

贵州烂泥沟金矿区苔藓植物及其生态修复潜力分析

李冰, 张朝晖*

(贵州师范大学地理与生物科学学院, 贵阳 550001)

摘要: 对世界级的大型卡林型金矿—贵州贞丰烂泥沟金矿区的苔藓植物进行初步调查。258 份标本经鉴定共有 15 科 37 属 81 种。丛藓科(Pottiaceae)、真藓科(Bryaceae)、牛毛藓科(Ditrichaceae)和珠藓科(Bartramiaceae)植物适于在该区生长。对金灰藓(*Pylaisiella polyantha*)、黄色真藓原变种(*Bryum pallescens* var. *pallescens*)、牛毛藓(*Ditrichum heteromallum*)、阔叶小石藓(*Weisia planifolia*)、短叶小石藓(*Weisia semipallida*)、红毛细羽藓(*Cyrto-hypnum versicolor*) 6 种植物及其基质中的 9 种重金属元素进行测定, 基质中 As 的含量达到 $222.378 \text{ mg kg}^{-1}$, 为国家 3 级标准 (40 mg kg^{-1}) 的 5.56 倍; Hg 的含量达 $23.516 \text{ mg kg}^{-1}$, 为国家 3 级标准(1.5 mg kg^{-1}) 的 15.68 倍, 污染状况比较严重。通过对富集系数的分析来看, 每种苔藓植物对至少 3 种以上的复合重金属有一定的富集能力, 可以作为复合重金属含量较高矿山的生态修复与重建的先锋植物。

关键词: 苔藓植物; 重金属; 生物富集; 生态修复; 烂泥沟金矿

中图分类号: Q948.116

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2008)06-0511-05

Studies on the Bryophytes and Analysis of Ecological Restore Potential in the Lannigou Gold Deposit, Guizhou Province

LI Bing, ZHANG Zhao-hui*

(School of Geography and Biology, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China)

Abstract: Two hundred and fifty-eight bryophyte specimens were collected from Guizhou Lannigou Gold Deposit which is one of the biggest carlin gold deposit in World. The bryoflora of this site included 15 families, 37 genera and 81 species. Pottiaceae, Bryaceae, Ditrichaceae and Bartramiaceae are four dominant families, which were adapted to their environment. Contents of Au, Cu, Zn, Pb, Cd, Cr, Co, As and Hg in 6 bryophytes [*Pylaisiella polyantha*, *Bryum pallescens* var. *pallescens*, *Ditrichum heteromallum*, *Weisia planifolia*, *Weisia semipallida*, and *Cyrto-hypnum versicolor*] and corresponding substrates were determined by using Atomic Absorption Spectrometer and Atomic Fluorescence Spectrometer. The results showed that the average contents of As and Hg in soil are $222.378 \text{ mg kg}^{-1}$ and $23.516 \text{ mg kg}^{-1}$, respectively, which are 5.56 times and 15.68 times of the third class standard (40 mg kg^{-1} for As, 1.5 mg kg^{-1} for Hg) of National Environmental Quality Standard for Soil. The pollution situation is serious. In addition, bioconcentration factors show that each species of bryophyte accumulate 3 kinds of heavy metals at least. Therefore, all of 6 species in this study can be used in mines polluted by heavy metals as pioneer plants for ecological restoration in further research.

Key words: Bryophytes; Heavy metal; Bioenrichment; Ecological restore; Lannigou Gold Deposit

矿的开采, 无疑会带来巨大的财富, 但与此同时又会带来大量的重金属污染, 给环境和周围的居

民生活造成无法估量的危害。所以矿区的环境治理, 生态恢复问题已成为人们关注的焦点, 目前关

收稿日期: 2008-01-10 接受日期: 2008-06-10

基金项目: 贵州省优秀青年科技人才资助计划[黔科合人字(2005)0514号]; 国家人事部留学人员择优资助优秀项目[国人部发(2003)50]; 贵州省优秀科技教育人才省长专项基金[黔科教(2003)04]资助

