉末状,备用。准确称取 1.000 g 样品,于 150 mL 三角瓶内,加入 10 mL 硝酸和 1 mLH₂SO₄ 浸泡过夜,于电热板上消解,至溶液接近无色透明且无油层,定容 50 mL,待测。同时做空白对照^[4]。

土壤样品风干,磨碎,过 60 目筛,供分析使用。称取 0.5 g 土样,用 HNO₃-H₂SO₄-HCl 溶解消化,消解步骤同上。

将处理好的植物与土壤样品于原子吸收分光光度计上测定 Zn、Mn、Pb、Cd、Cr、Fe、Cu 含量。

2 结果与分析

2.1 矿区植被群落

本次调查共记录了 11 种高等植物,从自然生态型来看,主要以一年生草本和多年生植物为主,乔木 2 种,即女贞和泡桐,见表 1。

表 1 结果表明安徽铜陵宝山矿区以草本植物占优势,这可能是与草本植物相对较易形成植物的重金属耐性有关。通过调查分析,酸模、鸭跖草和空心泡为优势度较高植物。植物在重金属毒性较高的矿区土地上能成功定居,主要有 3 种生态对策:耐性对策、根茎

表 1 宝山矿区的植物种类组成
Table 1 The plant composition in Baoshan mineral area

编号	植物种类		分类	优势度
1	酸模	<i>Rumex acetosa</i>	一年生草本	60%
2	鸭跖草	<i>Cpmmelina communis</i>	一年生草本	20%
3	空心泡	<i>Rosacofolius smith</i>	小灌木	10%
4	海州香薷	<i>Elsholtzia splendens</i>	一年生草本	5%
5	蝇子草	<i>Silene Fortunei</i>	多年生草本	偶见种
6	葛	<i>Pueraria lobata</i>	葛	偶见种
7	苜蓿	<i>Medicago sp.</i>	苜蓿	偶见种
8	女贞	<i>Ligustrum groffiae Merr.</i>	乔木	偶见种
9	泡桐	<i>Paulownia tomentosa</i>	乔木	偶见种
10	头花蓼	<i>Polygonum capitatum</i>	多年生草本	偶见种
11	马齿苋	<i>Portulaca oleracea</i>	一年生草本	偶见种

对策和微生境(逃避)对策^[1,2,6,7,10]。即对于优势度很低的偶见种来说,一般是定居于先锋植物的枯枝落叶,动物粪便或是人为干扰形成的营养状况较好、重金属毒性较低的微生境中,这些植物本身不具有重金属耐性,调查发现宝山矿区自然定居的大部分偶见种都属于这种情况。而优势度较高的植物如酸模、鸭跖草,则可能为重金属耐性或重金属超富集植物。另野外调查发现空心泡的根茎发达,通过根茎的延伸进行营养繁殖,因而优势度较高,可能属于根茎对策。

2.2 铜矿区优势植物体内重金属元素含量

对铜陵宝山矿区 3 种优势植物体内 7 种重金属元素的含量进行分析,结果见表 2。

研究表明不同植物对金属的吸收特性差异较大,3 种优势植物 Cu 含量排序为:鸭跖草>酸模>空心泡。3 种优势植物体内 Fe、Cu 含量均较高,Mn 和 Zn 的含量次之,Cd、Cr 的含量较低,Pb 在鸭跖草种的含量较高,而在另 2 种植物种含量较低,空心泡体内的 Mn 的浓度高于其他 2 种植物。此外,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。

重金属超累积植物是对重金属吸收量超过一般植物 100 倍以上(Cr、Cu、Pb 含量在 0.1%以上;Zn、Mn 含量在 1%以上),地上/根比值比值>1^[8,11]。从表 2 可知,3 种植物体内重金属含量地上/根>1 的有鸭跖草的 Zn(1.21)、Cr(1.77)、Cu(1.07),酸模的 Pb(17.12)和空心泡的 Mn(2.58)。说明鸭跖草是 Cu 的积累型植物,对 Zn、Cr 也有富集的趋势。对 3 种优势植物 Zn、Cr、Cu 地上部分/地下部分进行新复极差测验差异显著。特别要强调的是酸模 Pb 的地上/根比高达 17.12,和鸭跖草、空心泡差异极显著,说明酸模对 Pb 的富集性能力强。空心泡的 Mn 含量地上/地下和酸模、鸭跖草差异显著,说明空心泡的 Mn 富集效果较好。表 2 同时

