

江西红壤地区马尾松的年轮与其根部土壤中 化学元素含量的相关性研究*

钱君龙¹ 柯晓康² 柯善哲² 陈逸君² 唐劲松¹

(1 中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊沉积与环境开放研究实验室, 南京 210008)

(2 南京大学化学系、物理系、现代分析中心, 南京 210093)

摘要 对采自江西红壤地区的六株马尾松的圆盘年轮样及它们当年的根部土壤, 进行 Al, P, Fe, Co, Cu, Zn, Ba, Pb 等元素含量分析。实测结果表明年轮元素含量的分布平均值 $C(Z)$ 与当年根部土壤中元素含量的分布平均值 $C'(Z)$ 之间存在统计相关性, 并满足对数线性相关模式:

$$\lg C'(Z) = a(Z) + b(Z) \lg C(Z)$$

其中 Z 是元素原子序数, 用以表征不同化学元素; 统计回归系数 a 、 b 和元素、树种、气候因子以及土壤类型有关。因此, 年轮元素含量时间(年份)序列 $C(Z, t_i)$ 可反映根部土壤中元素含量 $C'(Z, t_i)$ 的逐年变化, 即再现环境的历史演变。

关键词 树木年轮, 土壤, 化学元素含量, 相关模式

中图分类号 S714

人类的生存和可持续发展与环境息息相关, 环境污染的整治与预防, 需要了解环境污染的演化。土壤是环境的重要组成部分, 土壤表层中化学元素含量的演变可以表征环境中化学元素含量的演变。

树木是人类环境生态的重要组成部分。树木的生长和它的立地环境密切相关, 不同年代长成的年轮中, 记录了当年环境的信息。年轮的宽度、木质的密度与气候因子(日照、湿度、降水量)有关, 利用年轮变异可以研究历史气候, 一百多年来的研究已发展成年轮气候学^[1]; 近廿多年来, 瑞典、日本、美国和前苏联等国均开展了利用树木年轮元素含量来研究环境污染史的工作, 但仅限于定性研究^[2-9]。年轮环境学的关键问题是科学地阐明年轮和环境(土壤)中元素含量的相关性, 建立二者的相关模式, 为定量研究年轮-环境系统开辟道路。作者自 80 年代初开始的树木年轮元素含量与环境演变的研究, 着眼于树轮元素含量与环境(土壤)的定量关系、时空变化规律^[10-14]。我们曾在南京栖霞山铅锌矿区不同地点采集了多种树种的年轮及其根部土壤(黄棕壤)作多种化学元素含量的测定, 证明了年轮和其当年土壤中化学元素含量确实存在相关性, 并发现了二者的对数线性相关模

* 本项目获国家自然科学基金(批准号49471002)资助

收稿日期: 1997-11-13; 收到修改稿日期: 1998-08-15

式^[10]。但对于与栖霞山矿区不同类型的土壤与生态环境,是否都普遍存在这种相关性,还有待作进一步检验,以便为树轮环境系统的研究奠定更坚实的基础。

本文是对采自江西红壤地区的六株马尾松的圆盘年轮样及其根部土壤,通过对它们进行 Al, P, Fe, Co, Cu, Zn, Ba, Pb 等化学元素含量测定,探讨红壤地区马尾松年轮与其根土中化学元素含量之间的相关性。

1 采样与分析方法

1.1 研究地区的概况

1995 年选择中国科学院红壤生态实验室为研究地区,它位于江西省余江县,靠近鹰潭市,面积约 1.5km²;地处我国中亚热带地区,气候温湿多雨,年平均温度 17.6℃,年降雨量 1794.7mm;地质地形为第四纪红土低丘,采样地区属红壤土类(pH5.01—5.54)。

1.2 取样及样品分析方法

由于统计相关性是平均值之间的关系,为了克服同一年轮不同方位和早晚材之间的元素含量的差异^[12],力求取到全方位和一年生长时间内的平均样,在供试树样的近根部(地面上)截取厚 4cm 多的树干圆盘 2 片。一片备用,另一片用交叉定年技术确定年轮所属的年代,然后用雕刻法取年轮样,即用雕刻刀按每年年轮平面(径向覆盖整个年轮的早晚材)均匀地很小薄片地雕刻取样,总量约 0.5g,在 70—80℃ 烘三昼夜,全部称重,湿法消化,制备液用 ICP—AES 法同时测多元素含量^[15]。

