

湖北铜绿山古铜矿矿物共生指示植物的找矿分析研究

龚长根¹, 胡新生¹, 陈 军²

(1. 黄石市博物馆, 湖北 黄石 435003; 2. 黄石市史志办 方志与年鉴科, 湖北 黄石 435003)

摘 要: 中国的矿产资源有许多是多种矿物共生在一起的。而铜绿山古铜矿遗址某些超富集植物形成的纯群落和单优群落, 是铜绿山矿区最为显著的植被特征。这些植物嗜铜的特性, 古代工匠们在长期的实践中是肯定能够认识到的, 并根据其特性找到矿源进而获得铜矿。

关键词: 铜绿山古铜矿; 共生矿物; 指示矿物

中图分类号: P571

文献标识码: A

文章编号: 1671-1211(2008)01-0009-07

0 引言

人们刚开始利用铜金属是新石器时代, 也就是原始社会时期。随着社会的进步与发展, 人们对物质的消费也日益增长, 仅仅依靠自然界恩赐的自然铜根本无法满足需求, 这就需要寻找大量的新的资源。从人类第一次使用自然铜到主动的开矿炼铜, 其间经历了数千年的探索。从目前已掌握的资料获知, 最早由矿物冶炼出的铜金属出现在距今 6 000 ~ 7 000 年前, 也就是说这一时期人们开始知道利用矿物转化为铜金属。根据世界各地出土的许多青铜器分析, 大约公元前 2 000 ~ 3 000 年的时候, 人们对于铜矿资源的了解已经积累了相当丰富的经验, 并且在矿藏资源的开发与利用上已经掌握了一套比较成熟的技术, 这也标志着文明时代的诞生与到来。铜绿山古铜矿传承了前人通过数千年探索的经验与积累, 集中地再现了中国青铜时代矿业技术成就。

如何找到矿源, 这是保证大规模开采的前提条件, 地质勘探及考古资料证明, 古代工匠找矿是从地表开始的。据大清同治六年《大冶县志》记载: “铜绿山在县西马叫堡, 距城五里, 山顶高平, 巨石对峙, 每骤雨过, 时有铜绿如雪花小豆点缀土石之上, 故名。” “绵延数嶂, 土色紫赤, 或云古出铜之所。” 而铜绿山铜矿属岩浆期后矽卡岩型接触交代含铜磁铁矿, 产于中生代后期花岗闪长斑岩和三叠系大冶灰岩接触带内。经现代地质勘探及采矿生产揭露证实, 本区矿体多, 储量大, 品位高, 而且大部分矿体出露或接近地表, 所以经过长期强烈的风化侵蚀, 次生富集环境优越, 铜在转移和沉

淀过程中, 大量的自然铜、赤铜矿、孔雀石和蓝铜矿等矿物, 在矿体围岩破碎带内形成氧化富集带(图1), 其含铜平均品位在 6% 以上, 孔雀石矿最厚可达 10 m, 氧化带深度一般距地表 100 ~ 170 m。地质资料也证实, 铜绿山确有许多矿体出露地表或接近地表, 也就是说古代工匠们首先就是根据露头矿体找到矿源的。经过长期的探索与经验积累他们开始认识到各种矿物的共生、某些植物与矿物的特殊关系, 并依此作为寻找新矿源的一种办法。

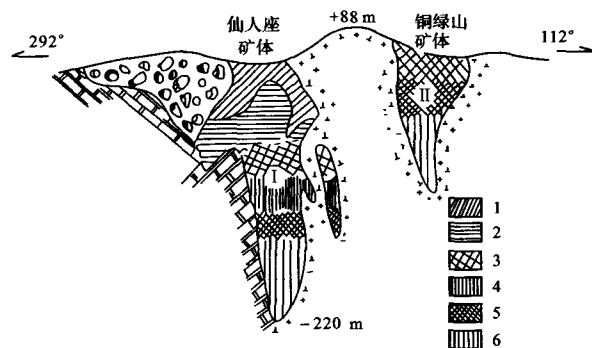


图1 含铜磁铁矿的氧化和次生富集垂直分带

Fig. 1 Oxidation of cupreous magnetite and vertical zonation of secondary enrichment

