

黔西南红土型金矿硬叶小金发藓对几种金属元素的吸收、富集特征

江 洪¹, 张朝晖^{2*}

(1. 毕节学院环境与生命科学系, 贵州 毕节 551700; 2. 贵州师范大学生命科学学院, 贵州省山地环境重点实验室, 贵阳 550001)

摘要: 利用原子吸收法测定黔西南红土型金矿硬叶小金发藓(*Pogonatum neesii* (C. Muell.) Dozy)植株及其土壤中的 Au、Pb、Cu、Zn、Ca、Mg、Hg 和 As 等 8 种金属元素含量, 并分析它们之间的相关性及植物对金属的富集能力。结果表明: 硬叶小金发藓体内的金属元素含量普遍较高, 对不同金属元素的吸收、富集具有较大的差异, Ca-Mg 呈极显著正相关, Cu-Zn、Hg-As 呈显著正相关。该植物对 Hg 和 As 均具有强烈的富集作用。

关键词: 藓类植物; 硬叶小金发藓; 红土型金矿; 金属元素; 贵州

中图分类号: Q945.12

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2009)05-0483-06

Absorption and Accumulation of Metal Elements in *Pogonatum neesii* (C. Muell.) Dozy at Lateritic Gold Deposit in Southwest Guizhou

JIANG Hong¹, ZHANG Zhao-hui^{2*}

(1. Department of Environment and Life Sciences, Bijie University, Bijie 551700, China; 2. Guizhou Provincial Laboratory for Mountainous Environment, School of Life Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China)

Abstract: The contents of eight metal elements, such as Au, Pb, Cu, Zn, Ca, Mg, Hg and As in *Pogonatum neesii* (C. Muell.) Dozy and soil on Lateritic Gold Deposit in Southwest Guizhou Province were analysed by Atomic Absorption Spectrometry, and the relationship between plant and metal elements, and the accumulation of the moss to metals were further discussed. The results showed that the metal contents in *P. neesii* were higher than in soil, and the accumulation capacity of the plant to different metals varied greatly. Ca-Mg showed significantly coefficient at 0.01 level, so did Cu-Zn and Hg-As at 0.05 level. *P. neesii* had strong accumulation function to Hg and As elements.

Key words: Moss; *Pogonatum neesii*; Lateritic gold deposit; Metal elements; Guizhou

黔西南红土型金矿区是分布在贵州喀斯特山区的一种特殊的金矿类型, 是含金较高的地质体在红土化作用下, 使所含的金发生活化、迁移、沉淀、富集等过程形成的^[1]。目前 Berg、Gerdol 和 Aceto 等^[2-4]测定了藓类植物体内和基质中的 K、P、Al、Ca、Fe 等金属元素含量, 结果表明植物与基质中的元素含量有显著相关性。安丽^[5]报道了上海市 13 个样点的小羽藓(*Haplocladium capillatum*) 及土壤样品中的 Cu、Pb、Cd、Zn、Cr 含量, 认为小羽藓属

苔藓植物是作为监测上海地区环境重金属污染的良好指示植物^[5]。吴虹明^[6]等报道了四川省壤塘县林场原始林下地表优势苔藓锦丝藓(*Acanthocladium deflexifolium*) 的 13 种元素含量。袁林喜等^[7]对北极新奥尔松地区苔原植物中 10 种重金属含量进行了测定, 认为苔原植物中苔藓植物对重金属元素具有最大的富集能力。李小梅等^[8]对南极地区苔藓剖面中 Fe、Mg、Ca、Mn、Ba 等重金属元素含量进行了测定, 表明不同地球化学元素在

收稿日期: 2008-10-30 接受日期: 2009-01-16

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专项基金(黔科教(2003)04)资助

* 通讯作者 Corresponding author

苔藓剖面上的分布特征不同。目前对湖北大冶铜矿、安徽铜陵狮子山铜、江西德兴铜矿、云南汤丹铜矿区的苔藓植物分布情况已有报道^[9-15]；对贵州豹子洞、老万场红土型金矿和烂泥沟、水银洞卡林型金矿的苔藓植物进行了调查与相关分析^[16-21]。这些研究主要针对矿区植物生态进行调查研究，而对矿区苔藓植物的研究还不够，尤其对红土型不同金矿区的苔藓植物体内元素相关性分析目前尚未见报道^[22]。本文通过对黔西南地区不同环境中苔藓植物体内金属元素含量的测定，了解苔藓植物对金属元素的吸收特点，并与矿质土壤中的金属元素作比较，为利用苔藓植物开展植物探矿、生态修复以及环境监测积累基础资料。