土壤样品为采自供试树木根部八个方位(东、东南、南、西南、西、西北、北、东北)的 20—40cm 土层的土壤混合物。土壤样品经风干,于玛瑙研钵中研磨,过 200 目,105—110℃ 干燥 2 小时,用氢氟酸—高氯酸—盐酸法消化,样品制备液用 ICP—AES 法同时测多种化学元素含量。

年轮和土壤中低含量 Pb 的测定用石墨炉无火焰原子吸收法。

2 结果与讨论

2.1 马尾松年轮与根部土壤(红壤)中元素含量的相关性

六株马尾松(1, 2, 3, 4, 5, 6 号树)1995 年年轮中 8 种元素含量 C_n 及其树根部土壤中各元素含量 C'_n (n 为树号及土样号, C 为元素浓度,其单位是 mg/kg),列于表 1。

研究结果表明:江西红壤地区马尾松树木根部土壤中元素含量高,则当年年轮中元素含量也高。

2.2 对数线性相关模式检验

文献 [11] 报道,树轮与当年根部土壤中化学元素含量的关系可用下列对数线性相关模式表示:

$$\lg C'(Z) = a(Z) + b(Z) \lg C(Z) \quad (1)$$

其中 $C(Z)$ 和 $C'(Z)$ 分别代表原子序数为 Z 的化学元素在年轮和当年根部土壤中的平均含量。 a 、 b 是统计回归系数,它们随元素而变,也和树种、气候因子以及土壤类型有关。文献 [11] 报道的是南京铅锌矿区黄棕壤地区的情况,本文研究的是江西红壤地区的马尾松年轮与其根部土壤中元素的含量。

表1 马尾松1995年年轮及其根部红壤元素含量(mg/kg)及其对数值

Table 1 Contents of elements in the annual ring samples of Masson pine trees in 1995 and in the soil near its roots (mg/kg) and their logarithmic values

	化学元素(原子序数)							
	Chemical element (atomic number)							
	Al(13)	P(15)	Fe(26)	Co(27)	Cu(29)	Zn(30)	Ba(56)	Pb(82)
C ₁	39.8	54.9	36.8	0.052	1.50	6.90	6.48	0.87
C ₁ '	68900	200.0	39400	6.05	18.1	57.0	254.8	34.7
lgC ₁	1.600	1.740	1.566	-1.284	0.176	0.839	0.812	-0.060
lgC ₁ '	4.838	2.301	4.595	0.782	1.258	1.756	2.391	1.540
C ₂	57.3	59.3	40.9	0.045	1.64	6.17	6.53	0.70
C ₂ '	75100	213.9	44200	5.470	19.5	53.0	252.4	32.8
lgC ₂	1.758	1.773	1.612	-1.347	0.215	0.790	0.815	-0.155
lgC ₂ '	4.876	2.330	4.645	0.738	1.290	1.724	2.402	1.516
C ₃	37.25	41.0	28.4	0.063	0.95	5.89	6.26	0.59
C ₃ '	56400	141.8	30600	6.36	15.7	50.6	217.7	28.6
lgC ₃	1.571	1.613	1.453	-1.201	-0.022	0.770	0.796	-0.229
lgC ₃ '	4.751	2.152	4.486	0.803	1.196	1.704	2.338	1.456
C ₄	107.3	69.8	84.9	0.081	2.41	8.23	7.01	0.62
C ₄ '	86000	246.2	45600	7.45	27.4	89.0	258.0	28.8
lgC ₄	2.301	1.844	1.929	-1.092	0.382	0.915	0.845	-0.208
lgC ₄ '	5.934	2.391	4.659	0.872	1.438	1.949	2.411	1.459
C ₅	48.6	85.0	31.4	0.095	2.46	10.8	7.53	0.89
C ₅ '	81900	302.0	34200	10.2	31.1	91.8	273.4	42.2
lgC ₅	1.687	1.929	1.497	-1.022	0.391	1.033	0.877	-0.051
lgC ₅ '	4.913	2.480	4.534	1.009	1.493	1.963	2.437	1.625
C ₆	48.4	1589	32.9	0.085	2.29	8.56	7.19	0.42
C ₆ '	79000	562.5	34400	10.1	24.6	80.2	260.0	23.4
lgC ₆	1.685	2.201	1.517	-1.071	0.360	0.932	0.857	-0.376
lgC ₆ '	4.898	2.750	4.537	1.004	1.391	1.904	2.415	1.369

