

大冶铜绿山矿区海州香薷 (*Elsholtzia haichowensis*) 植物地球化学特征分析

柯文山¹, 席红安², 杨毅¹, 王万贤¹, 陈世俭³

(1. 湖北大学生命科学学院, 武汉 430062; 2. 上海交通大学材料学院, 上海 200240; 3. 中国科学院测量与地球物理研究所, 武汉 430077)

摘要:研究了大冶铜绿山矿区海州香薷 (*Elsholtzia haichowensis*) 及其群落中几种主要植物 Cu、Mn、Zn、Cd、Pb 的累积分布, 植物与土壤元素、Cu 矿的关系, 并对海州香薷的重金属耐受性、铜矿的指示作用作了初步探讨。结果显示: 海州香薷植物中的元素表现为 Cu > Mn > Zn > Pb > Cd。其中 Cu、Mn、Pb 元素含量表现为根 > 叶 > 茎, Zn、Cd 表现为叶 > 根 > 茎, 和其它植物相比, 海州香薷中的 Cu、Mn、Cd 含量均高于其它植物, 是其它植物的 1~10 倍。海州香薷与土壤元素关系中, Cu 的相关性最显著, 其次为 Pb。海州香薷集中分布于矿区内含 Cu 较高的土壤上 (1645~8950 μg/g), 其分布与 Cu 密切相关。

关键词:微量金属元素; Cu 矿; 海州香薷; 地球化学特征; 耐受性

Analysis on characteristics of phytogeochemistry of *Elsholtzia haichowensis* in Daye Tonglushan copper mine

KE Wen-Shan¹, XI Hong-An¹, YANG Yi¹, Wang Wan-Xian², CHEN Shi-Jian³ (1. Life Science College of Hubei University, Wuhan 430062, China; 2. Material College of Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240; 3. Geodesy and Geophysics Institute of China Academy, Wuhan 430077, China)

Abstract: Element accumulation and distribution of *Elsholtzia haichowensis* and some dominant plants in *E. haichowensis* community were studied in Daye Tong Lushan copper mine area. Relations were analyzed among plants, soils and copper mine. The copper tolerance of *E. haichowensis* and its indication function were discussed. Results showed that metal element contents of *E. haichowensis* in sequence were ; Cu > Mn > Zn > Pb > Cd. Contents of Cu, Mn, Pb of the plant in sequence were ; root > leaf > stem, Zn and Cd ; leaf > root > stem. Compared with that of other plants in *E. haichowensis* community, contents of Cu, Mn and Cd in the plant were higher, and were as much as 1~10 of other plants. There was significant correlation in Cu contents between plants and soils, and the next was in Pb contents. *E. haichowensis* distributes in higher copper soil (1645~8950 μg/g) in copper mine area. There was closely relation between plant distribution and soil copper. It had higher copper tolerance in the plant.

Key words: micrometal element; *Elsholtzia haichowensis*; phytogeochemistry; tolerance

文章编号: 1000-0933(2001)06-0907-06 中图分类号: Q946.91, Q948.11, X171 文献标识码: A

植物-土壤生态系统地球化学特征研究在环境污染、矿区植被恢复、地方病、元素循环及植物找矿等方面已经取得了具有理论和实践的实际意义, 尤其在物理、化学方法不易勘查矿产方面具有其优越性^[1,2]。海州香薷 (*Elsholtzia haichowensis*) 为唇形科 1 年生草本植物, 能在 Cu 含量很高的土壤中生长^[3]。对该植物的化学成分、药用成分已有研究^[4,5], 而对其 Cu 等重金属元素在体内的分布累积、植物与铜矿的关系及该植

基金项目: 湖北省自然科学基金(20007087)、三峡工程生态环境监测湖北大学自然科学基金(SX-(97)-13-1)资助项目

收稿日期: 1999-05-21; 修订日期: 2000-04-16

作者简介: 柯文山(1965~), 男, 湖北人, 副教授。主要从事植物与环境生态、应用生态学研究。

物对重金属的耐受机理的研究较少^[6]。本文对大冶铜矿区海洲香薷植物-土壤生态系统的地球化学特征进行了分析,试图为植物找矿、矿区退化生态系统的植被恢复、重金属污染的治理等提供有益参考。