* 通讯作者 Corresponding author

于这方面的研究已有不少报道^[1-6]。相比于其它矿,金矿所创造的价值更大,但随金矿也伴生了其他重金属污染,因此加强对金矿区环境修复的研究也越显重要。

苔藓植物作为一类分布广泛的先锋植物,在不同环境里都有生长。因此,苔藓植物在作为重金属含量高的矿山生态修复中将会发挥很大的作用。目前有关金矿区苔藓植物的研究也有了一些报道^[7-12]。本文初步报道了烂泥沟金矿区苔藓植物的种类组成,再对一些种类及其基质的重金属含量进行测定,以期筛选适合于矿区生长的苔藓植物做先锋植物,为改良矿区土壤、修复生态环境的研究做基础。

1 研究区概况

烂泥沟金矿位于贵州省黔西南自治州贞丰县,年均气温 18.4~19.5℃,年降雨量小于 1 356 mm,日照时数年均高于 1 418 h,年最高温达 39℃,最低温 -2℃。这一地区是我国卡林型难选冶原生金矿探明储量最多的区域之一,被业界誉为中国西南的“金三角”,是近年来滇、黔、桂区发现的储量最大的金矿床。处于册亨-望谟北西向构造变形区或北西向对接变形带、东西向造山型构造带与近南北向前陆逆冲-褶皱型构造构成的构造三角带之北段,其主要赋矿层位为中三叠统边阳组,中三叠统浊积岩是滇、黔、桂微细粒浸染型金成矿区中最主要的含矿层^[13-14]。烂泥沟金矿储量达 110 t,远景储量在 130 t 以上,占黔西南成矿片区金矿总量的 42%,堪称世界级的特大型金矿。由于采矿,使得矿区大量的植被被砍伐,生态系统已经开始遭到破坏。尤其是在采矿的中心区,除了零星的苔藓植物以外,已经看不到其它植物的存在。

2 材料和方法

2.1 材料

2007 年 7 月对烂泥沟金矿区进行实地考察,在 3 个样点共采集苔藓植物标本 258 份,在采集苔藓植物标本的同时也把植物生长的基质装入标本袋,以作分析之用。选取金灰藓 [*Pylaisiella polyantha* (Hedw.) Grout]、黄色真藓原变种 (*Bryum pallescens* Schleich. ex Schwaegr. var. *pallescens*)、牛毛藓 [*Ditrichum heteromallum* (Hedw.) Britt.]、阔叶小石藓 (*Weisia planifolia* Dix.)、短叶小石藓 (*Weisia semipallida* C. Muell.)、红毛细羽藓 [*Cyrtio-hypnum versicolor* (C.

Muell.) Buck et Crum]及其基质做元素测定。

2.2 样品处理

将植株与基质分离,用去离子水冲洗,直至没有其他杂物,将冲洗好的样品放入干燥箱,60℃(防止 Hg 挥发)恒温干燥 48 h,样品和基质分别研磨过 80 目筛,放入保鲜袋备用。

分别称取样品粉末 0.5 g 左右,加 HNO₃-HClO₄ 混酸,于电热板上硝化至白烟冒尽,用于测植物和土壤中的 Cd、Pb、Zn、Cu、Co、Au。Cr 的消解方法是:称量土壤 1 g 左右,加少许水润湿后加 10 ml 混酸(HNO₃: H₂SO₄ = 1: 1)于电热板上加热至消化液冒白烟,土壤颗粒变白,冷却后用 1% HCl 温热溶解,加入 10% NH₄Cl 5 ml。称量植物 0.5 g 左右,加 10 ml HNO₃于电热板上加热,待剧烈反应后加入 2 ml H₂O₂继续加热至冒白烟,冷却后加入 2.5 ml 10% NH₄Cl,用 1% HCl 温热溶解。As、Hg 的消解方法:称量植物 0.1 g 左右加入 2 ml HNO₃,沸水浴煮 2.5 h 后加 1 ml HNO₃和 1 ml H₂O₂,用微波消解。称量土壤 0.2 g 左右,加入 10 ml 王水和水的混合物(王水:水 = 1:1),于沸水浴中浸提 2 h,然后转移至 50 ml 容量瓶中加入 10% 硫脲 5 ml,用超纯水定溶。

