

广东鼎湖山斑岩钼矿区生物地球化学特征

徐金鸿^{1,2}, 徐瑞松¹, 夏斌¹

(1. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 本文对从钼矿区和对照区采集的岩石、土壤和植物样品的研究表明, 矿区岩石与土壤中钼含量的相关系数为 0.74, 土壤与马尾松、桃金娘、鼠刺和芒箕叶片中钼含量的相关系数分别为 0.9, 0.87, 0.98 和 0.99。在马尾松、桃金娘、鼠刺、芒箕和藤黄檀的叶片中, 矿区相对于对照区, 前者的最高钼含量是后者的 18 倍、53 倍、12 倍、46 倍和 35 倍。钼含量高的土壤中生长的藤黄檀的细胞, 在电子显微镜下其结构发生明显变化, 主要表现为核膜界限消失, 核仁解体, 叶绿体结构受到破坏, 细胞中有颗粒物存在。钼还会抑制植物叶片对镁的吸收。因此利用生物地球化学特征可以找出隐伏在植被下的矿床。

关键词: 钼; 生物地球化学; 马尾松; 芒箕; 藤黄檀

中图分类号: P593

文献标识码: A

近年来, 由于利用生物地球化学能够寻找到被各种厚层覆盖物掩埋的矿床^[1-12], 越来越多的研究人员开展了对矿区生物地球化学特征的研究工作^[13-18]。但这些研究主要集中在金、铜矿区, 而对钼矿区的生物地球化学特征研究较少^[17-18]。本文以广东鼎湖山钼矿区为对象, 对矿区内植物群落的地球化学特征进行了尝试性研究, 旨在探讨钼矿区的生物地球化学特征。

1 矿区概况和样点选择

矿区位于北纬 23° 10', 东经 112° 30', 属于亚热带-中亚热带的过渡气候带, 年平均气温 20~20.5℃, 年平均降水量 1 563.6~2 345 mm 之间^[19]。矿区地处四会-吴川北东向深大断裂带与惠东-高要东西向深大断裂带交汇复合的部位。地层为中下泥盆统砂岩, 粉砂质页岩, 粉砂岩。构造以 NE 向断裂为主, 具多期性和继承性。钼矿体产于斜长花岗斑岩与粉砂岩接触带中, 呈椭圆状, 矿体长 1 700 m, 宽 840 m, 平均厚 141 m^[20]。矿体围岩蚀变, 属中心式面型蚀变, 在平面上呈环带状, 从内向外为黑云母-斜长石化带; 石英-绢云母化带;

石英-黄铁矿化带; 绿泥石-黄铁矿化带^[20]。

在矿区内, 从主要金属元素 Mo 高含量-中含量-低含量-正常量^[20]来选取观测点 2、4、6、8、9、11、10、13。其中 2、4 号点在矿体上, 6 号点在矿体边缘, 8 号点在石英-黄铁矿化蚀变带, 9 号点在绿泥石-黄铁矿化蚀变带, 11 号点在矿体的西侧, 13 号点在斑岩体部位, 10 号点在矿区外围正常区(背景或对照区)。

2 植物选择与样品测试方法

2.1 植物选择

矿区内植物种类^[21]繁多, 藻类植物中的蓝藻门有八属, 蕨类植物有 11 种, 裸子植物有 138 种, 单子叶植物 17 种。虽然在钼矿区及其附近植物种类繁多, 但真正显现钼元素生理生态的植物种类只有下列这些: 铁芒箕(*Dicranopteris Linearis*), 芒箕(*Dicranopteris linears. Var. dichotoma*), 马尾松(*Pinus massoniana*), 杉(*Cunninghamia lanceolata*), 豺皮樟(*Litsea rotundfolia Var. oblongifolia*), 网脉山龙眼(*Helicia. Reticulata*), 岗松(*Baicea frutescens*), 桃金娘(*Rhodomyrtus tomentosa*) 黄牛木(*Cratoxylon cochinchinensis*), 葫芦茶(*D. triguetrum*), 长叶山竹子(*Garcinia. Oblongifolia*), 鼠刺(*Itea chinensis*), 藤黄檀(*Dalbergia hancei*), 金钱草(*D. styracifolium*), 山鸡血藤(*Millettia dielsiana*), 鰐蒴(*Castanopsis fissa*), 黄毛榕(*Icus fulva*), 掌叶榕(*Hirta*), 少叶黄