1 样地概况

大冶铜绿山铜矿,位于东经 114°53' 北纬 30°05', 隶属湖北省大冶市铜绿山镇,矿区面积为 7.80km²,是全国六大铜基地之一,更由其 3000a 前的古铜矿遗址而闻名。其地形为低山、丘陵、残丘和湖盆,海拔高度为 14.5~660m。地质为正石闪玢岩,矿区出露地层以白云石大理岩为主,夹带砂卡岩、凝灰岩、凝灰角砾熔岩等。气候属大陆性东亚季风型湿润性气候,太阳年辐射总量为 392.92~472.34KJ/cm²,年均日照时数为 1810.9h。年均温 17℃,最冷月(1月份)均温为 3.9℃,最热月(7月份)均温 29.2℃。年均降水 1406.6mm,降雨连续而集中时期为 6~7 月份。

土壤表层(0~30cm)各金属含量 Cu:1645~8950μg/g(平均 5843μg/g),Mn:1260~3580μg/g(平均 2326μg/g),Zn:216.5~1055μg/g(平均 721.45μg/g),Cd:0.252~0.365μg/g(平均 0.271μg/g),Pb:2.38~17.6μg/g(平均 12.4μg/g)。其中 Cu 比湖北省红土壤背景值高 200 多倍(26.2μg/g),Zn 高 10 多倍(66.7μg/g) Cd 高 3 倍。

样地植被主要为草丛,以海洲香薷群落为主,占 80%~90%,盖度为 0.6~0.8。其中主要有海洲香薷纯群落、海洲香薷和另外一些植物共同占优势的混合群落。纯群落中,海洲香薷占绝对优势,占 95%以上,生长茂盛,呈现群集生长,另有少量狗尾草(*Setaria viridis*)等;混合群落中,其优势种除海洲香薷(占 40%~50%)外,还有茵陈蒿(*Artemisia capillaris*)、苎草(*Arthraxon hispidus*)、野胡萝卜(*Daucus carota*)等。

2 研究方法

2.1 调查取样

于 1998 年 4~6 月份先后对大冶铜绿山、铜山口、龙角山、冯家山等铜矿及部分铁矿区进行植被概况踏查后,选择植被保护较好的铜绿山(遗址附近)为典型样地,样地每隔 100m 设一条样线(从坡底到坡顶);每线每隔 30m 设 1×1m² 样方进行群落调查,包括植物种类、盖度,海洲香薷种群密度、高度、盖度等,并于每样方内随机采集 20~30 株海洲香薷植物(全株)及其它主要优势植物分别混合作一个样、随机取 3~5 点土样(0~30cm)混合作一个样。共设 4 条样线,40 个样方,采到植物样品 160 个,土样 40 个。另在无污染的自然背景区随机采集相应植物各 30~40 株作对照。

2.2 样品分析

植物样品地上和地下部分分开(海洲香薷分根茎叶)用无离子水洗净,70℃下烘干至衡重,粉碎,土样碾碎后 80 目尼龙筛过筛。各样品按劳家桎^[7]方法消化定容,等离子体原子发射光谱仪(ICP-AES)测定元素含量。

3 结果分析

3.1 植物元素含量

3.1.1 海洲香薷植物不同部位元素含量 图 1 可知,Cu、Mn、Zn、Cd、Pb 几种金属元素在海洲香薷植物中的含量表现为 Cu(336.72±87.42μg/g) > Mn(116.29±52.54μg/g) > Zn(42.54±6.43μg/g) > Pb(5.62±1.27μg/g) > Cd(1.12±0.5μg/g),根、茎、叶元素含量均表现为 Cu > Mn > Zn > Pb > Cd,根中 Cu 含量最高,分别是 Mn 的 3 倍,Zn 的 8 倍。不同金属元素在植物不同部位含量不一样,Cu、Mn、Pb 表现为根 > 叶 > 茎;Zn、Cd 表现为叶 > 根 > 茎。

