

# 黄山松年轮硫及重金属元素含量动态特征\*

吴泽民\*\* 高 健 黄成林 洪淑媛

(安徽农业大学林学与园林学院, 合肥 230036)

**摘要** 对黄山松 80 年的年轮序列中 S 及重金属元素 Mn、Fe、Zn、Cu 和 Pb 含量分析结果表明, 年轮中 S 浓度可划分为 3 个等级: 58.1% 年轮段, S 浓度 < 2 mg#kg<sup>-1</sup>; 24.1% 年轮段, S 浓度 3.65~ 6.0 mg#kg<sup>-1</sup>; 17.1% 年轮段, S 浓度 > 11.0 mg#kg<sup>-1</sup>. 年轮序列中 S 的积累有较大幅度的波动, 可分为波动型(1917~ 1960 年)、相对稳定型(1961~ 1980 年)和持续增长型(1981 年以后) 3 种类型; 在 1935~ 1938 年、1959~ 1960 年以及最近 10 年的年轮中, S 含量均 > 11 mg#kg<sup>-1</sup>, 表明该时段大气中 S 的浓度较高. 统计分析表明, 近 18 年来, 旅游人数的增加与年轮中 S 含量呈显著相关性, 一些景点较集中的燃料消耗可能造成局部大气污染, 从而影响到树木. 年轮序列中 Pb 的积累浓度低于土壤背景值; Mn、Fe、Zn 和 Cu 在年轮中的积累均有明显的波动性; 统计上无显著的相关性, 表明这 4 种元素在年轮中的积累是独立的; Zn 和 Cu 在年轮序列中积累的波动与树龄无关; Mn 在年轮序列中的浓度随树龄增加而降低, 在最新的几个年轮段又略有增加, Fe 则相反.

**关键词** 硫 重金属含量 年轮序列 黄山松

**文章编号** 1001- 9332(2005) 05- 0820- 05 **中图分类号** S7181.4 **文献标识码** A

Dynamic characters of sulphur and heavy metals concentrations in *Pinus taiwanensis* growth rings. WU Zemin, GAO Jian, HUANG Chenglin, HONG Shuyuan (Institute of Forestry and Landscape, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China). *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2005, 16(5): 820~ 824.

Based on the concentration analyses of S, Mn, Fe, Zn, Cu and Pb in the growth ring set of *Pinus taiwanensis* at the summit (1 400~ 1 600 m alt.) of Huangshan Mountains during past 80 years, this paper studied the dynamic characters of element concentrations in the ring set, and their relationships with atmospheric environment. The results showed that there were three levels of S concentration in the growth ring set, i. e., low concentration (less than 2 mg#kg<sup>-1</sup>), accounted for 58.1% of the ring set; medium (3.65~ 6.0 mg#kg<sup>-1</sup>), accounted for 24.1%; and high (> 11.0 mg#kg<sup>-1</sup>), accounted for 17.1%. The dynamic change of S accumulation in the ring set displayed an obvious fluctuation, which could be divided into 3 major types, i. e., fluctuation during 1917~ 1960, relatively stable during 1961~ 1980, and gradual increase after 1981. In the growth ring set of 1935~ 1938, 1959~ 1960, and recent 10 years, the S accumulation concentrations were all higher than 11 mg#kg<sup>-1</sup>, suggesting the relatively high atmospheric S concentration in those periods. There was a significant correlation between the increase of tourist amount in Huangshan scenic spot and the S concentration in growth ring set. The fuel fume centralized in some places might result in the atmospheric pollution at local scale, which in turn, might influence the S accumulation in growth ring set. The Pb accumulation concentration in the ring set was less than the background value in soil. The accumulation concentrations of Mn, Fe, Zn and Cu showed fluctuation characteristics, with independence of each other. The accumulation of Zn and Cu in growth rings had no correlation with tree age, while that of Mn and Fe was in adverse. The Mn concentration in the growth ring set decreased with tree age but increased in recent growth rings, while the Fe concentration was on the contrary, which needed further study.

