

# 南京栖霞山地区树木年轮元素的相关性及其组合类型\*

董雅文 钱君龙 黄景苏 (中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

唐万龙 (中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

**【摘要】** 对南京栖霞山矿区黑松与马尾松 303 个年轮样品中 8 个元素含量进行统计相关及群分析, 发现 K、Ca、Mg、P 在年轮中的富集及其相关性不受开采活动的影响, Cu、Pb、Zn、Mn 的相关关系与露天或浅部坑采引起的地表塌陷有一定联系, K 与 P、Mg 与 Zn 及 Ca 与 Mn 是表征采矿地段的元素组合类型, K 与 P、Mg 与 Mn 则为矿区外围地段元素的组合类型

**关键词** 多金属矿 年轮元素含量 栖霞山

**Correlation among elements in tree rings on Xixia Mountain of Nanjing and their combination types** Dong Yawen, Qian Junlong, Huang Jingsu (*Nanjing Institute of Geography and Limnology, Academia Sinica, Nanjing 210008*), Tang Wanlong (*Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing 210008*). *Chin. J. Appl. Ecol.*, 1995, 6(2): 133-137. Correlative statistics and group analysis of 8 elements contents of 303 tree ring samples of *Pinus thunbergii* and *Pinus massoniana* at mining area of Xixia Mountain show that the enrichments of K, Ca, Mg and P in tree rings and their correlations are not influenced by mining activities, while the correlations among Cu, Pb, Zn and Mn are related to the land surface subsidence in a certain extent, due to open mining or shallow pit mining. The mining sector is characterized by the combination types of K-P, Mg-Zn and Ca-Mn, and its surrounding area is characterized by those of K-P and Mg-Mn.

**Key words** Polymetal mine, Element content of tree ring, Xixia Mountain.

## 1 引言

通过对南京栖霞山多金属矿区及其外围地段代表性树种年轮元素含量的统计与群分析, 揭示元素的相互依存性、组合关系及其区域的差异性, 对于认识与评论矿产资源开发的合理性、开发规划的可行性、环境整治和土地复垦的必要性, 具有重要的指导作用与实用价值。此外, 本项工作从年轮元素含量的区域水平上, 用元素的组合类型来表征其在区域内部的相似性和局地差异性, 对于控制开矿活动产生的不利影响及维护区域生态平衡均有一定意义。

## 2 研究方法

以南京栖霞山的多金属矿区及其周围地带为对象, 由 Pb、Zn、Mn 等组成的矿带自东北向西南绵延 12.4 km。所选取的 4 棵黑松 (*Pinus thunbergii*) 与 4 棵马尾松 (*Pinus massoniana*) 基本上覆盖了已被开采或正在开采的矿体上部地区, 即包括三茅宫、白泥山、虎爪山 3 处开采地段和毗邻的外围地段: 黑石档、天鹅档、景致岗以及基岩岩性相近, 距栖霞山约 20 km 的中山陵的缓坡地。所研究地区的经济活动以矿产资源开发为主体, 把

\* 国家自然科学基金资助项目。

1993 年 9 月 3 日收到, 1994 年 3 月 14 日改回。

8 棵树木圆盘样品按采矿及其外围分成两类地段, 采矿地段受开采活动影响较大 对所选取的 K、Ca、M g、P 常量元素及 Cu、Pb、Zn、M n 微量元素, 分别按每棵树的年轮进行统计相关分析, 然后按采矿与非采矿(外围)地段给出诸元素的相关性程度 采用聚类分析中的群分析法[W PCA 法(R)型]<sup>[1]</sup>, 在 BM PC/386 上计算全区采矿地段、非采矿的外围地段树木年轮元素的内在联系及其组合类型与特征 元素分析测定方法见文献<sup>[5]</sup>.

3 结果与讨论

3 1 年轮元素的含量序列

露采或浅部坑采地段曾经历过 1942 - 1945 年, 1949 - 1956 年以及 1956 - 1961 年 3 个时段的露天开采氧化锰矿及 1961 - 1977 年的浅部(近地表)坑采 自 1971 年至今为地下开采铅锌银矿. 8 个年轮元素与相应根部土壤元素含量序列呈大体相近的趋势, 如表 1 所示, Ca、K、M g、M n、P 等处于序列的较高位置, 而 Zn、Pb、Cu 等则处于较低位置 8 棵树年轮元素含量序列的主要差异为: 1) K、Ca、M g、M n 与 P 相邻位置有前后移动; 2) Zn、Pb、Cu 相邻位置亦有移前或移后之分; 3) 个别树木年轮元素 Pb 的位置上升到较高的位置, 即前移至第 2 位, 一定程度地反映了铅锌银矿开采的影响