收稿日期: 2005-05-16; 修回日期: 2005-07-25

基金项目: 国家重大基础研究前期研究专项(2003CCA00100); 中科院创新项目(KZCX3-SW-152)

第一作者简介: 徐金鸿(1976-), 男, 博士研究生。E-mail: xujh@gig.ac.cn

杞 (*Engelhardtia fengelii*), 鸭脚木 (*Schefflera octophylla*) 等。其中铝生态特征最突出的是山鸡血藤, 藤黄檀, 少叶黄杞, 鸭脚木, 葫芦茶, 铁芒箕, 芒箕, 马尾松, 桃金娘等。在植物的选择上, 首次野外考察了 43 种植物, 在各观测点上采取植物的叶片进行成分分析。从获得的结果中筛选出五种具有代表性的植物: 马尾松、桃金娘、鼠刺、芒箕和藤黄檀。以它们作为观测对象, 来研究铝的生物地球化学特征。具体采样时, 在各观测点周围 40~50 m 内选 5~8 株同种同龄的植物, 在每株植物上中下, 东西南北采取其叶作为一个样本。

2.2 土壤元素含量的测试

在观测点挖取土壤剖面, 采取试样, 样品风干后, 去除树枝, 根系, 落叶等, 磨碎, 拌匀, 按 120 目筛留取试样。取土样 0.25 g, 用 $\text{HNO}_3\text{--HClO}_4\text{--HF}$ 硝化, 消除有机质, 然后定容至 25 mL, 用 ICP-3580 光谱仪 (电感耦合等离子体, 精度为 10^{-9}) 测定 Mo, Cu, Zn, Fe, Mg 的含量。

2.3 植物叶片元素含量的测定

采集植物叶片, 取测定试样 100 g, 用蒸馏水冲洗干净, 在 60~70 °C 下烘干, 磨碎, 拌匀, 取其干粉 0.5 g, 用 $\text{HNO}_3\text{--HClO}_4$ 硝化, 消除有机质, 在 ICP-3580 光谱仪测定 Mo, Cu, Zn, Fe, Mg 的含量。

2.4 透射电镜测定

野外采集铝矿体中心区 2 号点和对照区 10 号点的藤黄檀和鼠刺叶片, 切成 1 mm×1 mm, 用戊二醛溶液 (4%) 固定冷藏于冰壶中, 然后经过缓冲液漂洗-硼酸固定-缓冲液漂洗-乙醇 (75%~100%)

浓度梯度逐步脱水-用 EPON812 包埋剂包埋-修块切片-醋酸铀和柠檬酸铅染色。在中山大学测试中心 JSM-6330F 型场发射扫描电镜上观察叶片细胞特征。

3 生物地球化学特征

由表 1、表 2 和表 3 可以得出:

(1) 矿区岩石和土壤中铝含量的变化和分布规律是一致的, 它们之间的相关系数为 0.74。此外在植被覆盖率相对较高的 4、8、11 和 13 点, 土壤与岩石中铝含量的比值相对于其它点大, 说明植物有富集累积铝的作用, 其根系和枯枝落叶有阻止铝从土壤中流失的作用。

(2) 芒箕、马尾松、桃金娘、鼠刺叶片中的铝含量与土壤中的铝含量变化是相对应的, 即土壤中铝含量高时叶片中的铝含量也高。马尾松、桃金娘、鼠刺和芒箕叶片中的铝含量与土壤中铝含量的相关系数分别为 0.9、0.87、0.98 和 0.99。

(3) 在马尾松、桃金娘、鼠刺、芒箕和藤黄檀的叶片中, 矿区相对于对照区, 前者的最高铝含量是后者的 18 倍、53 倍、12 倍、46 倍和 35 倍。

(4) 矿体上鼠刺叶片中最高铝含量 ($3.63\text{ }\mu\text{g/g}$) 在所选的五种植物中最低, 说明鼠刺在高铝环境中对铝的吸收量最稳定, 对铝的有控吸收力最强。在 2 号点 (土壤铝含量 $856.06\text{ }\mu\text{g/g}$) 的环境中, 鼠刺叶子含铝量仅为 $2.5936\text{ }\mu\text{g/g}$, 为同种环境条件下生长的豆目植物叶子含铝量的 $1/7\sim 1/22$, 为马尾松叶的 $1/2.7$, 芒箕叶的 $1/2.4$ 。在矿区高铝环境中, 藤黄檀不易生长, 猴耳环为数不多, 马尾松大量死亡, 唯有自控吸收力强的鼠刺、密花树和黄杞等能大量生长。这都说明了鼠刺能适应高铝环境。从而鼠刺可能可以作为高铝环境的指示植物。