**Key words** Sulphur, Heavy metals, Concentration, Dynamic, Growth ring set, *Pinus taiwanensis*.

## 1 引 言

树木年轮生长是物种生物学特性和外部环境条件综合的结果, 年轮宽度的变化记录了大气环境与气候变化的有关信息, 是研究历史气候的重要资料<sup>[2, 12, 20]</sup>. 研究表明, 树木年轮中化学元素含量与当年环境中化学元素含量存在一定的相关性<sup>[1, 3]</sup>, 因此可通过对树木年轮元素的分析, 推测环境的变化过程<sup>[11, 13]</sup>. 树木生长年轮中元素的积累是一个十分复杂的过程. 一方面, 它与当时环境中的元素含量有关; 另一方面, 当研究若干年前形成的年轮元素含

量时, 必须考虑当年形成的年轮中元素是否会在以后发生横向转移<sup>[6, 14]</sup>. 在树干木质部分的心材中, 构成木射线的射线薄壁细胞已经死亡, 而边材的射线细胞是活的, 具有元素的横向迁移功能<sup>[19]</sup>. 这个生理过程在一定程度上会影响对环境元素动态变化的分析. 环孔材树种一般具有较小的边材率, 在选作环境动态变化研究时, 可减少上述问题的发生<sup>[16]</sup>. 因此, 树木年轮化学的研究需要生物学、生态学、化

\* 国家十五科技攻关资助项目(2002BA516208).

\*\* 通讯联系人.

2004- 07- 05 收稿, 2004- 11- 15 接受.

学、物理学等多方面的合作。我国这方面的研究工作尚不多,主要集中在不同地区、不同种类的树木,以及树木不同器官中重金属元素的积累<sup>[10]</sup>,少数研究从年轮化学角度分析环境污染元素的历史变化<sup>[9]</sup>,而如何在环境监测中发挥现实作用尚需要开展更多的研究。

黄山是世界自然与文化遗产,生态环境十分优良,每年有大量游人来此观光旅游。因此,在发展旅游业的同时,如何保护好自然环境是实现黄山可持续发展的保证,而了解黄山自然环境的历史,探索黄山旅游与环境变化的关系,将为科学、合理地经营黄山风景旅游资源提供依据。本文选择黄山风景区的黄山松(*Pinus taiwanensis*),通过对其过去 80 年的年轮化学分析,探索年轮中 S 和重金属元素积累的规律,以此推测黄山地区的历史环境,研究环境质量的变化,探讨发展旅游与大气环境的关系,为风景区的保护与实现可持续发展的经营提供科学依据。

2 研究地区与研究方法

2.1 研究地区概况

研究地位于我国安徽省境内的黄山(30°10'N, 118°15'E);最高海拔 1 864 m。山体由花岗岩组成,主体地貌分为两大区,中心区是起伏比较平缓的山顶面;外围地形复杂,多强烈切割为峭壁与深谷。黄山属中亚热带湿润气候带,据海拔 1 840 m 的光明顶气象台资料,1 月份平均气温 - 3.1℃,7 月份平均气温 17.1℃,年均温 7.1℃,极端最低气温 - 11℃;多年平均降水量为 2 398.5 mm;无霜期 205~ 225 d。主要土壤类型为酸性棕壤、山地草甸土及小范围的山地沼泽土。主要植被类型有山地灌木草地群落,黄山松2杜鹃(*Rhododendron anhweiense*)2大蓟(*Cirsium japonicum*)群落,黄山松2华筴竹(*Sasamorpha sinica*)群落,黄山松、黄山栎(*Quercus stewardii*)2衡山荚蒾(*Viburnum hengshanicum*)、少穗苔草(*Carex flipes* var. *oligostachys*)群落,华东楸(*Tilia japonica*)2衡山荚蒾2管花鹿药(*Smilacina japonica*)群落。乔木树种除黄山松外,主要有华东楸、黄山栎、茅栗(*Castanea sequinii*)、华毛石楠(*Photinia villosa* var. *sinica*)和水榆花楸(*Sorbus alnifolia*);林下植被主要是黄山蔷薇(*Rosa sertata*)、南方六道木(*Abelia dielsii*)、沼原草(*Moliniopsis hui*)、野古草(*Arundinella anomala*)、地榆(*Sanguisorba officinalis*)和黄山龙胆(*Gentiana delicata*)等等。