1. 铁帽; 2. 氧化带; 3. 氧化富集带; 4. 次生硫化富集带; 5. 原生富集带; 6. 原生带。

1 矿物共生与找矿

中国的矿产资源有许多是多种金属矿物共生在一起的。这些特征早在先秦时期就已经有了比较深刻的认识, 并上升到一定的理论高度, 总结出一些找矿规律。

收稿日期: 2007-04-09; 改回日期: 2007-07-30

作者简介: 龚长根 (1954-), 副研究员, 考古专业, 从事考古工作。E-mail: hfbwgcj@tom.com

先秦时期著作《管子·地数》云：“出铜之山，四百六十七山；出铁之山，三千六百九山。”“黄帝问于伯高曰，……伯高对曰：上有丹砂者下有黄金，上有慈石者下有铜金，上有陵石者下有铅、锡、赤铜，上有赭者下有铁；此山之见荣者也。”又“桓公问于管子曰：‘请问天财所出，地利所在？’管子对曰：‘山上有赭者其下有铁，上有铅者其下有银。一曰：上有铅者，其下有铎银，上有丹沙者其下有铎金，上有慈石者其下有铜金。此山之见荣者也。’”山上有磁石，其下有铜、金。磁石，极磁铁矿（Lodestone），按现代矿物学认为极磁铁矿是磁铁矿（magnetite）的一个亚种，含铁约 72.4%，而中国古代认为磁铁矿（玄石）是极磁铁矿（磁石）的一个亚种。《史记·货殖列传》载：“铜、铁则千里往往山出棋置”。对此，唐张守节《史记正义》解释曰：“言出铜铁之山方千里，如围棋之置也。”这些对矿物共生的关系的文字虽略互有出入，但有一点是可以肯定的，这就是古代工匠们已经了解了一些矿物相互共生的关系。

对于《管子·地数》中所说矿物的上下关系，当代一些中国古代矿业开发史研究学者认为包含了三种意思：第一，一个垂直的矿体或一条矿脉，山上露头中出现某种矿物，可能对下面赋存的另一种主要矿产起到指示作用，这种指示矿物在古代称之为“苗”或“引”。又某些多金属矿体（脉）的上部和下部富集的矿种有所不同，这种垂直分带现象，在古代也是有所认识的。第二，山上出现的某种矿物和山下出现的另一种矿物，分别产于不同的地层和岩石中。既不同属于一个矿体，成因上又没有明显的联系，属于这种情况的上下关系，仅仅是一种空间位置的相对关系。第三，山上赋存有某种原生矿床，而山下出现另一种砂矿，这也是一种上下关系。这种关系也不一定和矿床成因有联系。

中国古代名著《山海经》对矿物的共生也有一些记载。其《西山经》云：“符禺之山，其阳多铜，其阴多铁”；其《中山经》也载：“求山……其阳多金，其阴多铁”。这里所说的“阳”和“阴”一般是指山的向阳的一面，即南面；和背阴的一面，即北面。一座山的南面和北面可能出现不同的矿产，这些矿产可能是赋存于一个矿体（层、脉）之中而有成因上的联系，也可能不属于一个矿体（层、脉），而仅仅是一种空间位置上的相对关系，没有成因上的联系。此外，“阳”也可能是指高峰，“阴”也可能是指深谷。