3.1.2 海洲香薷和群落中其它几种主要植物元素含量的比较

由图 2 可知,天蓝苜蓿、茵陈、苎草中铜的累积均为地下部分显著高于地上部($P < 0.01$),地下部分(分别为 402.42±89.68μg/g;423.45±104.72μg/g;350.34±75.26μg/g)约分别是地上部分(分别为

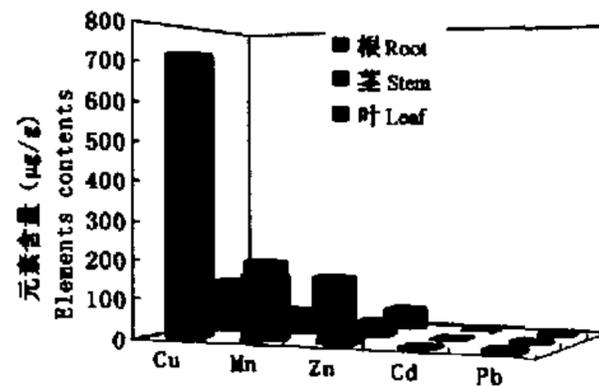


图 1 海洲香薷植物元素含量

Fig. 1 Elements contents of *Elsholtzia haichowensis*

45.35±5.83μg/g, 118.42±66.14μg/g; 76.24±36.35μg/g)的10倍, 4倍, 5倍。野胡萝卜则是地上>地下。对照组中, 天蓝苜蓿、茵陈、苧草、野胡萝卜均为地下部分大于地上部分, 但地上和地下Cu含量差异不大。海州香薷与这些植物相比, 其Cu含量均高于这几种植物, 分别是野胡萝卜的10倍, 天蓝苜蓿、茵陈、苧草1~3倍。

海州香薷地下部分Mn含量(164.13±41.45μg/g)略高于苧草(156.24±64.44μg/g)、茵陈(152.45±61.58μg/g), 明显高于天蓝苜蓿(95.23±44.35μg/g, $P<0.05$)、野胡萝卜(24.76±3.45μg/g, $P<0.01$); 地上部分则是海州香薷略低于茵陈(94.82±23.15μg/g), 显著高于天蓝苜蓿(48.35±7.34μg/g, $P<0.01$)、苧草(62.12±8.54μg/g, $P<0.01$)、野胡萝卜(64.04±11.84μg/g, $P<0.01$)。