黄山松是我国东南部中山地形植被垂直带中的主要树种之一,天然分布于海拔 600~ 700 m 以上,在大陆的水平分布范围为 112°36'~ 121°E, 25°~ 31°36'N<sup>[7,8]</sup>。黄山松寿命长,但在华东地区目前仅保存少量高龄的黄山松,是研究历

史气候与大气环境变化的重要材料。黄山风景区环境保护措施比较完善,周围 100 km 范围内基本无大型工业区,空气洁净度高,总体环境质量良好;土壤中重金属元素的背景值除了氟以外都低于全国的平均值<sup>[17]</sup>。

2.2 研究方法

2.2.1 采样 选择的采样点为黄山松天然纯林,海拔 1 400 m,坡向西南坡,林分平均胸径 38 cm,周围 500 m 范围内有狮林酒店、北海宾馆。因风景区内不可能采伐多株树木以供取样,1999 年结合古树研究清理林地获得一株样株,同时随机选择上述样株附近的 5 株胸高直径 > 40 cm 的立木(年龄一般约在 100 年)<sup>[18]</sup>,用生长锥在胸径处钻去去年轮木芯。在实验室对年轮从外向内每 2 年切取样品,混合后取样分析。因采集时间在夏季,当年(1999 年)的年轮尚未完全形成,不作单独分析而归属于前 2 年中。

2.2.2 分析 对各年龄段的年轮作元素含量分析,采用  $\text{NH}_4\text{O}_2\text{HClO}_4$  消煮- $\text{BaSO}_4$  比浊法测定 S; Mn、Cu、Fe、Zn 和 Pb 采用原子吸收光谱分析仪测定。上述所有分析在中国林业科学研究院分析中心完成。各元素积累的相互关系应用 JMPin 统计软件进行统计分析。

3 结果与分析

3.1 黄山松年轮中 S 的积累

由图 1 可见, S 在年轮中的积累呈明显的波动性,2 年段年轮中 S 浓度最低的是 1972~ 1973 年轮段,为 0.43 mg/kg<sup>-1</sup>;最高的是 1997~ 1999 年轮段,达 1315 mg/kg<sup>-1</sup>,相差近 30 倍。另外,1959~ 1960 年轮段具有很高的 S 含量,浓度达到 1219 mg/kg<sup>-1</sup>。

根据年轮中 S 浓度分布,可划分为 3 个浓度等级:低浓度年轮段(1935~ 1938 年),S 含量浓度 < 2 mg/kg<sup>-1</sup>,占总年轮的 58.15%;中等浓度年轮段(1959~ 1960 年),S 含量浓度 3165~ 6 mg/kg<sup>-1</sup>,约占 24.14%;高浓度年轮段(1993~ 1999 年):S 含量 > 11 mg/kg<sup>-1</sup>,约占 17.11%。这 3 个浓度水平之间界线分明、无过渡类型(图 2)。

年轮中 S 含量的动态变化明显表现为 3 种类型(图 1)。1)波动型: S 含量呈现明显的波动,出现在 1917~ 1960 年的 53 年中,最高与最低含量相差近 10 倍,并分别在 1935~ 1938 年、1959~ 1960 年出现 2 个明显的高峰段,含量均超过 11 mg/kg<sup>-1</sup>,达到高浓度水平等级;在 1923~ 1928 年、1943~ 1944 年、1951~ 1952 年 3 个时段出现较高的 S 含量,变化范围在 4~ 6 mg/kg<sup>-1</sup>之间,属于中等浓度等级水平范围;其它时段的年轮中的 S 含量均比较低,含量大多在 2 mg/kg<sup>-1</sup>以下。该类型的整个年轮时段中,