1 研究样地概况

黔西南红土型金矿区位于 104°65' ~ 105°42'E, 24°57' ~ 25°37'N, 该区域植被覆盖率极低，除了稀疏草丛和生长较好的苔藓植物之外，很少见其他的

高等植物在上面生长。属温凉湿润的高原亚热带季风气候，具有冬无严寒，夏无酷暑，四季如春，干湿分明的特点。由于受到海拔高度和地形的制约，气候变化极其显著，有“一山四季”和“十里不同天”的说法。年平均气温 15℃，1 月气温为 7.9℃，7 月气温 22.0℃^[22]，年降雨量 1 200 ~ 1 300 mm，最高可达 1 520.9 mm，日照时间长达 1 647.3 h a⁻¹^[22]。5 ~ 10 月为雨季，雨量约占全年雨量的 84.3%，雨量最集中的 6 ~ 9 月约占全年的 66%，11 月至次年 4 月为旱季，雨量仅占全年的 15.7%^[22]。

2 材料和方法

2.1 材料

在每个矿山以梅花采样的方式选择 5 个采集点，每个矿点 20 m × 20 m，于 2006 年 7 月采集植物和土壤标本各 10 ~ 15 份，共采集 3 次。硬叶小金发藓 (*Pogonatum neesii* (C. Muell.) Dozy) 样品详细信息见表 1。

表 1 黔西南红土型金矿硬叶小金发藓采集点信息

Table 1 Collection sites of *Pogonatum neesii* at Lateritic Gold Deposit in Southwest Guizhou

序号 No.	矿点 Sites	生境 Habitat	基质 Substrates	海拔 Altitude (m)	经纬度 Latitude and longitude
1	干沟 Gangou	阳坡, 裸地, 禾本科植物 Sunny side slope, barren land, gramineous plants	矿石, 矿土 Ore, mineral soil	1901	E104°09', N25°22'
2	芹菜坪 Qincaiping	阳坡, 裸地, 禾本科植物 Sunny side slope, barren land, gramineous plants	矿土 Mineral soil	2176	E104°19', N25°40'
3	万能洞 Wannengdong	阴坡, 裸地, 灌木丛 Shadow slope, barren land, brushwood	矿土 Mineral soil	1545	E105°13', N25°11'
4	紫马 Zima	阴坡, 裸地, 灌木丛 Shadow slope, barren land, brushwood	矿石, 矿土 Ore, mineral soil	1383	E104°30', N25°37'
5	泥堡 Nibao	阳坡, 裸地, 禾本科植物 Sunny side slope, barren land, gramineous plants	矿渣 Scoria	1353	E104°47', N25°17'

1.2 方法

将苔藓植物样品与基质分离，用自来水洗净，再用去离子水漂洗至苔藓植物表面无其它杂物，同时取苔藓植物样品相应的基质适量，分别置于化学分析滤纸(定量用)上，于 101A 型干燥箱(上海跃进医疗器械一厂生产)内烘干 48 h，温度保持在 60℃ 以下(防止 Hg 挥发)。烘干后研磨、过 80 目筛，存放于小样品袋中备用。用 AL204 型电子天平(METTLER TOLEDO 公司生产)称取每份苔藓粉末与基质时均设 3 个平行样和 2 个空白样。

取苔藓样品粉末 0.2 g 于消解罐中，加入 5 mL HNO₃ 和 2 mL H₂O₂，密封后放入 MWS-2 微波消解仪(德国 Berghof 公司生产)进行微波消解。消解完毕冷却后取出，移入 25 mL 容量瓶中，用 0.5% HNO₃ 定容，用于测定 Au、Hg、As、Cu、Zn、Ca、Mg、Pb 的含量。

取基质 0.5 g 于消解罐中加 10 mL 王水(HNO₃: HCl=1:3)和 0.2 g 1% 的 HCl，密封后放入 MWS-2 微波消解仪，消解完毕冷却后取出，移入 50 mL 容量瓶中，用 5% HCl 定容，测定 Hg、As 的含量。

取基质 0.5 g 于消解罐中,加 5 mL HNO₃、2 mL H₂O₂、1 mL HF,密封后放入 MWS-2 微波消解仪,消解完毕冷却后取出,移入 50 mL 容量瓶中,用 5% HCl 定容,测定 Au 的含量。