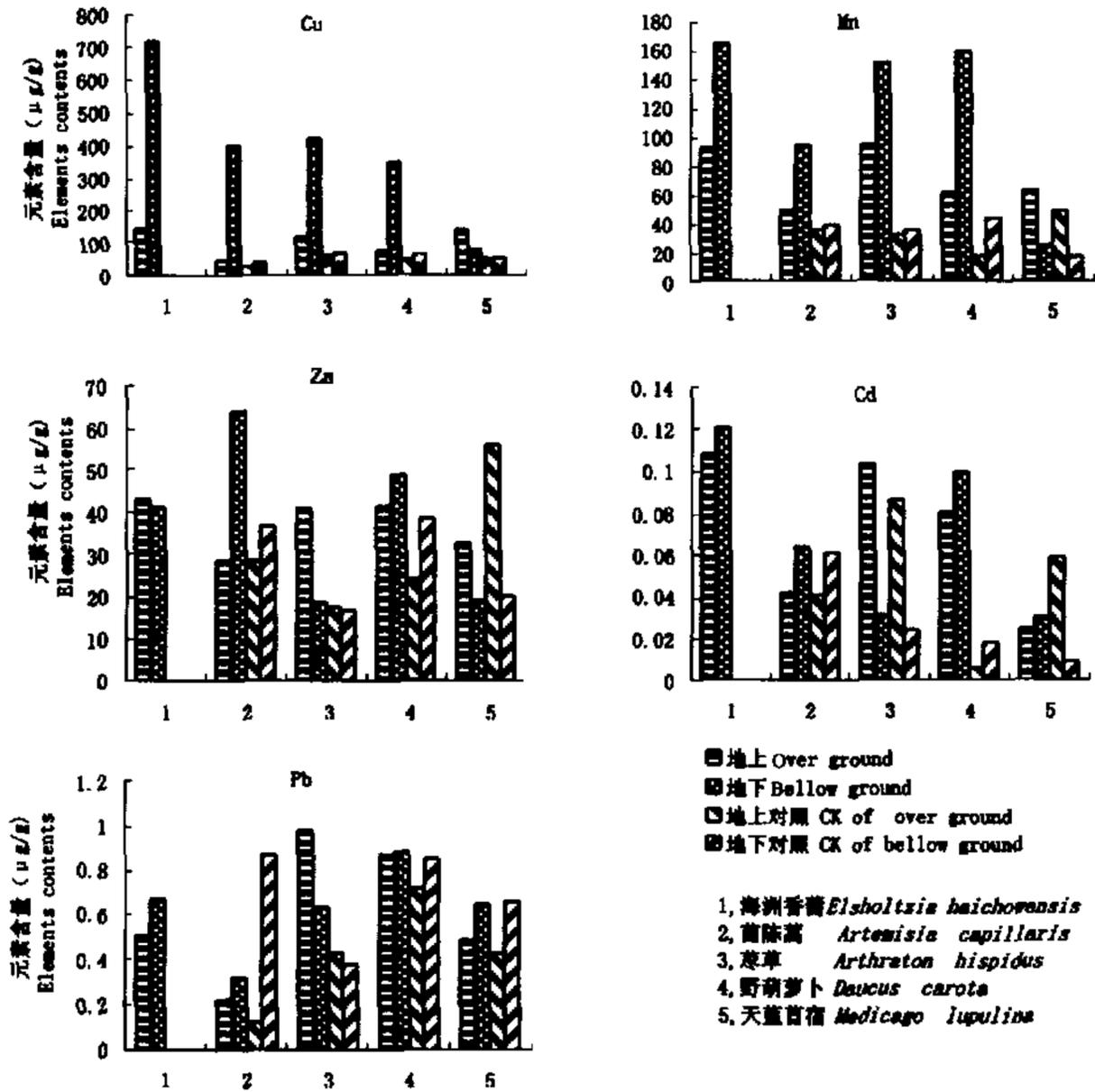


图2 海州香薷群落几种主要植物元素含量比较

Fig. 2 Comparison of elements contents in some dominant plants in *E. haichowensis* community

海州香薷、茵陈、野胡萝卜中Zn的含量表现为地上>地下(图2)。海州香薷和这几种植物相比, 地下部分(42.02±5.63μg/g)显著低于天蓝苜蓿(63.84±6.46μg/g, $P<0.01$)、野胡萝卜(51.13±4.85μg/g, $P<0.01$); 地上部分除明显高于天蓝苜蓿(28.41±3.58μg/g, $p<0.01$)、野胡萝卜(31.46±40.51μg/g, $P<0.01$)外, 与其它两种相当。而矿区生长的天蓝苜蓿、茵陈、苧草、野胡萝卜与对照相比, 并不是每一种植物地上和地下都明显比对照高, 有些地上(或地下)部分与对照无明显差异。天蓝苜蓿、苧草、野胡萝卜中Cd的含量表现为地下>地上, 而茵陈则为地上>地下。海州香薷和这几种植物相比, 除茵陈地上部分差异不显著外, 其它不论地上或地下, 海州香薷均显著高于其它植物($P<0.01$)。天蓝苜蓿、茵陈和对照组相比无

明显差异。Pb 含量中,海洲香薷、天蓝苜蓿、苎草、野胡萝卜表现为地下高于地上,茵陈则是地上高于地下。

表 1 大冶铜矿区植物与土壤元素相关系数

Table 1 Correlation coefficient between the element contents of plants and soils in Daye Cu mine area