S 含量平均值为  $4109\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  12) 相对稳定型: S 含量总体水平低、波动不大, 出现在 1961~ 1980 年, 在近 20 年间 S 的含量持续处于低浓度等级水平, 平均浓度仅为  $0194\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 变化范围在  $0143\sim 1130\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  之间. 3) 持续增长型: 出现在 1981 年之后, 除了 1987~ 1989 年的年轮中 S 浓度下降外, 总体上呈连续增长趋势, 其 S 含量平均值达到  $8127\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 而且在 1992 年以后的年轮中, S 浓度都超过  $11\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

312 黄山松年轮中 Pb 积累

Pb 是重金属污染元素. 可通过植物根系吸收土壤中的 Pb, 并在各器官中积累<sup>[15]</sup>. 黄山松在树干木质部积累的 Pb 浓度很低, 2 年段的年轮中平均含 Pb 量仅为  $0115\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 大大低于黄山土壤 Pb 含量的背景值  $24153\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ <sup>[17]</sup>. Pb 在年轮中的积累具有波动性(图 2), 波动幅度为  $0103\sim 01737\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 主要出现在 1969~ 1972 年轮段, 最大波动幅度达 25 倍, 其它时间段波动幅度均较小(图 1).

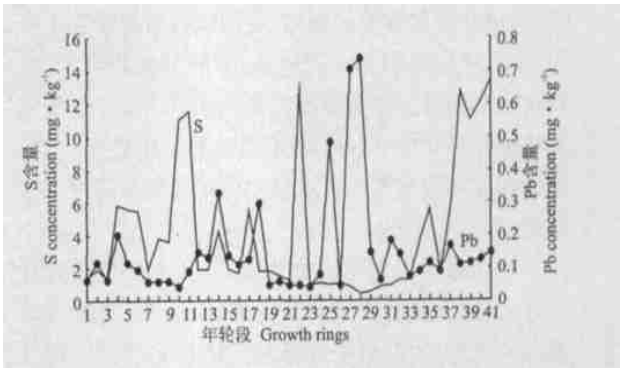


图 1 黄山松年轮 S、Pb 积累的动态变化(1917~ 1999)  
Fig 1 Dynamic of S and Pb concentration in annual rings of *Pinus taiwanensis* from 1917~ 1999.  
1) 1917~ 1918; 2) 1919~ 1920; 3) 1921~ 1922; 4) 1923~ 1924; 5) 1925~ 1926; 6) 1927~ 1928; 7) 1929~ 1930; 8) 1931~ 1932; 9) 1933~ 1934; 10) 1935~ 1936; 11) 1937~ 1938; 12) 1939~ 1940; 13) 1941~ 1942; 14) 1943~ 1944; 15) 1945~ 1946; 16) 1947~ 1948; 17) 1949~ 1950; 18) 1951~ 1952; 19) 1953~ 1954; 20) 1955~ 1956; 21) 1957~ 1958; 22) 1959~ 1960; 23) 1961~ 1962; 24) 1963~ 1964; 25) 1965~ 1966; 26) 1967~ 1968; 27) 1969~ 1970; 28) 1971~ 1972; 29) 1973~ 1974; 30) 1975~ 1976; 31) 1977~ 1978; 32) 1979~ 1980; 33) 1981~ 1982; 34) 1983~ 1984; 35) 1985~ 1986; 36) 1987~ 1988; 37) 1989~ 1990; 38) 1991~ 1992; 39) 1993~ 1994; 40) 1995~ 1996; 41) 1997~ 1999. 下同 The same below.