表 1 铝矿区岩石与土壤中部分元素的含量

Table 1. Mo contents in soil and rock

采样点	岩石、蚀变带类型	μg/g					
		岩石中 Mo	土壤中 Mo	土壤中 Cu	土壤中 Zn	土壤中 Mg	土壤中 Fe
2	石英-云母化带	1 188.81	856.06	30.95	67.46	1 158	13 440
4	石英-云母化带	297.89	825.73	35.63	66.23	1 740	20 501
6	石英-云母化带	199.02	213.84				
8	石英-黄铁矿化带	10.03	43.1	15.61	48.56	1 634	24 215
9	绿泥石-黄铁矿化带	7.47	7.5	14.24	68.71	1 666	29 960
11	石英-云母化带	359.85	535.71	16.16	56.04		
13	黑云母-钾长石化带	19.08	65.1	154	72.43	5 827	24 447
10	砂页岩	12.7	2.4	7.361	62.37	3 924	28 656

注: 由中山大学测试中心分析。

表 2 钼矿区植物叶片中部分元素含量

Table 2. Element contents in plant leaves

							µg/g						
植物	点号	Mo	Cu	Zn	Mg	Fe	植物	点号	Mo	Cu	Zn	Mg	Fe
马尾松	2	6.97	4.27	41.4	1402	67.47	鼠刺	9	0.2	6.2	75.83	2936.4	122
	4	7.99	5.42	22.8	1398.3	83.06		11	2.25	4.48	74	1691.6	96.6
	6	0.2	4.41	38.9	1657.2	87.18		13	1.59	5.5	58.99	4115.4	122
	8	0.37	5.2	26.6	1354.7	72.57		10	0.3	5.92	95.24	1942.7	109
	9	0.23	11.8	21.3	1688.5	45.09		2	6.22	5.19	24.07		56
	11	1.63	4.12	34.2	1766.9	92.34		4	9.23	5.85	32.82		97
桃金娘	13	1.52	6.69	25.1	2516.6	75.59	芒箕	6	3.48	5.46	47.29		79.3
	10	0.44	6.14	25.9	929.1	52.43		8	0.9	5.56	34.52		72.2
	2	4.03	10.8	20.7	2112.8	20.69		9		4.69	34.47		64.3
	4	10.5	10.2	15	2078.9	15.01		11	7.46	5.18	28.21		59.7
	6	1.52	15.1	19.5	1559.7	19.54		13	2.64	6.63	31.22		78.2
	8	1.03	10.4	17.3	1957.7	17.29		10	0.2	4.48	27.89		50.8
鼠刺	9	0.67	6.5	14.1	2364.6	14.08	藤黄檀	2	18.5	10.5	11.16	1304.8	72.2
	11	4.59	17.1	11.7	1498.8	11.74		4	1.43	8.34	17.99	1158.8	96.5
	13	5.8	10	13.6	2832.6	13.61		6	0.73	9.56	12.03	1888.6	76.3
	10	0.2	9.94	16.4	1123.1	16.39		8	0.54	8.13	12.57	2734.9	90.9
	2	2.59	4.92	99.3	2309.55	96.75		9	0.22	11.6	14.28	2912.4	107
	4	3.63	6.15	57.6	2430.45	107.4		11	4.7	12.9	6.63	2166.7	116
芒箕	6	0.49	4.36	89.7	2648.74	91.11		13	1.03	12.3	15.88	2968.1	144
	8	0.2	6.41	65.2	2717.52	95.07		10	0.52	5.3	69.04	5760.4	76

注: 分析同表1

表 3 岩石土壤与植物叶片中钼含量的相关分析

Table 3. Correlation analysis of Mo contents in rocks, soils and plant leaves

	岩石	土壤	马尾松	桃金娘	鼠刺	芒箕
岩石	1					
土壤	0.74	1				
马尾松	0.72	0.9	1			
桃金娘	0.37	0.87	0.85	1		
鼠刺	0.64	0.98	0.91	0.94	1	
芒箕	0.82	0.99	0.88	0.8	0.94	1