取基质 0.5 g 于 50 mL 三角瓶中,加入 15 mL 混酸(HNO₃: HClO₄ =4: 1),于 KR 可调电热板上硝化至样品白烟逸尽为止。取下冷却,用 2% HNO₃ 少许微热溶解而后过滤,转移到 50 mL 的容量瓶,用 2% HNO₃ 定容,测定 Cu、Zn、Ca、Mg、Pb 的含量。

应用美国 Perkin Elmer 厂生产的 A Analyst 800 原子吸收光谱仪,用火焰法测定 Ca、Mg、Zn、Cu 元素的含量,石墨炉法测定 Au、Pb 元素的含量,冷原子吸收法测定 Hg 元素的含量^[7]。采用 SPSS13.0 和 EXCEL 统计软件进行统计分析。

2 结果和分析

2.1 土壤中 8 种金属元素含量

黔西南红土型金矿 5 个矿点矿质土壤中 8 种金属元素含量见表 2。从表 2 可知,8 种金属元素在矿质环境中金属元素含量大小顺序为:样品 1: Ca > Mg > Pb > As > Cu > Zn > Hg > Au;样品 2: Mg > Ca > Cu > Zn > Pb > As > Au > Hg;样品 3: Ca > Mg > Cu > Zn > Pb > As > Hg > Au;样品 4: Mg > Ca > Zn > Cu > Pb > As > Hg > Au;样品 5: Ca > Mg > As > Zn >

Cu > Pb > Hg > Au;平均值为: Mg > Ca > Cu > Zn > Pb > As > Hg > Au。从整体看没有一份土壤样品中的金属含量顺序是完全相同的,说明不同的金矿点中所积累的元素含量是有差别的,这主要是金属元素自身的易移动性^[8],所以每份样品重金属元素含量存在较大的差异。

2.2 硬叶小金发藓的金属元素含量比较

在不同红土型金矿中的硬叶小金发藓的金属元素含量可反映它们对金属元素的选择性吸收和富集作用。由于沟金矿、芹菜坪金矿、紫马金矿、万能洞金矿、泥堡金矿是黔西南红土型金矿中最具有代表性的矿床,对在这些矿上所采集的硬叶小金发藓进行元素分析(表 3)。

从表 3 可知苔藓植物样品中元素含量顺序为:样品 1: Ca > Mg > Hg > As > Zn > Pb > Cu > Au;样品 2: Ca > Mg > Hg > Zn > As > Cu > Pb > Au;样品 3: Ca > Mg > Hg > Zn > As > Cu > Pb > Au;样品 4: Ca > Mg > Hg > As > Zn > Cu;样品 5: Ca > Mg > Hg > As > Zn > Pb > Cu。其平均值为: Ca > Mg > Hg > As > Zn > Pb > Cu > Au。结果可知,芹菜坪和万能洞金矿的硬叶小金发藓中的金属元素含量顺序完全一致,紫马和泥堡金矿的硬叶小金发藓中的金属元素的含量顺序基本一致,而干沟金矿的植物中的金属元素含量顺序有较大的差异,这说明同种苔藓

表 2 土壤中 8 种元素含量(mg kg⁻¹)

Table 2 The contents of 8 metals in soil from Lateritic Gold Deposit in Southwest Guizhou

序号 No.	Au	Pb	Cu	Zn	Ca	Mg	Hg	As
1	-	17.75	16.56	9.401	1536	241.5	3.661	17.508
2	0.036	20.86	164.8	112.7	254.7	161.2	0.599	12.926
3	0.038	24.84	141.7	43.40	1441	1193	0.469	6.078
4	0.053	37.34	82.42	83.55	422.7	726.8	1.527	4.569
5	0.028	12.18	16.48	22.49	421.0	406.3	0.253	26.584
平均值 Mean	0.031	22.59	84.39	54.31	815.08	835.92	1.302	13.533

- : 未测出 Not detected; 下表同 The same as following Tables.