《山海经》所记载的内容十分古老，其中一些神话传说甚至可追溯到史前时代，但它的成书年代应该远晚于其所记述的内容。近代以来的研究者一般认为它

成书于战国—西汉初年这一时期。这一时期逾 300 年之久，作者自非一人。从经文不同的文风和所记山川位置的确切程度来看，作者当为古代巴、楚之地人。

《管子》、《山海经》的成书年代，相当于铜绿山古铜矿中晚期或稍后。其《管子·地数》中记载的“上有磁石者，其下有铜、金”的描述就与铜绿山地区的地质情况一致。铜绿山矿床的特征之一是具有明显的垂直矿化分带性，有铁在上部的趋势，即由铁铜矿床渐变为铜铁矿床，以铜作为主要有用金属组分。原生矿石矿物以磁铁矿、黄铜矿、斑铜矿为主，磁铁矿占 70% ~ 80%，铜矿物占 5% ~ 8%，氧化带中磁铁矿占 40% ~ 50%，孔雀石、自然铜等占 6% ~ 10%。铜绿山古铜矿是中国目前已知的跨越青铜时代与铁器时代连续采冶的古铜矿，作为先秦时期一处如此重要的矿山，当时的人们和社会是不会、也不可能无视它的存在的，更不会无视它所创造的技术、经验及成就。《管子》、《山海经》所记述的矿物共生理论距今已经有 2 000 多年了，这在中国冶金史、乃至世界冶金史上具有非常重要的意义，这其中当然也包含了铜绿山古铜矿所创造的技术与经验。

2 指示植物找矿

有些植物的生长对某些金属元素具有一定的特殊依赖性，这种依存关系是可用来找矿的。关于某些植物与某些矿物的特殊关系，许多史籍都有不少记载。《山海经·西山经》载：“又西七十里，曰英山。其上多柎、榘，其阴多铁，其阳多赤金”。柎、榘，古代两种可作车材的树，质地坚硬。“又西五十二里，曰竹山。其上多乔木，其阴多铁。”“又西七十里，曰谿次之山。……其上多榘、榘，其下多竹箭，其阴多赤铜，其阳多婴垣之玉”。《地镜图》是中国南北朝时期的梁代著作（公元 502 ~ 556 年），其对某些金属矿床的指示植物和某些金属元素对植物的影响亦有比较详尽的记载，如：“草茎赤秀，下有铅”；“草茎黄锈，下有铜器”；“山有葱，下有银，光隐隐正白”等等。唐代《酉阳杂俎》前集卷十六中也有类似的记载：“山上有葱，下有银；山上有薤，下有金；山上有姜，下有铜锡”等等。《庚辛玉册》（公元 1421 年）也云：“透山根，似蔓菁而紫，含金气；石杨柳含银气；马齿苋含汞气，艾、蒿、粟、麦含锡之气，酸芽、三叶酸含铜气”（《庚辛玉册》·公元 1421 年），其中的“酸芽、三叶酸”就是铜矿指示物酸模。

20 世纪 50 年代，中国学者开始了指示植物在找矿中的研究，自 1953 年起先后报道了 10 余种金属矿

指示植物(表 1),化学分析表明,这些植物生长的地方都有很高的重金属含量,同时它们体内也富集了很高浓度的重金属。代表性的植物如鸭跖草、海州香薷(俗名铜草花)、蝇子草、头花蓼等,这些植物在长江中下游铜异常区的土壤中普遍存在,而且呈优势种群,因此它往往局限于铜矿露头区、开采区和铜冶炼渣等铜含量很高的地域($\text{Cu } 2\,000 \sim 7\,000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),形成纯群落或单优群落,其体内富集的铜可高达 $1\,000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上,可称为铜的超富集植物,在长江流域的江苏、安徽和湖北等省分的铜矿区都有该植物形成优势植被的报道,有海外学者称之为在赞比亚之外唯一发现的铜超富集植物。因此,这几种植物被视为铜矿、铜铁矿或铜、钼等矿物指示植物^[1]。

表 1 中国发现的金属矿指示植物^[2]

Table 1 Indicative plants of metal mine

植物名称	指示矿种
海州香薷(<i>Elsholtzia haichowensis</i>)	Cu(铜)
宽叶香薷(<i>E. ceistata</i>)	Cu(铜)
铜钱白株树(<i>Gaultheria nummularioides</i>)	Cu(铜)
头花蓼(<i>Polygonum capitatum</i>)	Cu(铜)
细柄蓼(<i>P. leptopodium</i>)	Cu(铜)
酸模(<i>Rumex acetosa</i>)	Cu(铜)
红草(<i>Sedum rosei</i>)	Cu(铜)
坚龙胆(<i>Gentiana rigescens</i>)	Cu(铜)
女娄菜(<i>Melandryum apricum</i>)	Cu(铜)
石竹(<i>Dianthus chinensis</i>)	Cu(铜)
细梗石头花(<i>Gypsophila pacifica</i>)	Cu(铜)
狭叶南烛(<i>Lyonia ovalifolia</i> var. <i>lanceolata</i>)	Cu(铜)
鸭跖草(<i>Commelina communis</i>)	Cu(铜)
瞿麦(<i>Dianthus superbus</i>)	Cu(铜)
毛轴蚤缀(<i>Arenaria juncea</i>)	Pb, Zn(铅、锌)
箭叶堇菜(<i>Viola</i> sp.)	U(铀)