表 2 宝山矿区 3 种优势植物重金属含量与分布(mg·kg⁻¹)

Table 2 The concentrations and distributions of heave metals in dominant species in Baoshan mineral area

物种	部位	Zn	Mn	Pb	Cd	Cr	Fe	Cu
鸭跖草	地上部分	278.8±2.56	37.13±1.56	767.8±3.34	0.15±0.03	32.83±1.23	915.1±3.36	1247±5.76
	根部	230.2±2.59	61.51±2.77	898.6±4.02	0.75±0.04	18.55±0.78	1748.8±4.66	1165±3.55
	地上/根部	1.21 ^a	0.60 ^b	0.85 ^B	0.20 ^a	1.77 ^a	0.52 ^a	1.07 ^a
酸模	地上部分	37.85±1.25	15.21±0.89	78.58±0.57	0.05±0.01	20.43±0.76	465.99±1.37	336.9±1.1
	根部	44.64±2.03	27.33±0.78	4.59±0.35	1.79±0.02	24.22±0.56	487.19±2.11	452.6±2. 3
	地上/根部	0.85 ^b	0.56 ^b	17.12 ^A	0.03 ^b	0.84 ^b	0.96 ^a	0.74 ^b
空心泡	地上部分	79.83±1.45	51.95±0.56	9.34±0.23	0.11±0.03	13.98±1.01	294.6±2.39	13.71±0.88
	根部	116.3±1.78	20.12±0.27	18.80±0.55	0.90±0.31	40.95±1. 98	398.5±1.98	23.21±1.07
	地上/根部	0.69 ^b	2.58 ^a	0.50 ^B	0.12 ^a	0.34 ^b	0.74 ^a	0.59 ^b

注:同列肩上不同字母表示差异显著,小写字母显著水平为 0.05,大写字母显著水平为 0.01。

显示,鸭跖草地上部和地下部 Pb 的平均含量高达 767.8 mg·kg⁻¹ 和 898 mg·kg⁻¹,虽然含量没有达到 2 种植物的临界浓度,但对毒性较强的 Pb 元素的生物修复是值得研究的。而酸模和空心泡 Cu 含量地上/根<1,且空心泡体内的含 Cu 量也较低,而在铜矿区能成为优势植物,表现出空心泡具有排斥型植物的生态特征。某些植物根系所吸附与吸收的重金属较少输送到地上部分,存在拦截运输机制,这可能是抗性较强的原因之一。

2.3 优势植物对土壤中的重金属元素的富集放大

土壤与植物间重金属含量是直接相关的。试验分析了宝山矿区土样中重金属含量,为进一步反映植物对重金属的富集能力,计算了优势植物地上部分对重金属的富集系数。富集系数=植物重金属含量/土壤重金属含量,显然富集系数越高,表明植物对该金属的吸收能力越强,结果见表 3。土壤中的 Fe 和 Cu 含量较高,Cu 含量为 1 047.66 mg·kg⁻¹,Fe 含量为 30 695.35 mg·kg⁻¹,均显著超过国家二级标准^[9]。与上 2.2 部分研究结果植物体内的 Fe、Cu 含量有一定相关性。土壤中 Zn、Cd 含量高于标准,而 Pb、Cr 未超标准。Cu 是植物生长所必需的微量元素,但过量的 Cu 却有着很高

的植物毒性,正常土壤中的总 Cu 含量一般为 30 mg·kg⁻¹(2~250 mg·kg⁻¹),土壤中总 Cu 含量达到 150~400 mg·kg⁻¹ 就会对植物产生毒害^[10]。而宝山的土壤中的总 Cu 含量都远远高于对植物的毒性阈值。显然,Cu 的毒性是影响植物在宝山矿区自然定居的限制因子。因此,能在此区域自然定居的植物,一般就必须具有很高的耐 Cu 能力或超富集性能。鸭跖草对 Cu 的富集系数也大于 1,进一步证明其对 Cu 也有很强的富集作用。

Cd 在 3 种植物根系内的富集系数均大于 1。表明鸭跖草、酸模、空心泡对 Cd 都有富集作用,酸模更高达 3.65 倍,可作为 Cd 超累积植物作进一步研究。Pb 在鸭跖草地上部分的富集系数高达 14.68,地下部分达 17.18,表明鸭跖草对 Pb 有很强的富集能力。