表 3 硬叶小金发藓的 8 种元素含量(mg kg⁻¹)

Table 3 The contents of 8 metals in *Pogonatum neesii* collected from different sites

序号 No.	Au	Pb	Cu	Zn	Ca	Mg	Hg	As
1	0.013	41.97	15.04	81.93	1417	742.3	618.520	158.019
2	0.350	9.499	17.50	87.96	3447	958.5	337.045	31.438
3	0.006	118.5	9.598	44.72	3177	939.4	377.730	46.307
4	-	-	11.29	45.27	2127	752.6	536.271	75.659
5	-	9.703	7.665	46.10	970.5	660.0	543.739	97.731
平均值 Mean	0.07	35.93	12.22	61.20	2227.7	810.56	482.66	81.83

植物在不同矿点对同种金属元素的吸收、富集能力存在较大的差异,导致苔藓植物体内金属元素的含量差异极大,这主要是土壤背景值的差异引起的^[23-24],另外生境的变化,使植物体内的代谢也发生改变,造成体内的金属元素含量有差异,含量差异反映植物自身遗传的生物特征。

2.3 苔藓植物中 8 种元素的相关性

苔藓植物体内金属元素的含量水平不同,主要与其对这些元素的吸收累积特性和自身生长需求密切相关。植物体中不同元素之间由于拮抗或协同作用而相互促进或降低吸收量,通过相关分析可以反映出元素之间是否存在这种关系。若两元素之间呈显著或极显著正相关,则表明存在协同作用;若呈显著或极显著负相关则表明有拮抗作用^[25]。对黔西南红土型金矿硬叶小金发藓体内微量元素进行回归分析(表 4),结果表明,当 $n=4$ 时,Cu-Zn、Hg-As 在 0.05 水平上显著正相关,它们存在协同效应。Ca-Mg 在 0.01 水平上达到极显著正相关。则它们之间也存在协同效应;而其他的元素间大多不显著相关。

2.4 硬叶小金发藓对土壤金属元素的富集作用

不同植物对元素的吸收有不同的选择性,因而

某一元素在不同植物体中有不同的含量范围和平均含量,它们对地下矿化反映的敏感性和效果亦存在很大的差异^[9]。植物对土壤元素的吸收富集能力,可用富集系数(C)来表示: $C = \text{某植物内某元素平均含量} / \text{某植物生长基质中某元素含量}$ 。它反映植物对某元素相对富集和贫化的程度:当 $C \geq 1.5$ 时为相对富集, $C \geq 3$ 为强烈富集, C 在 0.5~1.5 时植物和基质属同一水平, $C < 0.5$ 时为相对贫化, $C < 0.1$ 时为强烈贫化^[25]。黔西南红土型金矿硬叶小金发藓样品对该地土壤中金属元素的富集系数见表 5。

从表 5 中可以看出,各矿点的硬叶小金发藓对元素 Hg 和 As 均具有强烈的富集作用;而只对芹菜坪金矿的 Au 元素有强烈的富集作用,对另外几种金属元素的富集作用不同,这说明同种苔藓植物在不同矿点对同种金属元素的吸收能力是不同的。

2.5 硬叶小金发藓与矿质土壤中的元素含量的相关性

利用植物-土壤间元素的相关性分析可以进一步揭示植物-土壤中环境元素的相互联系和转移规律^[26]。植物体内的化学成分的含量水平高低主要取决于土壤中元素的总量,更主要决定于土壤元素的有效态含量。因而植物体内营养组分的含量在一定

表 4 黔西南红土型金矿硬叶小金发藓中的 8 种元素的相关性

Table 4 The correlationship of 8 metals in *Pogonatum neesii* at Lateritic Gold Deposit in Southwest Guizhou

元素 Element	Au	Pb	Cu	Zn	Ca	Mg	Hg	As
Au	1.000	-0.288	0.754	0.708	0.634	0.636	-0.672	-0.548
Pb	1.000	-0.238	-0.229	0.3780	0.481	-0.323	-0.138	
Cu			1.000	0.934*	0.433	0.470	-0.227	-0.031
Zn				1.000	0.221	0.316	-0.107	0.156
Ca					1.000	-0.977**	-0.911*	-0.823
Mg					1.000	-0.900*	-0.736	
As								1.000

* 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上显著相关。* and ** present significant difference at the 0.05 and 0.01 level, respectively. 下表同。The same as following Tables.