物种 Species	植物部位 Parts of plant	样品数 Amount of samples	Cu	Mn	Zn	Cd	Pb
海洲香薷 <i>Elsholtzia</i>	根 Root	30	0.690**	0.438*	0.151	0.416*	0.470**
	茎 Stem	30	0.580**	0.283	0.303	0.024	0.352
<i>haichowensis</i>	叶 Leaf	30	0.445*	0.110	0.512*	0.146	0.301
茵陈 <i>Artemisia</i>	地上 Over ground	32	0.416	0.381	0.505*	0.464*	0.417
<i>capillaris</i>	地下 Bellow ground	32	0.480*	0.451	0.428	0.384	0.351
苎草 <i>Arthraxon</i>	地上 Over ground	30	0.411	0.449*	0.382	0.489*	0.221
<i>hispidus</i>	地下 Bellow ground	30	0.576**	0.491**	0.387	0.455	-0.089
野胡萝卜 <i>Daucus</i>	地上 Over ground	31	0.621*	0.615*	0.414	0.248	0.324
<i>carota</i>	地下 Bellow ground	31	0.577	0.486	0.382	0.314	-0.287
天蓝苜蓿 <i>Medicago</i>	地上 Over ground	34	0.405	0.384	0.014	0.325	0.443
<i>lupulina</i>	地下 Bellow ground	34	0.624**	0.507*	0.336	0.229	0.158

* $P \leq 0.05$, ** $P \leq 0.01$

3.2 植物与土壤元素关系

海洲香薷及群落中几种主要植物与土壤元素相关分析如表 1。结果表明:海洲香薷各部位(根、茎、叶)中的 Cu 与土壤 Cu 元素相关显著($P < 0.05$),其中根、茎相关极显著($P < 0.01$);根中的 Mn、Cd 与土壤相关显著,Pb 相关极显著;叶中的 Zn 与土壤中的 Zn 元素相关显著。说明海洲香薷各部位 Cu 的相关性比 Mn、Zn、Cd、Pb 元素相关性好,随土壤 Cu 含量的增加,植物对 Cu 的吸收、累积增强。海洲香薷和其它几种植物相比,植物各部分相关性仍比其它几种植物好。其它几种植物除苎草地上和地下部分的 Mn、Cd 相关性均显著外,其它部位植物元素的相关性并不一致。有的植物地下部分元素的相关性较好,有的是地上部分相关性较好,有的都无显著相关。说明不同植物即使是同一植物对不同元素吸收迁移、累积不一样。一方面反映植物本身的特性,另一方面也反映土壤元素对植物的影响及在植物体内的迁移能力。

3.3 植物分布与矿的关系

表 2 大冶地区海洲香薷的分布与铜矿的关系

Table 2 The relation between plant distribution of *E. haichowensis* and copper mines in Daye area

地点 Sites	海洲香薷 <i>E. haichowensis</i>	茵陈蒿 <i>A. capillaris</i>	苎草 <i>A. hispidus</i>	野胡萝卜 <i>D. carota</i>	天蓝苜蓿 <i>M. lupulina</i>
铜绿山铜铁矿 Cu-Fe mine of Tonglushan	*	*	*	*	*
铜山口铜钼矿 Cu-Mo mine of Tongshankou	*		*		*
龙角山铜矿 Cu mine of Longjiaoshan	*			*	
冯家山铜矿 Cu mine of Fengjiashan	*		*		
大箕铺铜金砂矿 Cu-Ag sand mine of Daqipu	*	*			*
金山店铁矿 Fe mine of Jinshandian		*	*	*	
灵乡铁矿 Fe mine of Lingxiang		*			*
张敬简铁矿 Fe mine of Zhangjingjian				*	*

* 存在 presence.

在调查的 5 个铜矿(表 2)无一例外有海洲香薷分布,而附近 3 个铁矿则无。其它几种植物在 5 个铜矿区存在或不存在。更有意思的是,在铜矿区以外范围则未见海洲香薷分布,而另外一些植物不只限于铜矿

区,可见其要分布与铜矿存在密切联系。而且在这几个铜矿区,海州香薷分布于废弃矿井四周、矿渣或开采区周围裸露松土、沟边、断壁上,甚至铜矿石上也能生长。这些地方Cu的含量都高于背景值数十倍至数百十倍。其分布区的铜矿多为浅矿、易开采、品位高。

海州香薷的分布特征、生长状况与铜矿有着密切的关系。在主矿体区海州香薷分布的密度、盖度大,多度高,生长茂盛(表3, Q1~Q4),往往呈集群分布。在尾矿地段,海州香薷分布减少,密度、盖度减少。