3 结果与讨论

综合分析 3 种优势植物体内重金属含量,得出不同植物对重金属的吸收特性有着较大差异。就 Cu 含量的顺序而言,鸭跖草>酸模>空心泡。总体,植物体内的 Fe、Cu 含量最高,Mn 和 Zn 的含量次之,Cd、Cr 的含量较低。Pb 在鸭跖草种的含量较高,而在另 2 种

表 3 宝山矿区优势植物中重金属含量的富集系数

Table 3 The accumulation coefficient of heave metals in dominant plants in Baoshan mineral area

植物		富集系数						
		Zn	Mn	Pb	Cd	Cr	Fe	Cu
鸭跖草	地上	0.95	0.05	14.68	0.31	0.35	0.03	1.18
	地下	0.79	0.08	17.18	1.53	0.20	0.06	1.12
酸模	地上	0.13	0.02	1.50	0.10	0.23	0.02	0.32
	地下	0.15	0.03	0.09	3.65	0.26	0.02	0.43
空心泡	地上	0.27	0.07	0.18	0.22	0.15	0.01	0.01
	地下	0.40	0.03	0.36	1.84	0.44	0.01	0.02
土壤/mg · kg ⁻¹		292.4	794.0	52.3	0.49	93.49	30 695	1 048

植物种含量较低。空心泡体内的 Mn 的浓度高于其它 2 种植物。通过分析 3 种优势植物,说明鸭跖草是 Cu 的超累集植物,用于重金属污染的控制或生态系统的恢复潜力很大。除鸭跖草外,酸模地上部分的 Cu 的质量分数也在 100 mg·kg⁻¹ 以上, 考虑到植物体内正常的 Cu 含量一般都在 25 mg·kg⁻¹ 以内^[8],说明酸模也具有较高的 Cu 耐受性, 应该属于 Cu 耐性植物而不属于 Cu 的超富集植物。酸模和鸭跖草对 Pb 的富集效应值得一提,酸模的地上/根比高,而鸭跖草地上部和根部的含量也高,且 Pb 在鸭跖草的富集系数大,表明鸭跖草对 Pb 的吸收能力很强,这对毒性较强的 Pb 元素的生物修复是值得研究的。且酸模的生物量大,分布更广,完全适应了当地的环境条件,进一步研究的价值很大。重金属耐性植物除了能耐受重金属,还能适应一般重金属矿业废弃地的贫瘠、干旱等不良环境,因此在矿业废弃地的植物重建中具有广泛的应用价值。另 3 种优势度较高植物对 Cd 均有富集效应,但由于矿区土壤中 Cd 含量较低, 故植物体内 Cd 含量并未达到 Cd 超富集植物临界浓度, 但其作为 Cd 的超富集植物研究潜力仍较大。

参考文献:

[1] 陶家先.矿区生态环境初步研究[J].长江流域资源合环境,1997,6(4):355-362.

[2] 张 从,夏立江.污染土壤生物修复技术[M].北京:中国环境科学出版社,2000,297-324.

[3] 陈怀满,郑春荣,等.土壤中化学物质的行为与环境质量[M].北京:科学出版社,2002 .601-603.

[4] 奚旦立,孙裕生,刘秀英.环境监测[M]. 北京:高等教育出版社,1996. 381-392.

[5] Brooks RR, Lee, Reeves R D and Jaffre T. Detection of nickeliferous rocks by analysis of herbarium specimens of indicator plants [J].*J Geochem Explor* , 1977,7:49-77.

[6] 姜理英,石伟勇,等.铜矿区超积累 Cu 植物的研究[J].应用生态学报, 2002,13(7):906-908.

[7] Adriano DC.Trace Elements in the Terrestrial Environment[M]. New York :Spring-verlag,1986.

[8] Baker ATM.Accumulators and excluders-strategies in the response of plants to heavy metal [J]. *J Plant Nutr*,1981,3(1-4):643-654.

[9] GB15618-1995.[S].土壤环境质量标准.

[10] 束文坚,杨开颜,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].应用生态学报.2001,7(1):7-12.

[11] Bradshaw AD.Chadwick MJ.The Restoration of Land[M].Berkeley:University of California Press,1980.