对 8 棵树诸元素含量平均值的统计, 可以得出代表全区的土壤与树木年轮的含量序列 将其与夏增禄等<sup>[2]</sup>和高煜珠等<sup>[3]</sup>所提供的中国暗棕壤、黄褐土元素含量序列中有关元素的位置加以比较(表 1), 可知本区土壤元素的含量序列与典型黄棕壤与黄褐土最大的不同是 Pb 元素的明显富集以及 Pb 在序列中的位置由倒第 1、2 位移至前第 4 位 Pb 是难迁移元素, 尽管在土壤元素序列中位置移前很多, 但在年轮

表 1 树根部土壤与年轮元素含量序列  
Table 1 Sequences of element contents in ring and soil near tree roots

样 品 Samples		元素含量序列 Sequence of element content
1 号黑松 <i>Pinus thunbergii</i> No. 1	土壤 Soil	Ca> Pb> K> M g> P> Zn> M n> Cu
	年轮 Tree ring	Ca> K> M g> P> Zn> Pb> M n> Cu
2 号黑松 No. 2	土壤 Soil	Ca> K> M g> M n> P> Zn> Pb> Cu
	年轮 Tree ring	Ca> K> M g> P> M n> Zn> Cu> Pb
3 号黑松 No. 3	土壤 Soil	K> Ca> M g> M n> P> Pb> Zn> Cu
	年轮 Tree ring	Ca> K> M g> P> M n> Zn> Cu> Pb
4 号马尾松 <i>Pinus massoniana</i> No. 4	土壤 Soil	K> Ca> M g> M n> P> Pb> Zn> Cu
	年轮 Tree ring	Ca> K> M g> P> M n> Zn> Pb> Cu
5 号黑松 No. 5	土壤 Soil	Ca> K> M g> P> M n> Pb> Zn> Cu
	年轮 Tree ring	Ca> K> M g> P> M n> Zn> Cu> Pb
6 号马尾松 No. 6	土壤 Soil	K> Ca> M g> P> M n> Zn> Pb> Cu
	年轮 Tree ring	Ca> K> M g> P> M n> Zn> Cu> Pb
7 号马尾松 No. 7	土壤 Soil	K> Ca> M g> P> M n> Pb> Zn> Cu
	年轮 Tree ring	Ca> K> M g> P> M n> Zn> Pb> Cu
8 号马尾松 No. 8	土壤 Soil	K> M g> Ca> M n> P> Zn> Pb> Cu
	年轮 Tree ring	Ca> K> M g> P> M n> Zn> Cu> Pb
全 区 Whole area	土壤 Soil	K> Ca> M g> Pb> M n> P> Zn> Cu
	年轮 Tree ring	Ca> K> M g> P> M n> Zn> Pb> Cu
暗棕壤 Dark brown earth		Ca> K> M g> P> M n> Zn> Cu> Pb
黄褐土 Yellow cinnamon soil		K> Ca> M g> M n> P> Zn> Pb> Cu

元素序列中仍处较后的位置, 说明其在年轮中的富集能力较 M n、Zn、Cu 为弱

3 2 年轮元素的相关性

采矿地区 4 株树(编号 1- 4)及其外围地带 4 株树(编号 5- 8)(包括中山陵园), 按 8 个变量作出相关矩阵 分析诸元素的

关系可知, 常量元素之间的正相关关系主要表现为: 1)Ca 与Mg 在所检测的 8 棵树木年轮中相关系数的范围为 0.767 - 0.946; 2)K 与 P 在 2 号、5 号与 6 号年轮中相关系数在 0.790- 0.932 之间. 常量元素呈负相关的有: 1)K 与 Ca, 仅在 1 号与 4 号相关系数分别为-0.849 和-0.908; 2)K 与 Mg, 上述两棵树中呈现负相关, 分别为-0.818 和-0.781, 此外 7 号相关系数-0.753. 看来, 上述 4 组常量元素相关较显著. 其中Ca 与Mg 的正相关关系对树种、生境条件, 特别是开矿活动等因素的影响不甚敏感. 1 号与 4 号生长在地表塌陷地段及其毗邻地区, 其年轮 K 与 Ca、K 与 Mg 的负相关是否与地表破坏引起土层错动或上覆表土的再沉积有关, 需待今后进一步研究. 常量元素与微量元素的关系亦有正负两种. 正相关: 1)Ca 与 Mn 具有显著的相关性, 2、3、4、6、7、8 号树年轮的相关系数范围为 0.860- 0.948; 2)Ca 与 Pb、Ca 与 Zn 仅在 4 号树年轮中有相关, 分别达 0.906 及 0.881, 其它不明显; 3)Mg 与 Pb、Mg 与 Zn 亦在 4 号树的年轮中有显著相关, 分别为 0.862 与 0.752. 值得注意的是, 负相关仅出现在 4 号树年轮中的 3 组元素: K 与 Pb (-0.849)、K 与 Zn (-0.837) 及 K 与 Mn (-0.820).