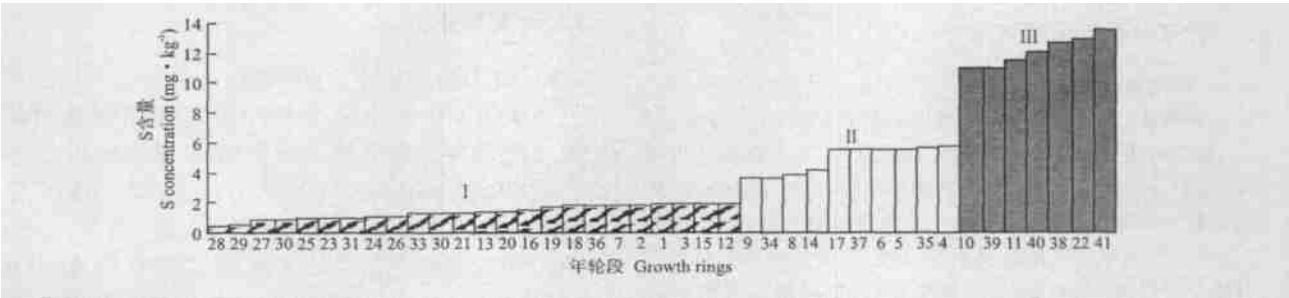


图 2 黄山松年轮中 S 含量水平等级分布  
Fig. 2 Distribution of concentration class of S in annual rings of *Pinus taiwanensis*.  
N. < 210  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ; 0. 316~ 610  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ; 0. > 1110  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

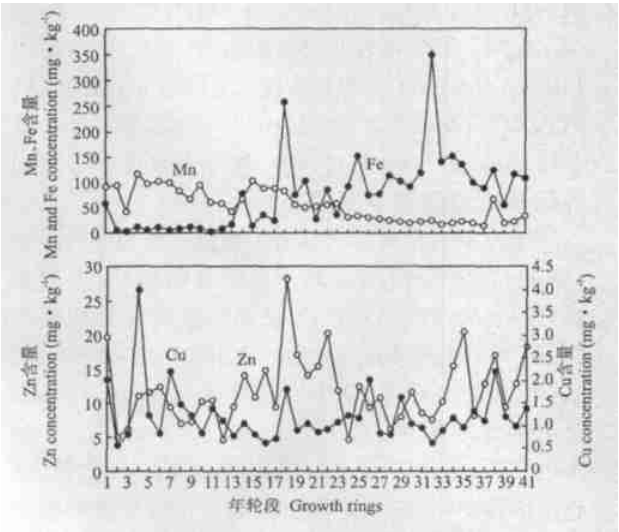


图 3 黄山松年轮中 Mn、Fe、Zn 和 Cu 含量的动态变化  
Fig. 3 Concentration dynamic of Mn, Fe, Zn and Cu in annual ring set of *Pinus taiwanensis*.

313 黄山松年轮中 Mn、Fe、Zn 和 Cu 的积累

由图 3 可见, 4 种元素在年轮中浓度呈显著的差异(P [ 0101), Fe 的平均浓度最高, 为  $75103\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ; Cu 最低, 仅为  $1122\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

4 讨 论

411 黄山松年轮中 S 含量与环境质量的关系

植物吸收 S 主要通过气孔吸收大气中  $\text{SO}_2$  等含 S 气体和通过根系吸收土壤中的  $\text{SO}_4^{2-}$  两种途径. S 在年轮序列中的含量一般不会出现较大的波动. 黄山松 80 年间年轮中积累的 S 浓度出现较大幅度变化, 与大气及土壤中 S 含量波动有关, 而土壤中的 S 主要来自以酸雨形式的大气沉降.

从黄山松年轮中 S 含量变化来看, 在 80 年间的大部分时间段(5815%), S 含量处于低水平( $< 2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), 如果将此值理解为正常情况下的 S 积累

量,那么超过该值的年轮段,特别是 S 含量 $> 11 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的时段,显然与环境中 S 含量增加有关.如上所述,年轮中 S 含量超过  $11 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的时段有 3 个,其中 1959~ 1960 年出现的陡然增长最明显,而在此前的 8 年和以后的 20 年中均处于低浓度水平.据记载,1958 年秋~ 1959 年是我国全民大炼钢铁的时代,黄山附近的休宁县有 4.2 万人参加土法炼铁,歙县建土高炉 1 500 座,耗炭  $113 \text{ @} 104 \text{ t}^{[4,5]}$ .这一历史事件的时间与黄山松年轮中高浓度 S 含量的年轮段相吻合,表明当时大气环境中 S 含量大大超过正常年份,低水平的能源消耗模式是造成严重大气污染的直接原因.1950 年前年轮中 S 含量的波动规律性不显著,但在 1935~ 1938 年轮段中 S 浓度明显增高,按 1959~ 1960 年的结果推测,可能当时也有造成大气污染的事件发生,但尚缺相关史料佐证.