2.3 分析方法

用 A Analyst 800 原子吸收光谱仪(美国 Perkin Elmer 产)对苔藓植物及其基质的 Au、Cu、Zn、Pb、Cd、Cr、Co 元素进行测定。用 AF-640 原子荧光光谱仪对 As 和 Hg 元素进行测定。所得数据应用富集系数(Bioconcentration factor)进行分析。

3 结果和分析

3.1 苔藓植物分析

对 3 个样点 258 份标本进行了初步鉴定,共有苔藓植物 15 科 37 属 81 种。其中:苔类植物 4 科 5 属 7 种;藓类植物 11 科 32 属 74 种,未发现角苔的存在。所有标本均保存在贵州师范大学地理与生物科学学院苔藓植物研究室。

根据烂泥沟金矿区苔藓植物的分布情况,把含 5 种以上的科定为优势科,把含 4 种以上的属定为优势属(表 1)。从表 1 可以看出,该区的优势科有真藓科(Bryaceae)、丛藓科(Pottiaceae)、牛毛藓科(Ditrichaceae)、珠藓科(Bartramiaceae)、凤尾藓科(Fissidentaceae)和灰藓科(Hypnaceae)。真藓科有 24 种,如砂生短月藓 *Brachymenium muricola*、纤毛丝瓜

藓 *Pohlia hiscae*、蕊形真藓 *Bryum coronatum*、中华缺齿藓 *Mielichhoferia sinensis* 等, 占总种数的29.6%。丛藓科有13种, 如芒尖毛口藓 *Trichostomum cristatulum*、阔叶小石藓 *Weisia planifolia*、短叶小石藓 *Weisia semipallida*、匙叶湿地藓 *Hyophila spathulata*、链齿藓 *Desmatodon latifolius* 等, 占总种数的16%。

烂泥沟金矿区苔藓植物的优势属有真藓属 (*Bryum*)、泽藓属 (*Philonotis*)、凤尾藓属 (*Fissidens*)、丝瓜藓属 (*Pohlia*)、牛毛藓属 (*Ditrichum*) 和短月藓属 (*Brachymerium*), 分别占总种数的14.8%、8.6%、7.4%、7.4%、4.9%、4.9%。

表1 烂泥沟金矿区苔藓植物的优势科

Table 1 The dominant families of bryophytes in Lannigou Gold Deposit

科 Families	属数 Number of genera	%	种数 number of species	%
真藓科 Bryaceae	5	13.5	24	29.6
丛藓科 Pottiaceae	7	18.9	13	16
牛毛藓科 Ditrichaceae	4	10.8	7	8.6
珠藓科 Bartramiaceae	1	2.7	7	8.6
凤尾藓科 Fissidentaceae	1	2.7	6	7.4
灰藓科 Hypnaceae	5	13.5	5	6.2

3.2 苔藓植物及其基质的重金属含量

3.2.1 苔藓植物中的重金属含量

对9种重金属在苔藓植物中的含量进行分析(表2), 含量普遍较高的是Zn, 在石灰藓、黄色真藓原变种、牛毛藓、阔叶小石藓、短叶小石藓、红毛细羽藓中分别为: 1383 mg kg⁻¹、2519 mg kg⁻¹、3254 mg kg⁻¹、338.9 mg kg⁻¹、168.9 mg kg⁻¹、195.2 mg kg⁻¹; 其次为Cr。最低的是Au, 分别为: 0.145 mg kg⁻¹、0.076 mg kg⁻¹、0.236 mg kg⁻¹、0.193 mg kg⁻¹、0.054 mg kg⁻¹、0.228 mg kg⁻¹。