总之, 8 棵样树中, 4 号是例外, 多数树的年轮呈现出Ca 与Mn 的正相关关系, 说明所研究地区常量元素与微量元素的内在联系比较薄弱, 且局限于 1 组元素. 4 号马尾松年轮中常量元素与微量元素的关系较为复杂, 既有Ca 与 Pb、Ca 与 Zn、Mg 与 Pb、Mg 与 Zn 的相关关系, 又有K 与 Pb、K 与 Zn、K 与Mn 的负相关关系. 显然, 这是一种由人为作用引起的地球化学异常及地表环境生态破坏的结果<sup>[4]</sup>. 4 号树圆盘样品采自浅部坑采的地表塌陷处, 塌陷面积

100m<sup>2</sup>, 塌深 5- 10m. 多年来采取了填实下部坑采空洞、混凝土隔水、加宽地表排水沟等综合措施, 使该处地表已趋于相对稳定. 常量元素与微量元素之间这种复杂的内在联系, 除受上述人为作用影响外, 似也不应排除四周坡地径流及携带物质对土壤-树木系统元素物质代谢及迁移转化的影响.

至于微量元素之间的关系, 仅在 5 号、4 号、4 号和 6 号树轮的两组元素中呈现出正相关关系. 一组是Cu 与 Zn, 5 号树相关系数为 0.784, 6 号树为 0.89. 另一组是Pb 与 Zn, 4 号树相关系数为 0.755, 6 号树为 0.796. 从表 2 可知, 8 棵树木木质部对土壤Cu 的富集系数 6 号最大, 1 号最小; 对Pb, 7 号最大, 1 号最小; 对Zn, 8 号最大, 2 号最小. 因此, 可以认为采矿外围地区的树木木质部对上述重金属的富集能力较采矿地区强. 但因两类地区所选的树种可比性不强, 故此问题尚待进一步研究.

3.3 年轮元素的组合类型及其地域分异

采用类平均法[WPCA 法 (R) 型]令所采集的 8 棵树样品代表整个区域. 将 8 棵树木的 303 个年轮作为样品数, 令K、Ca、Mg、P、Cu、Pb、Zn 与Mn 作为变量, 得出各元素的相关系数, 绝对值越大, 两者关系就越紧密. 按相关系数的大小依次分类 (表 2). 当要求相关系数  $\geq 0.5$  时, 对全区来讲, 只得到两组关系比较密切的元素组合: K 与P、Mg 与Mn. 可将对全区具有普

表 2 全区 303 个年轮样品的元素分类  
Table 2 Element classification of 303 samples of tree rings in whole area

元素分类		相关系数
Element classification		Correlation coefficient
K	P	0.63756
Mg	Mn	0.63279
Ca	Mg	0.34177
Ca	Zn	0.23482
Ca	Pb	0.15881
Ca	Cu	0.06400
K	Cu	-0.05223

遍意义的元素组合类型, 称之为元素的区域组合类型 8 个变量(元素)的 R 模式聚类谱系如图 1 所示, 其中 X 轴为相关系数, Y 轴为编号

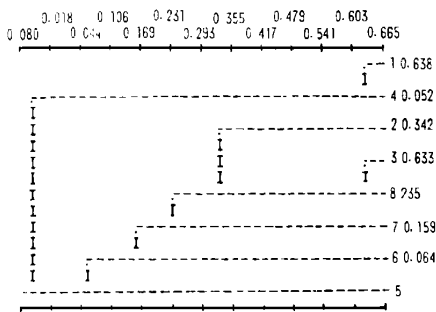


图 1 全区 303 个年轮样品中 8 个元素的 R 模式聚类谱系图

Fig 1 R-mode cluster diagram of 8 elements in 303 samples of tree rings

1. K, 2. Ca, 3. Mg, 4. P, 5. Cu, 6. Pb, 7. Zn, 8. Mn

若不考虑采矿因素, 只取树种的差异, 则对全区 1、2、3、5 号 4 棵黑松的 116 个样品 8 个元素(变量)的分类结果如表 3 所示 如果对所研究地区仅从上述 4 个相同树种 116 个年轮元素的组合关系来分析, 则 8 个元素中仅在 K 与 P、Ca 与 Mg、Pb 与 Zn、Ca 与 Mn 4 对元素间有明显的内在联系 如与全区 303 个样品相比, 可以看出 116 个样品元素分类中 K 与 P 与全区分类相吻合