关于指示植物找矿,上世纪 80 年代初夏湘蓉等著的《中国古代矿业开发史》也作了一些记述,其中对海州香薷、酸模、红草三种铜矿指示植物作了比较详细的介绍:

海州香薷(*Elsholtzia haichowensis*) 是中国地质工作者发现较早的一种铜矿指示植物。这种植物主要分布于长江中下游和浙西一带,花形似牙刷状,紫色,开花季节整个矿区漫山遍野极易认识。这是一种“喜铜”植物,特别在铜矿附近的古代炼渣及矿体露头上部长势茂盛。这种植物在鄂东南地区的铜矿区随处可见,非常奇特的是“海州香薷的含铜量,在根部的灰分中可高达 3%,茎叶含铜量较少,花中最少”。

酸模(*Rumex acetosa* L.) 是一种蓼科植物,野生多年生草本,茎高 30~80 cm,下部常呈红紫色。叶呈长卵或椭圆形,基部时呈紫红色或具紫色斑点。其叶

有酸味。在湖南红色盆地的红色岩系中,酸模的分布与砂岩铜矿有关,矿层氧化部分的铜品位越高,酸模生长越茂盛。酸模灰分的含铜量,在已分析的四个样品中,最高含铜量达 0.28%,平均含铜量为 0.176%,较一般植物的含铜量高出 36 倍。

红草(*Sedumvosei* Hamet) 属景天科植物,多年生草本,高约 10 cm。红草一般生长在川西海拔 2 400~3 000 m 间的陡崖或山坡砂地向阳地区,常与坚龙胆和狭叶南烛同生,并同为川西铜矿的指示植物,而以红草为主。如发现红草,距此三五十米内可推断有铜矿或黄铜矿矿化岩石。红草灰分中铜、锌含量都很高,部分样品化学分析表明,红草全灰分中铜含量最高达 1.9%,锌含量 0.55%。

1999 年黄石博物馆和中山大学生命科学院对铜绿古铜矿遗址植被进行了生态调查,记录了所有自然定居于铜绿山的高等植物。植物的优势度按目测估计,分为五级:极少、稀少、不常见、丰富、极丰富。在植被区随机设置了 17 个 1 m×1 m 的样方,记录样方内植物种类、株数、总投影盖度和各植物的分盖度,采集样方内的优势植物以及土壤,每个样品 3 个重复(见表 2)。

铜绿山古铜矿遗址土壤中重金属含量 采自铜绿山遗址样方共 51 个样品分析得出的土壤中重金属含量最突出的特征是,土壤中铁和铜含量都非常高,铜(Cu)的含量介于 582~15 375 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,平均为 7 789 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;铁(Fe)的含量介于 10 150~301 509 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,平均为 142 328 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;锰(Mn)的含量也较高,平均为 2 098 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。其它锌(Zn)、镉(cd)等的含量都很低。

植物的群落特征与土壤中铜金属的含量密切相关(见表 3) 17 个群落主要是海州香薷、蝇子草、滨蒿、头花蓼、鸭跖草、狗尾草、白茅等单优群落,或者是这些植物组成的集合(多优小群落)。17 个群落中,海州香薷为优势种的有 10 个,蝇子草 3 个、鸭跖草 2 个,其余的两个分别是白茅和狗尾草群落。总体看来,以鸭跖草为优势种的两个群落的土壤中铜的含量最高,铜(Cu)/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)分别为 14 300 和 13 783;海州香薷和蝇子草群落土壤中的则为 1 432~13 288 之间;白茅群落土壤中则只有 1 983。