由表 1 得到的对数线性相关模式的检验结果如表 2。

从文献 [16] 查得: 当 $n = 6$ 时, 其相关显著水平 $\alpha = 0.01$ 相应的临界相关系数为 $r_{\alpha} = 0.834$, 而 $\alpha = 0.05$ 相应的 $r_{\alpha} = 0.707$; $n = 5$ 时, 相关显著水平 $\alpha = 0.01$ 相应临界相关系数 $r_{\alpha} = 0.874$, 而 $\alpha = 0.05$ 相应的 $r_{\alpha} = 0.754$ 。从表 2 可见, 由分析结果计算的 r 基本上都是大于或接近临界相关系数, 说明相关性显著, 即证明在江西红壤地区的马尾松树轮和其根部

土壤中的元素含量 C 和 C' 之间也显著符合对数线性相关模式。

表2 对数线性相关模式的检验结果
Table 2 Verification of logarithmic linear correlation model

	化学元素(原子序数)							
	Chemical element (atomic number)							
	Al(13)	P(15)	Fe(26)	Co(27)	Cu(29)	Zn(30)	Ba(56)	Pb(82)
a	0.625	0.545	3.031	1.846	1.177	0.854	1.917	1.618
b	2.562	1.003	0.999	0.836	0.670	1.113	0.588	0.687
r	0.947	0.999	0.994	0.932	0.944	0.935	0.954	0.953
n	6	6	5	6	6	6	5	6

2.3 相关模式的物理诠释

作者在文献 [11] 中已对相关模式作过物理诠释, 本文拟作进一步的讨论。

设 $C'(Z, t)$ 是树木根部土壤中原子序数为 Z 的元素在 t 年时近根局域空间分布平均, 则 dt 时间间隔内树木的吸收作用造成 $C'(Z, t)$ 的变化与 C' 成比例:

$$dC'(Z, t) = -kC'(Z, t)dt \quad (2)$$

即假定 dC' 与 $C'(Z, t)$ 成正比, 负号表示被吸收, k 是吸收系数。树木吸收的 dC' 中只有部分进入当年生成的年轮中(其它部分进入叶茎等)

$$dC(Z, t) = k'dC'(Z, t) \quad (3)$$

将(2)式代入得

$$dC(Z, t) = -k'kC'(Z, t)dt \quad (4)$$

在零级近似下可以认为 $C'(Z, t) = fC(Z, t)$ (f 为比例系数) 将上式代入(4)式得一次叠代方程

$$dC(Z, t) = -k'kfC(z, t)dt \quad (5)$$

$$\text{即} \quad \frac{dC(Z, t)}{C(Z, t)} = -k'kfdt \quad (6)$$

将(5)代入(2)式得

$$\frac{dC'(Z, t)}{C'(Z, t)} = [k'f]^{-1} \frac{dC(Z, t)}{C(Z, t)} \quad (7)$$

积分后得

$$\ln C'(Z, t) = b'(Z) \ln C(Z, t) + a'(Z) \quad (8)$$

将自然对数换底到以 10 为底的对数, 得

$$\lg C'(Z, t) = a(Z) + b(Z) \lg C(z, t) \quad (9)$$

假定年轮形成后不再有元素的横向迁移, 则根据年轮定年和均匀雕刻取年轮样作元素含量分析得到的 $C(Z, t)$ 值, 即为该年轮的元素含量。

2.4 误差来源分析

根据《中国土壤元素背景值》^[17] 的序言, 土壤本身的化学组成和性质是非常复杂和不均匀的。实际上, 树根可以深到 1m 以下的土层, 而我们仅在 20—40cm 的表土取土样, 难免有误差。再者, 仅取根周围八个方位混合土样, 其与全方位的混合样品也有差别。第三,