1981 年以后,除 1987~ 1988 年有一个明显的下降外,黄山松年轮中出现 S 浓度连续增加.据黄成林等<sup>[17]</sup>对黄山气象站 1982~ 1990 年的降水酸度历年平均值统计结果, pH 变化范围在 5.13~ 6.173 之间;1985 年以后的数年中降水的 pH 略有降低,尤其是 1987 年以后均在 6.10 以下,最低值 5.13.酸雨的出现情况与 1981 年后年轮中 S 的含量增加趋势一致,反映了大气中 S 污染逐渐严重.

有研究认为,黄山周围 100 km 范围内无大中型工业基地,1986 年以后风景区本身的燃料也由燃煤改为燃油,并在 1999 年以后大部分采用电能,因此本身的燃煤量不足以造成酸雨污染,  $\text{SO}_2$  主要来自区域外部、中远距离输送来<sup>[14]</sup>.分析表明,1979 年后黄山松年轮中 S 含量增加与游人增加密切相关(图 4).回归方程:  $Y(s) = 5119575 - 01175447 X_p + 010021785 X_p^2 - 01000005 X_p^3$ ,  $R = 019411$ .式中,  $Y(s)$  为每 2 年年轮段中 S 含量;  $X_p$  为每 2 年的旅游人数(万人).拟合曲线见图 5.

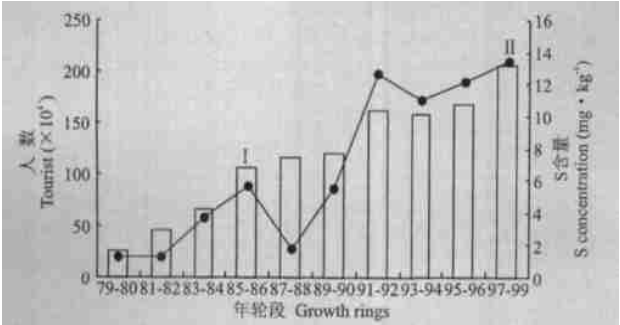


图 4 1979~ 1999 年黄山旅游人数增加( $\bar{N}$ )与年轮中 S 含量( $\bar{O}$ )的关系  
Fig. 4 Relationship between the number of tourists ( $\bar{N}$ ) and S concentration ( $\bar{O}$ ) in annual rings of *Pinus taiwanensis*.

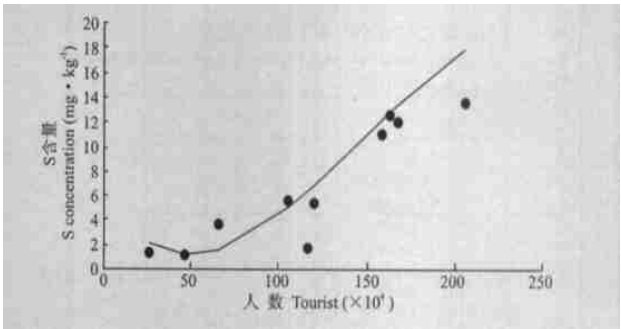


图 5 旅游人数增加与年轮中 S 含量关系的回归曲线  
Fig. 5 Regulation of tourists increase to S concentration in annual rings of *Pinus taiwanensis*.

# 实测值 Measuring; - 模拟值 Simulation. 下同 The same below.

由此可见,黄山风景区本地燃烧向大气排放 S 的总量不大.而本研究的年轮样品采集地附近有西海饭店、北海宾馆和狮林大酒店等,其燃料的消耗可能影响周围的局部环境.可以认为,1981~ 1999 年轮段中 S 积累的持续增加,可能是中远距离输送与旅游人数激增导致本地燃料消耗增加,从而造成局部环境污染.