总的来说,因自然选择的作用,已经形成了以草本植物为主体的良好植被,总投影盖度在 80% 左右,这次调查共记录了 28 种高等植物,分属 25 属 15 科,其中乔本科 5 种,菊科 4 种,豆科 4 种。从生态型来看,主要以一年生(19 种)和多年生(8)种的草本植物为主,

表 2 铜绿山古铜矿遗址的植物种类组成

Table 2 Plant species composition of Tonglushan ancient copper mine vestige

种名	学名	科名	生态型	多度	指示植物
海州香薷	<i>Elsholtzia haichowensis</i>	唇形科	T	*****	
葛	<i>Pueraria lobata</i>	豆科	Cr	*	
苜蓿	<i>Medicago</i> sp. ?	豆科	Cr	*	
野大豆	<i>Glycine soja</i>	豆科	T	*	
狗尾草	<i>Setaria viridis</i>	禾本科	T	**	
白茅	<i>Imperata cylindrica</i> var. <i>major</i>	禾本科	Cr	***	
芒	<i>Miscanthus sinensis</i>	禾本科	Cr	**	
狗牙根	<i>Cynodon dactylon</i>	禾本科	Cr	*	
稗草	<i>Echinochloa crusgalli</i>	禾本科	T	**	
小飞蓬	<i>Conyza canadensis</i>	菊科	T	**	
滨蒿	<i>Artemisia annua</i>	菊科	T	***	
三叶刺针草	<i>Bidens pilosa</i>	菊科	T	*	
野菊花	<i>Chrysanthemum indicum</i>	菊科	T	*	
头花蓼	<i>Polygonum capitatum</i>	蓼科	Cr	***	
扁蓄	<i>Polygonum aviculare</i>	蓼科	T	*	
水蓼	<i>Polygonum hydropiper</i>	蓼科	T	*	
酸模叶蓼	<i>Polygonum</i> sp.	蓼科	T	*	
马齿苋	<i>Portulaca oleracea</i>	马齿苋科	T	*	
女贞	<i>Ligustrum lucidum</i>	水犀科	Ph	*	
水虱草	<i>Fimbristylis miliacea</i>	莎草科	T	**	
蝇子草	<i>Silene jensisensis</i>	石竹科	Cr	*****	
泡桐	<i>Paulownia fortunei</i>	玄参科	Ph	*	
鸭跖草	<i>Commelina communis</i>	鸭跖草科	T	*****	
苦楝	<i>Melia azedarach</i>	楝科	Ph	*	
小叶三点金草	<i>Desmodium microphyllum</i>		T	**	
海金沙	<i>Lygodium japonicum</i>	海金沙科	T	*	
蕨	<i>Pteridium aquilinum</i>	蕨科	Cr	*	
龙葵	<i>Solanum nigrum</i>	茄科	T	*	
叶下珠	<i>Phyllanthus urinaria</i>	大戟科	T	*	
野胡萝卜	<i>Daucus carota</i>	伞形科	T	**	

T. 一年生草本; Cr. 多年生草本; Ph. 木本植物; *, 极少; **, 稀少; ***, 不常见. ****, 丰富; ***** 极丰富。

乔木只有一种, 即木犀科的女贞。铜绿山地区优势植物种类包括: 海州香薷、蝇子草、头花蓼、鸭跖草、白茅、狗尾草和滨蒿。

对这七种优势植物的分析证明, 这些植物体内都不程度地富集了一些重金属(表 4)。总体而言, 植物体内的铁含量最高, 铜、锰、锌的含量也较高, 其它金属含量较低, 这基本反映了土壤中的金属含量与一般研

究结果是一致的。研究表明, 不同植物对金属的吸收有着较大差异, 就铜金属而言, 鸭跖草体内的含量最高, 蝇子草和头花蓼的含量居中, 而滨蒿和狗尾草体内的含量却很低。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, 而叶子中的重金属含量一般要高于茎, 这可能是植物对重金属耐性的一种对策, 因为可以通过落叶而将金属排出体外。

表 3 群落特征与群落相关土壤中的 Cu 含量 ($u[\bar{x} \pm s]/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$, $N=3$)^[3]Table 3 Community characteristics and copper content ($u[\bar{x} \pm s]/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$, $N=3$) in soils related to community