(5) 在相同的环境条件情况下, 植物叶片钼含量高时, 镁含量明显降低, 相反钼在叶子中含量低时, 镁则含量高。

(6) 鼠刺是锌的强吸收与累积量大的植物。在同一环境条件下, 鼠刺叶片的锌含量高于其附近植物的 2~9 倍。可能鼠刺在锌的生态方面还有独特的意义。

4 植物群落及生态的变化

土壤中钼含量在 600 µg/g 以上的范围内, 植物群落主要有四种: 马尾松—桃金娘+鼠刺—芒箕为优势种的群落; 马尾松+桃金娘—狗脊 (*Woodwardia japonica*) 为优势种的群落; 黄杞+红皮紫陵

(*Craibiodendron kwangtnugense*)+桃金娘—金毛狗 (*Cibotium barometz*) 为优势种的群落; 马尾松—桃金娘—芒箕为优势种的群落。类型主要是常绿阔叶林和针阔叶混交林。覆盖在这个地段上的植物群落外观有明显特征, 上层乔木的阔叶树种黄杞、鸭脚木的叶片失绿黄化, 针叶树种马尾松的针叶变成红、红褐色和多量的半枯或枯叶, 马尾松、桃金娘分枝死亡 (见图 1A、B)。这些变异组成了一个绿色、黄色、褐色、红色和灰色相间的“多色”植物群落。马尾松开花提前一个月左右, 果实成熟时间延长, 叶片返青。桃金娘果实成熟期推迟 1 至 1 个半月左右。

土壤中钼含量在 200~600 µg/g 的范围内, 植物为鼠刺+红皮紫陵—芒箕群落, 类型以阔叶为主。植物群落外观有所好转, 色斑减少, 但叶片仍呈灰绿、灰黄色; 土壤中钼含量小于 200 µg/g 时, 黧蒴开始出现, 在开花季节, 沿着钼含量 200 µg/g 的界限, 黧蒴的花组成“花环”, 镶嵌在植物群落中, 环抱钼矿体 (图 1C)。

土壤中钼含量在 50~100 µg/g 的范围内, 植物为红皮紫陵+鼠刺—马尾松—桃金娘+杜鹃 (*Rhododendron simsii* Planch)—苏铁蕨 (*Blechnum insignis*) 群落, 群落类型为针阔叶混交林。植物群落

外观有较大的好转,但仍呈淡灰黄,灰绿色。

土壤中钼含量在 $0.1 \sim 10 \mu\text{g/g}$ 的范围内,植物为马尾松—鼠刺+桃金娘—黑沙草(*Gahnia tristis*)—乌毛蕨(*Blechnum orientale*)群落,群落类型为针叶灌丛,外观正常;对照区土壤中钼含量为 $4.64 \mu\text{g/g}$,植物群落为马尾松—芒箕—桃金娘,群落类型为针叶林,植物外观正常。

在高钼地段植物中,钼含量增高叶片褪绿黄化黄斑,引起一系列生理生态反应。富钼植物叶片中 Fe、Mg、Cu、Zn、Mn 与 Mo 的比值较正常植物低。过量 Mo 影响光合作用,引起“黄化病”,但并非 Mo 的直接作用,而是通过其它的因素而起的作用。在叶绿体色素中钼含量少于 $0.08 \mu\text{g/g}$,而在叶黄素、胡萝卜素检测不到 Mo 元素,可见钼元素并非直接对光合色素起作用。

5 叶片细胞超微结构

由电子显微镜下观察得知,矿体上的藤黄檀因积累了大量的钼,导致细胞结构发生变化。核膜界限消失,核仁解体,线粒体嵴,基质消失成为“空壳”,叶绿体结构受到破坏,细胞中有颗粒物存在,至于颗粒物的成分以及其含量还有待于做进一步研究。而对照区藤黄檀的细胞结构完整,可见清晰双层核膜结构,核仁明显,线粒体内陷有明显的嵴,叶绿体结构完整,可见明显的片层结构(图 2)。而鼠刺叶片的细胞结构在矿体上与对照区基本一致。核结构完整,线粒体明显,叶绿体的基粒片层清晰可见,内质网核糖体存在于细胞,构成完整的细胞结构(图 3)。这也从另一个侧面说明了鼠刺对钼吸收量的稳定性。