表2 苔藓植物及其基质中重金属元素含量(mg kg⁻¹)

Table 2 Concentrations of heavy metals (mg kg⁻¹) in bryophytes and substrate

重金属 Heavy metals	石灰藓/基质 <i>Pylaisiella polyantha</i> / Substrate	黄色真藓原变种/基质 <i>Bryum pallescens</i> var. <i>pallescens</i> / Substrate	牛毛藓/基质 <i>Ditrichum heteromallum</i> / Substrate	阔叶小石藓/基质 <i>Weisia planifolia</i> / Substrate	短叶小石藓/基质 <i>Weisia semipallida</i> / Substrate	红毛细羽藓/基质 <i>Cyrtio-hypnum vesicolor</i> / Substrate
Au	0.145 / 0.318	0.076 / 0.235	0.236 / 0.264	0.193 / 0.254	0.054 / 0.073	0.228 / 0.428
Cu	21.55 / 17.92	25.93 / 24.65	32.56 / 28.29	27.92 / 39.74	24.67 / 21.82	23.28 / 29.43
Zn	138.3 / 57.80	251.9 / 68.38	325.4 / 77.83	338.9 / 73.28	168.9 / 83.73	195.2 / 92.57
Pb	1.774 / 16.64	28.06 / 171.9	48.11 / 16.48	2.646 / 3.829	2.466 / 22.38	1.621 / 27.09
Cd	0.591 / 0.174	1.213 / 0.191	0.862 / 0.115	0.303 / 0.171	0.210 / 0.164	0.244 / 0.188
Cr	145.8 / 20.68	265.5 / 38.98	-	71.17 / 33.60	135.7 / 35.90	81.00 / 45.91
Co	5.783 / 4.717	5.875 / 4.755	6.587 / 4.502	5.161 / 5.950	4.237 / 6.595	5.352 / 5.080
As	46.73 / 200.4	115.7 / 294.3	-	33.38 / 149.97	62.46 / 244.84	-
Hg	1.722 / 1.617	7.501 / 36.08	-	2.805 / 19.127	7.761 / 37.241	-

3.2.2 土壤样品中重金属含量

从表2可以看出, 土壤中的Au、Cu、Zn、Pb、Cd、Cr、Co、As、Hg平均含量分别为0.262 mg kg⁻¹、26.975 mg kg⁻¹、75.598 mg kg⁻¹、43.053 mg kg⁻¹、0.167 mg kg⁻¹、35.014 mg kg⁻¹、5.267 mg kg⁻¹、222.378 mg kg⁻¹、23.516 mg kg⁻¹。对比国家环保总局颁布的《土壤环境质量标准(GB1561821995)》, 烂泥沟金矿区的土壤均不同程度地受到重金属污染。其中Cu、Pb、Zn、Cr、Cd 5种重金属含量仍处于国家规定的3级标准之内, 但As和Hg的污染程度非常严重, 土壤As平均浓度高达222.378 mg kg⁻¹, 为国家3级标准40 mg kg⁻¹的5.56倍, 土壤Hg的平均浓度高达23.516 mg kg⁻¹, 为国家3级标准1.5 mg kg⁻¹的15.68倍。更为严重的是烂泥沟金矿才刚刚开始开采, 预计可开采15 a。15 a以后, 环境将变成什么样的状况? 现在还没有达到污染标准的一些重金属在以后会不会超标? 会不会给周围的居民生活带来危害? 这些都是值得进一步探讨的问题。

3.3 苔藓植物对重金属的富集系数

富集系数(Bioconcentration factor)是衡量植物对重金属积累能力的一个重要指标, 它是指植物体内某种重金属含量与土壤中该种重金属含量的比值^[5]。6种苔藓对重金属的富集系数见表3。

从6种苔藓植物对9种重金属的富集系数来看, 每种苔藓植物至少对3种以上的重金属的富集系数大于1。按照魏树和等^[6]提出植物富集系数大于1应是超富集植物区别于普通植物必不可少的特征的观点, 说明这几种苔藓植物对重金属都有一定的富集特性。