1981 以后的年轮大多属于树木的边材范围(松属树木的边材一般为 2~ 3 cm,约 12 年的年轮宽度<sup>[19]</sup>),是有传导活动的有生命部位.通常,树木边材含有的元素在一定程度上可通过射线向内转移,从而造成心材年轮中的元素含量增高;另一方面,历史年轮中元素的横向转移也可能造成年轮元素分析的复杂化,尽管转移量的多少至今还没有明确的研究结果,但这种转移一般不可能造成某种元素含量的大幅度波动.在本研究中,即使有这类转移也并没有导致边材 S 积累量的明显减少以及心材中 S 积累的全面增加,由此进一步证明上述分析结果是合理的.

#### 4.1.2 黄山松年轮中重金属元素积累

黄山山顶面黄山松年轮中 Pb 积累的浓度大大低于土壤的背景值,说明尽管近 10 多年来旅游人数迅速增加,进入黄山风景区的机动车辆大大增加,但汽车尾气中 Pb 的排放并没有对山体上部的土壤造成污染.

Mn 和 Fe、Fe 和 Cu 之间表现有一定负相关趋势,而其它元素在年轮中的积累都呈正相关,但其相关性均未达到统计显著的水平,表明 4 种元素在年轮中的积累是相互独立的(表 1).另外,4 种重金属元素在年轮序列中的积累均呈波动性,波动幅度较大的有 Zn 和 Cu,其振幅与树龄没有关系,在整个年轮序列中是在平均水平上的上下波动(图 3).

表 1 不同元素在黄山松年轮中积累的相关性\*  
Table 1 Relative analysis of Mn, Fe, Zn, Cu concentration in annual rings of Pinus taiwanensis

	Mn	Fe	Zn
Fe	- 01 51253		
Zn	01 099336	01 34716	
Cu	01 299884	- 01 06903	01152587

\* P< 01 05.

Mn 在年轮序列中的积累与树龄有显著的相关性,随着树龄的增长,年轮中 Mn 的含量趋于降低,表明黄山松早期生长对 Mn 的需求较高,但在靠近形成层的 6~ 8 年的年轮中呈略有增加趋势; Fe 在年轮序列中的积累则相反,随树龄的增加而逐渐增加,表明黄山松早期生长对 Fe 的需求低于后期,但在形成层附近的若干年中具有下降趋势(图 6)。

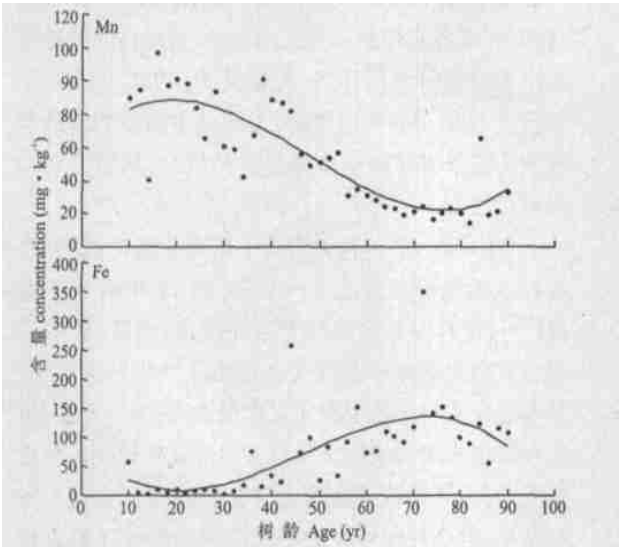


图 6 Mn、Fe 含量与树龄的关系  
Fig. 6 Relationship of Mn and Fe concentration in annual rings to tree ages.

回归方程:  
$$Y_{Mn} = 6117947 + 3109874 X_a - 01101668 X_a^2 + 0100071 X_a^3$$
$$R = 018668$$
$$Y_{Fe} = 8619953 - 8132554 X_a + 0125679 X_a^2 - 0100183 X_a^3$$
$$R = 016748$$

式中, Y 为每 2 年年轮段中元素含量 (mg#kg<sup>-1</sup>); X<sub>a</sub> 为树龄 (10~ 90 yr)。

可见 Fe、Mn 在黄山松年轮中的积累与树龄关系相反,其代谢生理意义有待进一步研究。

参考文献

1 Baes CFW, Mclau PSB. 1984. Trace element in tree rings, evidence of recent and historical air pollution. Science, 224: 494~ 497