测定方法的灵敏度和精确度问题也会引起误差。我们认为引起误差的主要因素是实测数据的代表性问题。有的甚至会引起对数线性相关模式的破坏。

2.5 应用

通过树轮元素含量 $C(z, t)$ 分析,可以得到年轮序列,利用对数线性相关模式可以重现土壤中元素含量的历史演变 $C'(Z, t)$ 。将 $C'(Z, t)$ 向未来作解析延拓,可用 $C(Z, t)$ 的最小值估算土壤元素背景值的上限。详见文献 [13, 14]。

参 考 文 献

1. 吴祥定. 树木年轮与气候变化. 北京: 气象出版社, 1990
2. Symeonides C. Tree-ring analysis for tracing the history of pollution: application to a study in northern Sweden. *J. Environ. Qual.*, 1979, 8(4): 482—486
3. Suzuki I, Tutsu. Historical proof of heavy metal pollution using annual rings of trees. *seitai kagacn (Japan)* 1981, 4(2): 3—10
4. Suzuki I, Tutsu. The Fallout of Mercury and Vanadium in Polluted Areas. *PPM, (Japan)* 1979, 10(2): 2—11
5. Anonymous. Tree rings as historical indicators of acid rain. *Pennsylvania Forests*, 1988, 80(2): 22
6. Richard P Guyette, Bruce E Cutter, Gray S. Henderson. Long-term relationships between molybdenum and sulfur concentrations in redcedar tree rings. *J. Environ. Qual.*, 1989, 18: 385—389
7. Richard P Guyette, Bruce E Cutter, Gray S. Henderson. Long-term correlation between mining activity and levels of lead and cadmium in tree rings of eastern red-cedar. *J. Environ. Qual.*, 1991, 20: 146—150
8. Kohno M, Koizumi Y, Okumura K, Mito I. Distribution of environmental cesium-137 in tree rings. *J. Environmental Radioactivity*, 1988, 8(1): 15—20
9. Brownbridge J D. The radial distribution of Cs-137 and K in tree stem. *J. Plant Nutr.*, 7: 887—896
10. Qian J L, Ke S Z, Huang J S, Xiang C X. Correlation between chemical element contents in tree rings and soils. *Pedosphere*, 1993, 3(4): 309—319
11. Ke S Z, Qian J L, Zhu Y X, Huang J S. Study on model of correlation between chemical element contents in tree rings and soils near tree roots. *Pedosphere*, 1994, 4(1): 19—26
12. 钱君龙, 柯善哲, 董雅文. 树木年轮化学元素含量分析的正确取样方法. *土壤*, 1994, 26(4): 223
13. Qian J L, Ke S Z. Chrono-sequences of elemental content in tree rings and soil. *Pedosphere*, 1994, 4(1): 27—33
14. Ke S Z, Qian J L et al. Prediction of chemical element contents in soils. *Pedosphere*, 1994, 4(2): 105—117
15. 冯凤娣, 钱君龙, 方名均等. ICP—AES 法测定树木年轮中 22 种元素. *环境科学*, 1984, 5(4): 60—64
16. 周复恭, 倪加勋, 朱汉江等编著. 应用数理统计学. 北京: 中国人民大学出版社, 1989
17. 中国环境监测总站编. 中国土壤元素背景值. 北京: 中国环境科学出版社, 1990

STUDY ON CORRELATION BETWEEN CHEMICAL ELEMENT CONTENTS IN THE ANNUAL RING OF MASSON PINE TREE AND THOSE IN SOILS NEAR TREE ROOTS IN RED SOILS AREA OF JIANGXI PROVINCE

Qian Jun-long¹ Ke Xiao-kang² Ke Shan-zhe² Chen Yi-jun² Tang Jin-song¹

(1 *Nanjing Institute of Geography and Limnology, the Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008*)

(2 *Nanjing University, Nanjing 210093*)

Summary

The annual rings of six Masson pine trees and the soils near the tree roots were sampled from the red soil area in Jiangxi Province for the determination of Al, P, Fe, Co, Cu, Zn, and Ba contents. Results showed that the relationship between $C(z, t)$ and $C'(z, t)$ followed the logarithmic linear correlation model:

$$\lg C'(z, t) = a(z) + b(z) \lg C(z, t),$$

where z is atomic number of element, a and b are coefficients, which are related to chemical elements, tree species, climatic factor and soil types. Based on this model the dynamic changes of chemical element contents in soils could be reflected by those in the growth rings of tree.

Key words Annual ring, Soil, Content of chemical elements, Correlation model