表 5 黔西南红土型金矿硬叶小金发藓元素的富集系数

Table 5 The accumulation coefficients of metals in *Pogonatum neesii* at Lateritic Gold Deposit in Southwest Guizhou

序号 No.	Au	Pb	Cu	Zn	Ca	Mg	Hg	As
1	-	2.36	0.91	8.72	0.92	3.07	168.95	9.03
2	9.72	0.46	0.11	0.78	13.53	0.59	562.68	2.43
3	0.16	4.77	0.07	1.03	2.20	0.79	720.11	7.62
4	-	-	0.14	0.54	0.50	1.04	351.19	16.56
5	-	0.79	0.47	2.05	2.31	1.62	2149.17	3.68

程度上与土壤养分、背景水平和种属的生理特点关系密切^[26]。

表6显示了基质和植物体中元素含量的平均值,统计分析表明两者间的相关系数 $r=0.830$,在0.05水平上显著正相关,这说明苔藓植物体内的金

属元素的积累与土壤中元素含量的背景有密切的关系,受基质中金属元素含量状况的影响。结合表5,更可以看出硬叶小金发藓金属元素 Au、Pb、Zn、Ca、Mg、Hg 和 As 均具有强烈的富集作用。

表6 苔藓植物与基质中金属元素含量的相关关系

Table 6 The relationship between the contents of metals in *P. neesii* and soils

	含量 Contents (mg kg ⁻¹)								相关系数 Correlation coefficient
	Au	Pb	Cu	Zn	Ca	Mg	Hg	As	
植物 Plant	0.07	35.93	12.22	61.20	2227.7	810.56	482.66	81.83	0.830*
基质 Soil	0.03	22.59	84.39	54.31	815.08	835.92	1.302	13.53	

3 讨论

通过对黔西南红土型金矿硬叶小金发藓对 Au、Pb、Cu、Zn、Ca、Mg、Hg 和 As 等 8 种金属元素的吸收、富集特征研究,认为硬叶小金发藓对它们都有不同程度的富集。由于苔藓植物生物量小,生长缓慢。如何通过分子生物学和基因工程技术等多学科的交叉研究,把生长慢、低生物量的超富集植物,培育成生长快、生物量大的品种,或把超富集植物的特异基因转入到高生物量的植物体中,有待于进一步研究。因为重金属在植物体内吸收和运输的形态及调控,是进行分子遗传机制突破的关键。所以,应加强对硬叶小金发藓体内重金属的吸收、运输、积累及解毒的生理生化机制方面的研究,深入了解其生物学特性与植物修复关系的基础上,综合应用土壤污染修复技术,相信硬叶小金发藓将成为生态恢复中最具潜力和利用价值的好材料。

致谢 本文的实验过程中得到贵州省环保局黄文骥师兄的帮助;贵州师范大学实验中心、贵州省山地环境重点实验室的秦樊鑫老师及黄先飞同学指导元素测定,在此一并致谢!

参考文献

- [1] Feng X S(冯学士), Guo Z C(郭振春). Occurrence mode of the Gold Deposits in Southwest Guizhou and its prospecting potential [J]. Guizhou Geol(贵州地质), 2002, 19(2): 109-111.(in Chinese)
- [2] Berg T, Steinnes E. Recent trends in atmospheric deposition of trace elements in Norway as evident from the 1995 moss survey [J]. Sci Total Environ, 1997, 208: 197-206.
- [3] Gerdol R, Bragazza L, Marchesini R, et al. Monitoring of heavy metal deposition in Northern Italy by moss analysis [J]. Environ Pollut, 2000, 108: 201-208.
- [4] Aceto M, Abollino O, Conca R, et al. The use of mosses as environmental metal pollution indicators [J]. Chemosphere, 2003, 50:

333-352.