表 3 黑松 116 个年轮样品的元素分类

Table 3 Element classification of 116 samples of tree rings of Pinus thunbergii

元素分类		相关系数
Element classification		Correlation coefficient
K	P	0.76079
Ca	Mg	0.72833
Pb	Zn	0.52889
Ca	Mn	0.52150
Cu	Pb	0.32259
K	Cu	0.22454
K	Ca	-0.17287

4 棵马尾松 187 个样品的元素分类如表 4 所示, 所得到的元素组合, K 与 P、Mg 与 Mn 两组有较好的内在联系, 且与全区

的组合类型相一致(表 2). 而与表 3 中的 4 对元素组合类型相比较, 除 K 与 P 外几乎无任何相似之处 因此, 可以认为, 4 棵马尾松年轮样品大多取自多金属矿带外缘, 所在的地貌单元距露采与坑采作业点较远, 且冲沟将其与黑松所在地的矿体分开 由此可见, 矿区的元素组合较多地受开采活动影响

表 4 马尾松 187 个年轮样品的元素并类

Table 4 Element classification of 197 samples of tree rings of Pinus massoniana

元素分类		相关系数
Element classification		Correlation coefficient
K	P	0.60006
Mg	Mn	0.62681
Ca	Mg	0.44734
Ca	Zn	0.32470
Cu	Pb	0.13711
Ca	Mn	0.04429
K	Ca	-0.14314

概括上述, K 与 P 这两个元素的组合关系同时存在于全区及其组成地段的样品之中 因此, 这两个元素的组合类型可以被看作为所研究地区树木年轮元素生物地球化学作用同一性或相似性的标志 采矿地段 116 样品, 4 对元素的组合类型中, Ca 与 Mg、Ca 与 Mn 属于土壤中易迁移元素与较易迁移元素的关系, Pb 与 Zn 则是难迁移元素与较易迁移元素的组合 外围地带 187 个样品基本上属于土壤中易迁移与较易迁移元素的组合关系

4 结 论

4.1 K、Ca、Mg、P 常量元素在树木年轮中的富集与多金属矿床及其围岩的空间分布及采矿活动没有明显的联系 年轮中 Cu、Pb、Zn、Mn 的含量水平与采矿方式(露采、坑采)及地表环境破坏的程度有一定的关系

4.2 常量元素中, 有 Ca 与 Mg、K 与 P 的正相关以及 K 与 Ca、K 与 Mg 的负相关,

相关显著, 后者基本上不受开矿方式及环境破坏规模与程度的影响

4 3 常量元素与微量元素的关系一般比较复杂 个别树种年轮中有 4 组元素的正相关, 3 组元素的负相关, 可能与开采活动引起的地表环境变化有关

4 4 微量元素之间的显著相关比较少见, 仅在矿区外围地带的 2 棵黑松中有两组元素的紧密关系

4 5 对全区 303 个年轮样品、采矿地段 116 个年轮样品、外围地段 187 个年轮样品, 取 8 个元素的 R 模式聚类结果表明, 元素的组合类型全区是 K 与 P、Mg 与 Mn 多金属矿带, 除 K 与 P 外, 尚有 Ca 与 Mg、Pb 与 Zn 和 Ca 与 Mn 3 对元素的组合类

型 外围地段则具有与全区相一致的特征元素区域组合类型的同一性及局地组合类型的差异性, 对于研究大中尺度空间乃至全球环境的生态变异及定向调控, 均具有重要的科学价值与实际意义

#### 参考文献

- 1 方开泰、潘恩沛著 1982 聚类分析 地质出版社, 北京, 54- 79
- 2 夏增禄等 1985 中国若干土壤类型剖面中元素的自然含量特征及其相互关系 中国科学(B 辑), (7): 658 - 667
- 3 高煜珠等 1981 植物及植物生理 江苏科学技术出版社, 南京, 152- 161
- 4 A. U. 彼列尔曼著(龚子同等译). 1975 后生地球化学 科学出版社, 北京, 161- 163
- 5 Qian, J. L. et al 1993 Correlation between chemical element contents in tree rings and soils *Pedosphere*, 3(4): 309- 319