表 3 苔藓植物对重金属的富集系数

Table 3 Bioconcentration factor of heavy metals in bryophytes

重金属 Heavy metals	金灰藓 <i>Pylaisiella polyantha</i>	黄色真藓原变种 <i>Bryum pallescens</i> var. <i>pallescens</i>	牛毛藓 <i>Ditrichum heteromallum</i>	阔叶小石藓 <i>Weisia planifolia</i>	短叶小石藓 <i>Weisia sempalpida</i>	红毛细羽藓 <i>Cyrtio-hypnum</i> <i>versicolor</i>
Au	0.456	0.323	0.894	0.760	0.740	0.533
Cu	1.203	1.052	1.151	0.703	1.131	0.791
Zn	2.393	3.68	4.181	4.625	2.017	2.109
Pb	0.107	0.163	2.919	0.691	0.110	0.060
Cd	3.397	6.351	7.496	1.772	1.280	1.298
Cr	7.050	6.811	-	2.118	3.780	1.764
Co	1.226	1.236	1.463	0.867	0.642	1.054
As	0.233	0.393	-	0.223	0.255	-
Hg	1.065	0.208	-	0.147	0.208	-

4 讨论

烂泥沟金矿在未开采之前是一个人类活动较少的区域,具有小树林、喀斯特石漠等多种小生境,苔藓植物种类相对较丰富,此次报道了 81 种。我们于 2008 年 1 月对矿区又进行了大规模的调查采集,初步鉴定有 200 种左右(结果还在整理之中)。但由于该金矿是剥离式开采,目前正在开采的区域只分布几种苔藓植物且数量极少,已经看不到其他植物的存在。另外,开采金矿的同时会引起伴生的重金属污染,随着采矿的进行,苔藓植物的物种多样性必将大幅度减少,除了优势科属和一些分布范围较广的种类以外,一些分布少且对重金属耐受性较低的种类有从该区域消失的可能。因此,开矿与生物多样性保护之间的矛盾处理是一项迫在眉睫的任务,选择一些对重金属具有耐受性的物种作为矿山修复的先锋植物显得非常重要。

通过对金灰藓、黄色真藓原变种、牛毛藓、阔叶小石藓、短叶小石藓、红毛细羽藓及其基质的重金属含量的测定和生物富集系数的分析可以看出(表 3),这 6 种苔藓植物对复合重金属都有一定的富集能力,可以作为复合重金属含量较高的矿山生态修复与重建的先锋植物来考虑。值得一提的是,目前还没有发现 Hg 的超富集植物^[17],而金灰藓对 Hg 的富集系数为 1.065,可以进一步用室内实验来检测其对 Hg 是否具有超富集能力。在此基础上,研究这些苔藓植物的生态功能、耐受机制和矿山苔藓植物结皮等,为矿山生态修复与重建提供更多的依据和参考资料。

致谢 在野外考察过程中得到本实验室周灵燕、汪文云和杨再超同学的大力支持!元素测试分析得到贵州师范大学分析测试中心秦樊鑫老师的悉心指导和连国齐同学的帮助,在此一并表示衷心的感谢。