- [5] An L(安丽), Cao T(曹同), Yu Y H(俞鹰浩). Heavy metals contents in *Haplocladium* and their relationships with Shanghai City environment [J]. Chin J Appl Ecol(应用生态学报), 2006, 17(8): 1490-1494.(in Chinese)
- [6] Wu H M(吴虹明). Research on concentration of 13 elements in *Actinotuidium hookeri* (Mitt.) Broth in 5 forest floors [D]. Chengdu: Sichuan University, 2004: 12-20.(in Chinese)
- [7] Yuan L X(袁林喜), Long N Y(龙楠焯), Xie Z Q(谢周清), et al. Study on modern pollution source and bio-indicator in Ny-Ålesund, arctic [J]. Chin J Polar Res(极地研究), 2006, 18(1): 9-19.(in Chinese)
- [8] Li X M(李小梅), Zhao J L(赵俊琳), Sun L G(孙立广). Transferring feature of geochemical elements on the vertical section of moss in Antarctic [J]. Acta Ecol Sin(生态学报), 2001, 21(7): 1079-1083. (in Chinese)
- [9] Peng T(彭涛), Zhang Z H(张朝晖). Notes on mosses study of Tongshankou Copper Mine, Daye City, Hubei Province [J]. J Guizhou Norm Univ (Nat Sci)(贵州师范大学学报:自然科学版), 2006, 24(2): 1-6.(in Chinese)
- [10] Zhao C H(赵传海), Zhang Z H(张朝晖). Studies on bryophytes in the Shizishan Copper Mine of Tongling City, Anhui [J]. J Guizhou Norm Univ (Nat Sci)(贵州师范大学学报:自然科学版), 2006, 24(2): 7-12.(in Chinese)
- [11] Li X N(李晓娜), Zhang Z H(张朝晖). A study on the bryophytes of Dexing Copper Mine in Jiangxi Province, China [J]. J Guizhou Norm Univ (Nat Sci)(贵州师范大学学报:自然科学版), 2006, 24(2): 13-17.(in Chinese)
- [12] Zhou L Y(周灵燕), Zhang Z H(张朝晖). Bryophytes in Tangdan Copper Mine Site in Yunnan Province [J]. J Trop Subtrop Bot(热带亚热带植物学报), 2007, 15(1): 82-85.(in Chinese)
- [13] Zhao C H, Zhang Z H. Preliminary studies on bryophytes at Yongping Copper Mine, Jiangxi Province, P. R. China [J]. Chenia, 2007, 9: 369-376.
- [15] Zhou L Y, Zhang Z H. Note on the bryophytes on cupreous substrate in Yunnan Province, P. R. China [J]. Chenia, 2007, 9: 385-391.
- [16] 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)
- [17] Jiang H(江洪), Zhang Z H(张朝晖). Mensuration and correlating analyse of heavy metal elements in three mosses and soil from Lao Wanchang Lateritic Gold Deposits in Qinglong, Guizhou [J]. *Guihaia* (广西植物), 2007, 27(4): 610–615.(in Chinese)
- [18] Huang W H(黄文琥), Zhang Z H(张朝晖). Biogeochemistry research and analysis of biology prospecting potential on five bryophytes in Lannigou Gold Deposit, Guizhou Province [J]. *Gold* (黄金), 2006, 12(27): 12–15.(in Chinese)
- [19] Wang W Y(汪文云), Zhang Z H(张朝晖). Study on the bryophytes from Shuiyindong Carlin Gold Deposit in Guizhou [J]. *Gold* (黄金), 2008, 29(6): 8–12.(in Chinese)
- [20] Jiang H, Zhang Z H. A comparative study on bryophytes between Lateritic Gold Deposit and Limestone in Shaguochang of Guizhou Province, China [J]. *Chenia*, 2007, 9: 393–398.
- [21] Huang W H, Zhang Z H. The study of bryophytes in Lannigou Gold Deposit of Guizhou Province, P. R. China [J]. *Chenia*, 2007, 9: 377–383.
- [22] Zhu R L(朱瑞良), Wang Y F(王幼芳), Xiong L H(熊李虎). Progress in bryological research [J]. *Acta Bot Boreal-Occid Sin*(西北植物学报), 2002, 22(2): 444–451.(in Chinese)
- [22] 黄威廉, 屠玉麟, 杨龙. 贵州植被 [M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 1988: 60–80.
- [23] Huang C B(黄朝表), Guo S L(郭水良), Li H B(李海斌). Determination and analysis of heavy metal elements in plant of bryophytes in Jinhua Suburb, Zhejiang Province [J]. *J Shanghai Jiaotong Univ (Agri Sci)*(上海交通大学学报: 农业科学版), 2004, 22(3): 231–236.(in Chinese)
- [24] Zeng S C(曾曙才), Xie Z S(谢正生), Chen B G(陈北光). Studies on the microelements in forest trees and their litters [J]. *J S China Agri Univ (Nat Sci)*(华南农业大学学报: 自然科学版), 2002, 23(2): 69–61.(in Chinese)
- [25] Chen D Y(陈代演), Zou Z X(邹振西), Ren D Y(任大银). A preliminary application of the geobotanical method to the Lanmuchang Thallium (mercury) Ore Deposits in Southwest Guizhou [J]. *J Guizhou Univ Techn (Nat Sci)*(贵州工业大学学报: 自然科学版), 2000, 29(5): 32–38.(in Chinese)
- [26] Li H H(李海华), Liu J W(刘建武), Li S R(李树人), et al. The present progress of research on heavy metal pollution and plant enrichment in soil-plant system [J]. *J Henan Agri Univ*(河南农业大学学报), 2004, 34(1): 30–34.(in Chinese)