表3 铜绿山矿区不同地段海州香薷种群生长分布特征

Table 3 The traits of growth and distribution of *E. haichowensis* in different sections of the Tonglushan mine

矿区地段 Sections of Cu mine	土壤Cu含量($\mu\text{g/g}$) Contents of Cu in soils	株高(cm) Height of plants	密度(株/ m^2) Densities	盖度(%) Coverage	多度 ¹⁾ Abundance
Q1 主矿体地段,疏松裸土	7980 \pm 102.25	28 \pm 13.43	1400	0.7~0.8	Soc.
Q2 主矿体地段,平地或斜坡	6800 \pm 89.42	24 \pm 8.26	1100	0.6~0.7	Cop ³
Q3 主矿体地段,矿石堆积	7406 \pm 98.36	21 \pm 6.78	980	0.3~0.4	Cop ²
Q4 尾矿地段	2540 \pm 65.21	18 \pm 4.58	74	0.1~0.3	Sp.
Q5 矿体区域外地段	780 \pm 54.23	15 \pm 6.47	8	0.01~0.05	Sol.
Q6 矿区废矿渣	3407 \pm 62.14	17 \pm 4.65	1300	0.6~0.7	Soc.
Q7 矿区公路边	2454 \pm 106.43	13 \pm 8.46	850	0.2~0.3	Cop ¹

1) Drude 多度等级 class of Drude's abundance; Q1 Section of main mine body, loosen barren soils; Q2 Section of main mine body, flat or slope; Q3 Section of main mine body, heaps of mine stones; Q4 Section of tail mine; Q5 Section around mine body area; Q6 Mine residues in mine area; Q7 Roadside of mine area

4 结果讨论

4.1 海州香薷元素含量及耐受性探讨

Cu、Mn、Zn、Cd、Pb元素在海州香薷体内的含量以Cu最高(336.72 \pm 87.42 $\mu\text{g/g}$),根茎叶器官中又以根中Cu的含量最高(718.75 \pm 189.10 $\mu\text{g/g}$)。和其它几种主要植物相比,海州香薷的Cu含量显著高于天蓝苜蓿、茵陈、苕草、野胡萝卜。因此,海州香薷是Cu的累积者。海州香薷所生长的土壤Cu含量很高(1645~8950 $\mu\text{g/g}$),比背景值高200多倍,比耐铜植物 *Arenaria douglasii*, *Bromous mollis*, *Vulpia microstachya* 所生长的土壤还高^[5]。而且海州香薷体内的Cu、Mn、Zn、Cd、Pb元素中,Cu的含量与土壤Cu显著正相关。海州香薷能在此高品位铜矿区生长,可见其具有很高的耐受性。至于海州香薷耐受范围及最适生长范围如何还需进一步研究。将海州香薷移栽到Cu背景值土壤中,该植物很难存活,少数存活也未见能开花结实,也许该植物长期生活在高Cu土壤中,形成了适应该土壤某些适应特征。通过几种酶的分析(另文报道),发现SOD活性在高Cu中比在低Cu中的高,Cu又是SOD结合的金属部位,这种酶可能在其耐受的机制方面起重要作用。

Macnair等认为,植物对铜的耐受性受铜耐受基因控制,耐受性遗传差异决定于修饰基因存在与否^[9,10]。植物长期生长在铜矿区逐渐进化形成对铜等金属的耐受机制不同:一种是植物根对金属不同的吸收积累能力机制就是植物耐受金属的机制^[11]。这类植物根比地上部分积累更多的金属,且和非耐受型植物有显著差异。另一种是植物的耐受机制并不是根对金属不同的吸收积累机制^[9]。这类植物虽然根中能吸收积累更多的铜金属,但在耐受型和非耐受型中并没有差异。至于海州香薷属于哪一种机制还有待于进一步研究。

4.2 海州香薷对Cu的指示作用

海州香薷俗称铜草花,在当地Cu矿的寻找中该植物是一个重要的线索标志。古代对Cu矿的寻找就是以孔雀石和铜草花为线索^[12]。在大冶几个铜矿的调查中都发现有海州香薷的分布,而铜矿区外及其它金属矿区未见其分布,因此其指示作用较为明显^[6]。在这几个有该植物分布的铜矿中,Cu品位高(以铜绿山最为著名),易于开采,海州香薷的分布又集中在异常区内,这为找矿及矿场定位提供了有益的参考依据。同时,矿区Cu等重金属污染严重,矿区开采后土地裸露,加之生境贫瘠恶劣,其上不易生长植物,而海州香薷却能异常繁盛生长,这为Cu矿区生态系统的植被恢复提供重要的物种资源。