参考文献

- [1] Cao D J(曹德菊), Wang G Y(王光宇), Wang Y(汪琰), et al. Accumulation of heavy metals in dominant plants growing on mineral areas in Tongling, Anhui [J]. *J Agro-Environ Sci(农业环境科学学报)*, 2005, 24(6): 1079-1082.(in Chinese)
- [2] Liu C Z(刘成志), Shang H(尚鹤), Yao B(姚斌), et al. A survey on heavy-metal content in plants and soils in Zinc-lead mine tailing wasteland [J]. *For Res(林业科学研究)*, 2005, 18(3): 246-249.(in Chinese)
- [3] Ren L M(任立民), Liu P(刘鹏), Zheng Q E(郑启恩), et al. A survey of heavy-metal content of plants growing on the soil polluted by manganese mine in Daxin County, Guangxi [J]. *Subtrop Plant Sci(亚热带植物科学)*, 2006, 35(3): 5-8.(in Chinese)
- [4] Wang Y H(王英辉), Qi S H(祁士华), Chen X J(陈学军). Phytoremediation technology in the metal mine waste place polluted by heavy metal [J]. *China Mining Mag(中国矿业)*, 2006, 15(10): 67-71.(in Chinese)
- [5] Liu X H(刘小红), Xue Y(薛艳), Zhou D M(周东美). Primary study on copper tolerant plants in mine areas [J]. *J Agro-Environ Sci(农业环境科学学报)*, 2005, 24(1): 50-54.(in Chinese)
- [6] Li L Y(李凌宜), Li Z(李卓), Ning P(宁平), et al. Application of revegetation in ecological restoration of mining wasteland [J]. *Expr Inform Mining Ind(矿业快报)*, 2006(8): 25-28.(in Chinese)
- [7] Huang W H, Zhang Z H. The study of bryophytes in Lannigou Gold Deposit of Guizhou, China [J]. *Chenia*, 2007, 9: 377-383.
- [8] Jiang H, Zhang Z H. Comparative study on the bryophytes between lateritic gold deposits and limestone in Shaguochang of Guizhou, China [J]. *Chenia*, 2007, 9: 393-398.
- [9] Huang W H(黄文斌), Zhang Z H(张朝晖). Biogeochemistry research

- and analysis of biology prospecting on five Bryophytes in Lannigou Gold Deposit, Guizhou Province [J]. *Gold (黄金)*, 2006, 12 (27): 12-15.(in Chinese)
- [10] Jiang H(江洪), Zhang Z H(张朝晖). Comparative studies on mosses between limestone and lateritic gold mine in Baozidong, Guizhou [J]. *Carsol Sin(中国岩溶)*, 2007, 26(1): 31-36.(in Chinese)
- [11] Jiang H(江洪), Zhang Z H(张朝晖). Mensuration and correlating analyse of heavy metal elements in three mosses and soil from Laowangchang Lateritic Gold Deposit in Qinglong, Guizhou [J]. *Guihaia(广西植物)*, 2007, 27(4): 610-615.(in Chinese)
- [12] Zhou L Y(周灵燕), Zhang Z H(张朝晖). Comparative study on bryophytes between Tuobuka-Boka Gold Mine and Tangdan Copper Mine in Dongchuan, Yunnan Province [J]. *Gold(黄金)*, 2007, 28(8): 10-13.(in Chinese)
- [13] Li Z(李忠), Liu T B(刘铁兵). Ore-forming conditions of the Lannigou Gold Deposit in southeastern Guizhou: A petrological and geochemical study [J]. *Miner Depos(矿床地质)*, 1995, 14(1): 51-57. (in Chinese)
- [14] Zhang Z J(张志坚), Zhang W H(张文淮). The study of organic ore-forming fluids in the Lannigou Gold (Mercury, Antimony) Deposit, Guizhou Province [J]. *Miner Depos(矿床地质)*, 1998, 17(4): 343-354.(in Chinese)
- [15] Mattina M I, Lannucci B W, Mussante C, et al. Concurrent plant uptake of heavy metals and persistent organic pollutanta from soil [J]. *Environ Pollut*, 2003, 124: 375-378.
- [16] Wei S H(魏树和), Zhou Q X(周启星), Wang X(王新). Characteristics of 18 species of weed hyperaccumulating heavy metals in contaminated soils [J]. *J Basic Sci Engin(应用基础与工程科学学报)*, 2003, 11(2): 152-160.(in Chinese)
- [17] Zhou Q(周琼). Filtrations for hyperaccumulators and accumulators of heavy metal in contaminated soil [J]. *J Anhui Agri Sci(安徽农业科学)*, 2005, 33(5): 910-912,916.(in Chinese)