	群落	株高 (h/cm)	盖度 (C/%)	种类组成	分盖度 ($C_s/\%$)	$w/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$	
						Total	Extractable
A	<i>E. haichowensis</i>	30 ~ 40	100	<i>E. haichowensis</i>	70	8 723 ± 691	637 ± 21. 1
	+ <i>S. fortunei</i>			<i>S. fortunei</i>	30		
B	<i>E. haichowensis</i>	60 ~ 70	100	<i>E. haichowensis</i>	85	7 947 ± 404	684 ± 15. 5
	+ <i>P. capitatum</i>			<i>P. capitatum</i>	15		
C	<i>E. haichowensis</i>	45 ~ 55	100	<i>E. haichowensis</i>	85	7 445 ± 471	608 ± 15. 7
				<i>S. fortunei</i>	10		
				<i>A. annua</i>	3		
				<i>P. capitatum</i>	2		
D	<i>S. fortunei</i>	40 ~ 60	70	<i>S. fortunei</i>	40	1 432 ± 159	323 ± 17. 6
	+ <i>E. haichowensis</i>			<i>E. haichowensis</i>	30		
E	<i>E. haichowensis</i>	30 ~ 40	30	<i>E. haichowensis</i>	20	4 275 ± 407	664 ± 12. 1
	+ <i>A. annua</i>			<i>A. annua</i>	10		
F	<i>E. haichowensis</i>	40 ~ 50	90	<i>E. haichowensis</i>	50	5 478 ± 784	494 ± 38. 1
	+ <i>S. fortunei</i>			<i>S. fortunei</i>	40		
G	<i>E. haichowensis</i>	40 ~ 50	100	<i>E. haichowensis</i>	70	6 303 ± 635	368 ± 30. 2
	+ <i>S. fortunei</i>			<i>S. fortunei</i>	20		
				<i>A. annua</i>	10		
H	<i>E. haichowensis</i>	30 ~ 50	100	<i>E. haichowensis</i>	50	12 005 ± 535	650 ± 23. 8
	+ <i>S. fortunei</i>			<i>S. fortunei</i>	45		
				<i>A. annua</i>	5		
I	<i>E. haichowensis</i>		100	<i>E. haichowensis</i>	90	7 659 ± 501	472 ± 43. 4
	+ <i>A. annua</i>	50 ~ 60		<i>A. annua</i>	10		
J	<i>E. haichowensis</i>	50 ~ 70	100	<i>E. haichowensis</i>	50	13 288 ± 1 195	679 ± 11. 1
	+ <i>A. annua</i>			<i>A. annua</i>	30		
	+ <i>S. fortunei</i>			<i>S. fortunei</i>	20		
K	<i>E. haichowensis</i>	50 ~ 60	100	<i>E. haichowensis</i>	100	1 684 ± 274	90 ± 16. 6
L	<i>C. communis</i>	30 ~ 40	100	<i>C. communis</i>	80	14 300 ± 152	652 ± 11. 2
	+ <i>S. fortunei</i>			<i>S. fortunei</i>	19		
				<i>E. haichowensis</i>	1		
M	<i>C. communis</i>	20 ~ 25	30	<i>C. communis</i>	30	13 783 ± 607	685 ± 10. 9
N	<i>S. fortunei</i>	50 ~ 60	40	<i>S. fortunei</i>	30	10 798 ± 1 432	647 ± 6. 7
	+ <i>C. communis</i>			<i>C. communis</i>	7		
	+ <i>E. haichowensis</i>			<i>E. haichowensis</i>	3		
O	<i>S. fortunei</i>	40 ~ 60	35	<i>S. fortunei</i>	35	8 004 ± 655	476 ± 61
P	<i>I. cylindracea</i>	55 ~ 65	100	<i>I. cylindracea</i>	100	1 983 ± 336	175 ± 10. 9
Q	<i>S. viridis</i>	15 ~ 20	60	<i>S. viridis</i>	60	7 318 ± 566	432 ± 48. 0