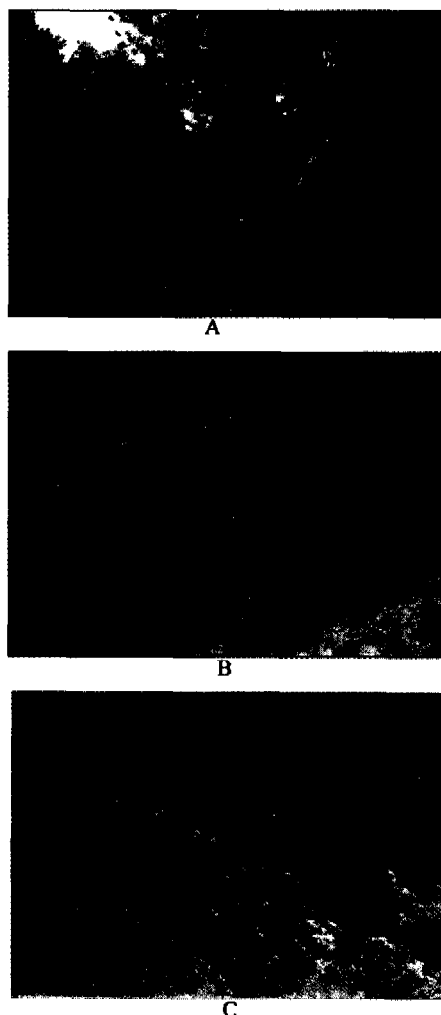


图 1 钼矿区植物的外观变化

Fig. 1. Appearance change of plant in Mo mine area.

(注:A. 中毒马尾松呈褐色斑点,叶枯,分枝死亡;B. 中毒桃金娘,呈褐色斑点;C. 蕨类开花环抱钼矿体)

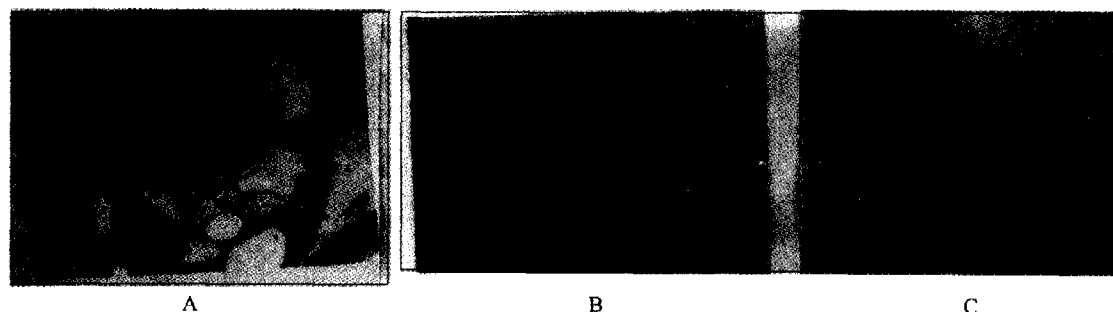


图 2 钼矿区与对照区藤黄檀叶片的细胞结构

Fig. 2. Cell structure of *Dalbergia hancei*'s leaf in Mo mine area and background area.

(注:A. 10号点藤黄檀叶片细胞中细胞核、线粒体、叶绿体结构;B. 2号点藤黄檀叶片核、线粒体的破坏结构;C. 2号点藤黄檀叶片细胞中叶绿体的破坏结构)



图3 钼矿区与对照区鼠刺叶片的细胞结构

Fig. 3. Cell structure of *Itea chinensis*'s leaf in Mo mine area and background area.

(注:A. 2号点鼠刺叶片细胞中细胞核、线粒体、叶绿体结构;B. 10号点鼠刺叶片细胞核、内质网结构鼠刺的细胞结构)

6 结论

通过对钼矿区所采集的土壤、植物叶片和岩石样品的分析得出,矿区岩石和土壤中钼含量的变化和分布规律具有一致性,叶片中的钼含量与土壤中

钼含量具有很强的相关性。矿体上鼠刺对钼的吸收最稳定,对钼的有控吸收力最强。在钼含量不同的区域,其植物群落有很大变化。电镜分析表明钼过量会破坏一些植物的细胞结构。因此利用生物地球化学特征确实可以找出隐伏在植被底下的矿床。