2 Briffa KR, Bartholin TS, Eckstein D, et al. 1990. A 1400year tree ring record of summer temperatures in Fennoscandia. Nature, 346: 434~ 439

3 Cook ER, Kairiukstis LA. 1990. Methods of Dendrochronology: Application in the Environmental Science. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 93~ 93

4 Editorial Board of General Records of Xiunin County. 1990. General Records of Xiunin County. Hefei: Anhui Education Press. 620 (in Chinese)

5 Editorial Board of General Records of Shexian County. 1995. General Records of Shexian County. Beijing: Zhonghua Press. 794 (in Chinese)

6 Fritts HC. 1976. Tree Ring and Climate. London: Academic Press.

7 Huang C2L(黄成林), Wu Z2M(吴泽民). 1999. The study on main types of plant communities and succession of Huangshan pine community in the summit area of Huangshan Mountain. J Anhui Agric Univ(安徽农业大学学报), 26(4): 388~ 393 (in Chinese)

8 Ji C2F(季春峰), Zou H2Y(邹惠渝). 2004. Study progress on Pinus taiwanensis. J Anhui Agric Univ(安徽农业大学学报), 31(1): 111~ 114 (in Chinese)

9 Jiang G2M(蒋高明). 1994. The application of Pinus tabulaeformis tree rings in revealing the population history of Chengde city. Acta Phytocol Sin(植物生态学报), 18(4): 314~ 321 (in Chinese)

10 Jiang G2M(蒋高明). 1996. PCA analysis on sulphur and heavy metals contents in different parts of woody species in Chengde of North China. Chin J Appl Ecol(应用生态学报), 7(3): 310~ 314 (in Chinese)

11 Keller T. 1980. The effect of a continuous springtime fumigation with SO<sub>2</sub> on CO<sub>2</sub> uptake and structure of the annual ring in Spruce. Can J For, 10: 1~ 6

12 LaMarche VG, Graybill HC, Fritts HC, et al. 1984. Increasing atmospheric carbon dioxide: Tree ring evidence for growth enhancement in natural vegetation. Science, 225: 1019~ 1021

13 Liang E2Y(梁尔源), Shao X2M(邵雪梅), Hu Y2X(胡玉熹), et al. 2001. Progress in Dendrochronology in Advances in Plant Sciences. Vol. 4. Beijing: China Higher Education Press. 321~ 334 (in Chinese)

14 Vysotskaya LG, Vaganov EA. 1989. Components of variability of radial cell size in tree rings of conifers. IAWA J, 10: 417~ 428

15 Ruan H2H(阮宏华), Jiang Z2L(姜志林). 1999. Pb concentration and distribution in main tree species on both sides of highway in suburbs of Nanjing City. Chin J Appl Ecol(应用生态学报), 10(3): 362~ 364 (in Chinese)

16 Schweingruber FH. 1996. Tree Rings and Environment Dendroecology. Haupt Vienna: Berne, Stuttgart. 609

17 Wang G2S(王桂梭), Pan B2L(潘宝林), Li Z(黎志), et al. 1996. Studies on Recreation and Environment of Huangshan. Beijing: China Science and Technology Press. 454 (in Chinese)

18 Wu Z2M(吴泽民), Huang C2L(黄成林), Ma Q2S(马青山). 1999. Relationship between tree ring growth of Pinus taiwanensis and climate factors. Chin J Appl Ecol(应用生态学报), 10(2): 147~ 150 (in Chinese)

19 Yin S2C(尹思慈). 1996. Wood Technology. Beijing: China Forestry Press. 272 (in Chinese)

20 Yu D2P(于大炮), Zhou L(周莉), Dai L2M(代力民), et al. 2003. Application of dendrochronology in global change research. Chin J Ecol(生态学杂志), 22(6): 91~ 96 (in Chinese)

作者简介 吴泽民, 1944 年生, 教授, 博士生导师. 主要从事森林生态、城市林业研究, 发表论文 40 余篇. Tel: 05512 2826168; E2mail wuzemin@mail. hf. ah. cn