表 4 铜绿山冶炼渣堆 7 种优势植物 (DW) 的重金属含量 ($w[\bar{x} \pm s]/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$)
Table 4 Heavy metal content ($w[\bar{x} \pm s]/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$) of 7 dominant plants in Tonglushan smelting escorial

种类	N	部位	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
白茅	3	Shoot	0.00	0.41	53.7	797	47.4	0.64	4.14	33.0
<i>I. cylindrica</i>			± 0.00	± 0.25	± 9.3	± 212	± 4.7	± 0.05	± 3.24	± 9.2
		Root	0.00	0.54	45.2	745	28.9	0.27	0.58	39.6
			± 0.00	± 0.27	± 10.6	± 128	± 7.3	± 0.15	± 0.58	± 32.1
头花蓼	3	Shoot	0.00	1.08	222.5	1 925	212.7	4.13	0.09	69.6
<i>P. capitatum</i>			± 0.00	± 0.35	± 38.6	± 401	± 79.7	± 0.89	± 0.09	± 4.9
		Root	0.00	2.09	403.4	1 423	384.0	16.45	2.92	115.3
			± 0.00	± 0.13	± 31.6	± 125	± 54.3	± 1.33	± 0.07	± 13.5
滨蒿	3	Shoot	0.07	2.21	86.5	1 205	55.2	1.12	0.00	57.8
<i>A. annua</i>			± 0.06	± 0.30	± 9.3	± 539	± 11.5	± 0.55	± 0.00	± 8.2
		Root	0.02	1.03	191.7	1 953	92.4	0.73	2.77	56.1
			± 0.02	± 0.28	± 7.6	± 667	± 12.4	± 0.02	± 2.26	± 23.0
狗尾草	3	Shoot	0.00	39.30	132.7	2 526	150.9	76.79	27.35	120.7
<i>S. uiridis</i>			± 0.41	± 0.00	± 31.2	± 18	± 17.7	± 13.38	± 61.71	± 1.2
		Root	0.00	1.58	330.9	3 322	115.2	1.77	17.92	103.4
			± 0.00	± 0.23	± 125.6	$\pm 1 154$	± 38.1	± 0.71	± 4.94	± 45.1
鸭跖草	9	Shoot	0.00	6.41	1 034.2	3 977	627.2	13.38	14.05	165.1
<i>C. communis</i>			± 0.00	± 0.76	± 101.6	± 709	± 56.3	± 1.56	± 1.55	± 9.8
		Root	0.00	10.14	1 224.0	15 512	585.5	22.17	4.22	152.0
			± 0.00	± 7.47	± 125.9	$\pm 5 414$	± 136.2	± 15.54	± 0.97	± 10.4
蝇子草	25	Leaf	0.00	1.35	307.138 37	226.9	1.51	18.32	106.0	
<i>S. fortunei</i>			± 0.00	± 0.23	± 36.8	± 457	± 20.3	± 0.36	± 2.12	± 7.9
		Stem	0.00	0.94	156.8	1 212	53.0	0.73	7.54	46.6
			± 0.00	± 0.26	± 23.8	± 121	± 5.0	± 0.16	± 1.07	± 4.9
		Root	0.00	0.88	418.5	2 716	73.2	1.12	2.31	47.7
			± 0.00	± 0.19	± 61.7	± 438	± 6.6	± 0.21	± 0.60	± 4.8
海州香薷	33	Leaf	0.04	1.31	116.3	2 290	112.3	1.15	8.35	75.1
<i>E. haichowensis</i>			± 0.04	± 0.15	± 9.8	± 461	± 9.7	± 0.34	± 1.47	± 1.9
		Stem	0.00	0.80	40.5	424	88.178 4	20.63	84.2	
			± 0.00	± 0.14	± 3.4	± 23	± 20.7	± 6.77	± 13.73	± 4.6
		Root	0.21	4.12	385.9	4 495	155.1	1.29	7.15	81.0
			± 0.11	± 0.98	± 38.1	± 862	± 32.3	± 0.22	± 1.27	± 5.9