致谢:植物定名、属种鉴别、植物细胞鉴定得到中山大学生物系谢永泉副教授的帮助,在此谨致谢意。

参 考 文 献

- [1] Brooks R R. Geobotany and Biogeochemistry in Mineral Exploration [M]. New York: Harper and Row, 1972: 213—217
- [2] Kovalevskii A L. Biogeochemical exploration for Mineral Deposits [M]. Utrecht: VNU Science Press, 1987: 25—55
- [3] Levinson A A. Introduction to exploration geochemistry [M]. Canada: Applied publishing Ltd. Calgary. Alberta, 1987: 15—20, 198—212
- [4] Busche F D. Using plants as an exploration tool for gold [J]. J. of Geochem Explor. 1989, 32: 199—210
- [5] 张景荣, 杨帆, 蔡彤. 湖南石门地区神一金的植物地球化学异常及找矿意义[J]. 南京大学学报(地球科学), 1992, 4(3): 97—104
- [6] 沈远超, 杨金中, 李慎之. 生物地球化学方法与金矿找矿——以新疆西准噶尔安齐成矿断裂带为例[J]. 地质科技情报, 1999, 18(3): 55—59
- [7] 马跃良. 广东河台金矿生物地球化学特征及遥感找矿意义[J]. 矿物学报, 2000, 20(1): 80—86
- [8] 宋慈安, 雷良奇, 杨启军, 等. 甘肃北山金、铜矿床红沙地植物地球化学特征及其找矿意义[J]. 地质与勘探, 2001, 37(3): 45—49
- [9] 谭秋明, 刘施民, 杨志甫. 鄂南植物地球化学找金实验[J]. 湖北地矿, 1999, 13(2): 24—29
- [10] 徐瑞松, 马跃良, 吕惠萍. Au及伴生元素生物地球化学效应研究——以广东河台金矿为例[J]. 地球化学, 1996, 25(2): 196—203
- [11] 王平, 王波, 刘金成, 等. 植物地球化学测量法在秦巴地区寻找金矿中地应用[J]. 西安地质学院学报, 1995, 17(2): 32—

- [12] 伍静. 植物地球化学应用于找矿地探讨[J]. 矿产与地质, 2003, 17 (1): 59 - 61
- [13] 宋慈安, 雷良奇, 杨启军, 等. 甘肃公婆泉铜矿区植物地球化学特征[J]. 地球化学, 2000, 29 (4): 343 - 350
- [14] 胡西顺. 陕西勉略北部森林区金矿的植物地球化学勘查[J]. 黄金科学技术, 2002, 10 (2): 23 - 28
- [15] 吴继友, 倪键, 冯素萍, 等. 山东省招远金矿区春季赤松林的植物地球化学和反射光谱特征[J]. 环境遥感, 1994, 9 (2): 113 - 121
- [16] 柯文山, 席红安, 杨毅, 等. 大冶铜绿山矿区海州香植物地球化学特征分析[J]. 生态学报, 2001, 21 (6): 907 - 912
- [17] Dunn C E. Pine bark biogeochemical signatures of the Edako molybdenum camp and surrounding areas, central British Columbia: Implications for mineral exploration and environmental baselines[J]. Abstr Prog, 2000, 32(6): 11 - 12
- [18] 李惠廉. 江西省阳储岭富钼景观中钼的生物地球化学特性研究[J]. 保定师专学报, 2000, 13 (4): 1 - 9
- [19] 广东省国土厅. 广东省国土资源地图集[Z]. 1990
- [19] 广东有色地勘公司 933 地质队. 广东省高要县鸡笼山钼矿区地质初步勘探总结报告[R]. 1984
- [20] 鼎湖山树木园. 鼎湖山植物手册[Z].

BIOGEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF MO DEPOSIT IN DINGHUSHAN, GUANGDONG

XU Jin-hong^{1, 2}, XU Rui-song¹, XIA Bin¹

(1. Guangzhou Institute of Geochemistry Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 10039, China)

Abstract

Research on rock, soil and botanic samples from the Dinghushan Mo field and the background area shows that the coefficient correlation of Mo between rock and soil is 0.74; and the coefficient correlation of Mo between *Pinus massoniana*, *Rhodomyetus tomentosa*, *D. linearis*. Var. *dichotoma*, *Dalbergia hancei* and soil are 0.90, 0.87, 0.98, and 0.99, respectively. The Mo contents of *Pinus massoniana*, *Rhodomyetus tomentosa*, *D. linearis*. Var. *dichotoma* and *Dalbergia hancei* leaves in the Mo field are 18, 53, 12, 46 and 35 times as much as those in the background area, respectively. By the electron microscope observation, the aberrance effect of cell structure of *Dalbergia hancei* growing in Mo-rich soil is obvious. The kernel membrane demarcation line disappears, the kernel disintegrates, the chloroplast structure is destroyed yet and there is particulate matter in the cell. Additionally, Mo in leaves can suppress the absorption of magnesium.

Key words: molybdenum (Mo); biogeochemistry; *Pinus massoniana*; *D. linearis*. Var. *dichotoma*; *Dalbergia hancei*