参考文献

- [1] 孔令超,高平,任天祥,等. 内蒙古阿拉善脑木洪铜矿区的植物地球化学特征. 植物学报, 1992, 34(10): 781~789.
- [2] Erdman J A. Biogeochemistry in mineral exploration. *J. of Geochemistry Exploration*. 1984, 21: 123~128.
- [3] 刘胜祥主编. 植物资源学(第二版). 武汉: 武汉出版社, 1994. 245.
- [4] 龚慕辛,朱甘培. 海州香薷化学成分的研究. 中草药, 1998, 29(4): 22. 7.
- [5] 糜留西,吕爱华,张丽红. 海州香薷挥发油成分的研究. 武汉植物学研究, 1993, 11(1): 94~96.
- [6] 谢学锦,徐邦梁. 铜矿指示植物海州香薷. 地质学报. 1953, 32(4): 360~367.
- [7] 劳家桢编. 土壤农化分析手册. 北京: 农业出版社, 1988. 658~709.
- [8] Kruckeberg A L and L Wu. Copper tolerance and copper accumulation of herba-ceous plants colonizing inactive California copper mines. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 1992, 23: 307~319.
- [9] Macnair Mn R. The genetic control of copper tolerance of the yellow monkey flower *Mimulus guttatus*. *Heredity*. 1983, 50: 288~289.
- [10] Macnair M R, Smith S E and Cumbes Q J. Hereditability and Copperoplis. California. *Heredity*. 1993, 71: 445~456.
- [11] Wu L and Antonovics J. Experimental ecological genetics on *Plantago*. I: Lead tolerance in *Plantago lanceolata* and *Cynodon dactylon* from a roadside. *Ecology*. 1975, 57: 205~208.
- [12] 杨永光,李庆元,赵守忠. 铜绿山古矿开采方法研究. 有色金属, 1980, 4: 225~230.

《植物演化及其多样性》介绍 (The Diversity and Evolution of Plants)

作者: Lorentz C. Pearson

出版: CRC Press 1995

索书号: Q941/P361

20世纪,随着人类能动性的开发,造成了对植物和动物多样性的威胁,其中也包括人类自身的存在。庆幸的是相对于开发利用而言,21世纪将更多的是一个资源保护的世纪。

这是一本关于植物多样性和进化(如多样性极限起因)的教材。作者通过对晚期的前寒武纪的化石考证,提出了植物界分类和植物多样性的模式,预测了植物演化及多样性的发展趋势。

本书的编排是按植物演化的过程进行的,共分四章,基本内容和主要目次如下:

第一章 引言 1. 植物多样性和分类; 2. 植物多样性的时空分布。

第二章 红系 3. 原核生物及裂殖生物; 4. 红海藻, 红藻; 5. 陆生真菌: 霉菌和蘑菇; 6. 地衣和其它共生植物。

第三章 褐系 7. 过火植物和隐芽植物; 8. 粘菌; 9. 藻类: 硅藻和其它金藻; 10. 有鞭毛的真菌; 11. 大型海藻(如海带)和其他褐色海藻。

第四章 绿系 12. 裸藻; 13. 池塘藓, 管藻和轮藻植物; 14. 绿藻和苔藓植物; 15. 拟蕨植物和维管束植物的起源; 16. 蕨类植物的起源; 17. 种子植物: 裸子植物; 18. 种子植物: 有花植物。

本书每章节后都附有大量的建议读本、学生练习、兴趣读物,以使读者更好地了解、掌握该教材。

本书适合于环境科学、植物学、生态学等学科的研究人员、教师及研究生和生物多样性保护政策制定人员阅读,特别适合于研究植物进化及多样性、环境监测及保护等有关工作人员阅读。

刘丽华 武汉大学图书馆外国教材中心