特别要指出的是,铜在鸭跖草地上部分(DW)中的质量分数达 $1\,034.2\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。根据 Brooks (Brooks, RR. Plants tha Hyperaccumulate Heavy Metals. Wallingford; CAB Intem-ationsl, 1998) 对超富集植物的定义,植物的地上部分(DW)能富集 $100\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的镉(Cd), $1\,000\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的铅(Pb)、铜(Cu)、镍(Ni)和 $10\,000\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的锌(Zn),则称之为超富集植物。因此,铜绿山地区的鸭跖草属于铜超富集植物。

“Cu(铜)超富集植物只有 24 种,且主要分布在扎伊尔,……由此铜绿山的超富集植物鸭跖草就显得弥足珍贵。”

海州香薷,别称铜草花,过去曾经认为是铜超富集植物。“Brooks 曾引述国内一位学者的通讯材料,认为铜绿山的海州香薷体内(DW)的 Cu 的质量分数达 $1\,000\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上,是扎伊尔以外发现的唯一一种 Cu 超富集植物。但对采自铜绿山的 33 个海州香薷样

品分析表明,其根、茎叶(DW)中的Cu的质量分数分别只有385.9、40.5和116.3 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,远低于1 000 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,即便是考虑此植物的成熟期(10~11月)体内的Cu含量可能会有所增加,但达到1 000 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的可能性还是很小,因此,这种植物不大可能是Cu超富集植物。”

除白茅和滨蒿外,其它五种优势植物地上部分(DW)的铜的质量分数都在100 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上,考虑到植物体内正常的铜含量一般在25 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以内,超过这个值就会对植物产生毒害,因此再次证实这几种优势植物具有较高的铜金属耐性,应该属铜金属耐性植物。

铜是植物生长所必需的微量元素,但过量的铜却有着很高的植物毒性,正常土壤中的总铜含量一般为

30 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (2~250 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),而有效态铜(DTPA)则为0.1~10 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,野外实地研究证实,土壤中的总铜含量达到150~400 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,或者是有效态铜(DTPA)超过15 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,就会对植物产生毒害。而铜绿山地区的这些铜的超富集植物形成的纯群落和单优群落,是铜绿山矿区最为显著的植被特征。这些植物嗜铜的特性,古代工匠们在长期的实践中是肯定能够认识到的,并根据其特性找到矿源进而获得铜矿。

参考文献:

- [1] 陶正章,等.南京附近地区综合地球化学找矿经验[J].南京大学学报,1959(7).
- [2] 谢学锦,徐邦梁.铜矿指示植物海州香薷[J].地质学报,1952(4):36.
- [3] 束文圣,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].应用与环境生物学报,2001,7(1):10-12.

Study on Prospecting Analysis of Instructive Plants Coexisted With Ancient Copper Mine in Tonglushan of Hubei Province

GONG Changgen¹, HU Xinsheng¹, CHEN Jun²

(1. Huangshi Museum, Huangshi, Hubei 435003; 2. Department of Local Records and Almanac, Huangshi Office of History and Annals, Huangshi, Hubei 435003)

Abstract: As mineral resources in China, many minerals coexist together. The description of “loadstone existed in top corresponds to copper and gold in lower part”, is in accord with the geological situation of Tonglushan area. Confirmed by scientific archeological data, artisans had known the symbiotic relationship between minerals in those times. The growth of some vegetations rely on certain metallic elements, the ancients would realize that the dependence relationship could be used for mineral’s prospecting.

Key words: Tonglushan ancient copper mine; paragenetic mineral; instructive minerals

(上接8页)

Discussion on Resources Potential in Concentration area of Zr-Ti Placer in East Coast of Wanning, Hainan Province

FU Qiji, CEN Liao

(Institute of Resource and Environmental Survey, Bureau of Geological Exploration of Hainan Province, Haikou, Hainan 570260)

Abstract: Zr-Ti placer of East Coast of Wanning in Hainan Province, is an important part of Zr-Ti placer in Hainan Island. The paper presents the metallogenic geological background and environment of its concentration area, and points out that the ore genesis are residual slope and coastal placer deposits. The concentration area of Zr-Ti placer in this region has a preferable prospect and great potential for exploration.

Key words: Concentration area of Zr-Ti placer; resource potential; deposit genesis; East Coast; Hainan Island