

# 南京地区近二十年来雪松树轮的 稳定碳同位素与气候重建

沈吉 陈毅风

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

**摘要:** 对采自南京太平门的雪松 [*Cedrus deodara* (Roxb.) Loud.] 树轮  $\alpha$ -纤维素的  $\delta^{13}\text{C}$  进行分析, 结合江苏气象台的气象记录, 建立树轮  $\delta^{13}\text{C}$  与气候各要素的回归方程, 并进行了气候重建, 重建值与观测值吻合较好, 表明南京地区树轮  $\alpha$ -纤维素稳定碳同位素与 5~7 月平均降雨量及 5~9 月平均气温显著相关, 重  $\delta^{13}\text{C}$  对应于 5~7 月的少雨和 5~9 月的高温, 轻  $\delta^{13}\text{C}$  对应于 5~7 月的多雨和 5~9 月的低温, 在一定程度上反映了东亚季风盛行区树木生长与水热组合的关系。

**关键词:** 树轮; 稳定碳同位素; 气候重建

**中图分类号:** S718.45 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0978(2000)03-0034-04

**The climatic reconstruction from the tree-ring  $\delta^{13}\text{C}$  values of *Cedrus deodara* (Roxb.) Loud. during the past 20 years in Nanjing** SHEN Ji, CHEN Yi-feng (Nanjing Institute of Geography and Limnology, Academia Sinica, Nanjing 210008), *J. Plant Resour. & Environ.* 2000, 9(3): 34~37

**Abstract:** The  $\delta^{13}\text{C}$  on  $\alpha$ -cellulose of *Cedrus deodara* (Roxb.) Loud. tree rings are analysed in Taipingmen area, Nanjing. Combining with the records of Jiangsu Meteorological Station, the regression equations of  $\delta^{13}\text{C}$  and climatic factors are constructed, then the parameters are reconstructed. The calculated values are identical with the true values. The results indicated that  $\delta^{13}\text{C}$  values of tree ring  $\alpha$ -cellulose in Nanjing area show significant correlation with air temperature from May to September and precipitation rate from May to July. The heavy  $\delta^{13}\text{C}$  is corresponding to the little precipitation and high temperature, the light  $\delta^{13}\text{C}$  is corresponding to the increasing precipitation and low temperature. To a certain extent, which inferred the relation between tree growth and water-temperature in East Asian Monsoon prevailing area.

**Key words:** tree-ring; stable carbon isotope; climatic reconstruction

树木年轮以其定年精确、连续性强和分辨率高等优势在气候与环境变化研究中受到愈来愈广泛的重视, 被广泛应用于探讨古气候波动、大气圈  $\text{CO}_2$  浓度变化, 以及全球碳循环。它在过去全球变化 (PAGES) 研究中占有重要位置, 研究表明, 树木尤其是针叶树年轮中的  $\delta^{13}\text{C}$  能有效地反应其生长期间的气候因子的波动<sup>[1, 2]</sup>。本文对采自南京太平门的雪松年轮进行了  $\delta^{13}\text{C}$  分析, 运用数理统计方法建立了雪松树轮与南京地区近 20 年来气候因子(降水、气温)之间的数学关系。

## 1 自然地理概况

江苏省南京市位于北纬  $31^{\circ}14' \sim 32^{\circ}36'$ , 东经

$118^{\circ}22' \sim 119^{\circ}14'$ 。全市平面位置南北长(长 150 km)、东西窄(宽 50~70 km), 呈正南北向; 总面积 6 515.74  $\text{km}^2$ 。地貌区域为宁镇扬山脉的一部分, 低山丘陵集中, 占全市总面积的 64.52%。

在气候区划上, 南京属北亚热带湿润气候。季风显著, 四季分明(春季 3~5 月, 夏季 6~8 月, 秋季 9~11 月, 冬季 12~2 月)。由于地处欧亚大陆之东部, 虽距海洋仅有 300 km, 但海洋性并不明显, 冬夏温差比较显著。冬季, 多偏北风, 天气晴朗、寒冷、干

收稿日期: 2000-03-13

基金项目: 1998 年度江苏省自然科学基金资助项目(BK97218)

作者简介: 沈吉, 男, 1963 年 6 月生, 江苏常州人, 博士, 研究员, 中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊沉积与环境开放实验室主任, 主要从事全球气候环境变化的研究。

燥;夏季,南京多东南风,天气炎热,雨水充沛;春、秋两季是冬、夏交替过程中的过渡季节。春季,南京地区多东北-东风;秋季,南京又渐受北方冷气团控制,形成干燥凉爽天气。

## 2 样品及试验流程

### 2.1 样品采集与定年

用于本研究的样品于1990年采自南京市东北部的太平门,树种为雪松 [*Cedrus deodara* (Roxb.) Loud.],共采得树盘5个。

样本采集与定年均采用现代树木年轮学的基本分析流程,其中定年采用交叉定年法<sup>[3]</sup>,确保每一样本的每一生长年轮具有准确的年代,从根本上杜绝因定年不准确而导致的失误。本文采用的树盘生长自1973年。

### 2.2 树轮稳定碳同位素分析流程<sup>[4]</sup>

覆盖整个年轮均匀地分别逐年雕刻采集木质样2g左右,样品在70~80℃干燥3昼夜,磨至30~60目,备用。并用下列方法提取 $\alpha$ -纤维素:

(1)有机试剂抽提:样品置于苯和乙醇(体积比2:1)混合溶液中抽提24h,抽提循环次数不少于每小时4~6次。以除去树脂、蜡和鞣质等有机物。

(2)氯化:将烘干的样品转移至锥形瓶中,加65mL蒸馏水、0.5mL冰醋酸及0.75g NaClO<sub>2</sub>(80%),于75℃的恒温水浴中加热,每隔1h加入同样组分的冰醋酸和亚氯酸钠,重复操作至试样变白。再用丙酮洗涤3次,以除去木质素。

(3)碱洗:用9.5% NaOH溶液洗涤3次,再用18~20℃蒸馏水洗涤数次后,用20℃2mol/L的醋酸浸泡5min,用蒸馏水洗涤至不呈酸性,以除去半纤维素,从而获取纯净的 $\alpha$ -纤维素。

将提取的纤维素样品制备成供质谱仪分析用的CO<sub>2</sub>气体,并在MAT-251型质谱仪上测定 $\delta^{13}C$ 值,比值相对于PDB标准。

## 3 结果与分析

### 3.1 雪松树轮 $\alpha$ -纤维素 $\delta^{13}C$ 的分析

南京市雪松树轮 $\alpha$ -纤维素 $\delta^{13}C$ 的分析结果及气象资料见表1,其中 $\delta^{13}C$ 采用PDB标准,试验误差为 $\pm 0.2\%$ , $\delta^{13}C$ 值采用国际通用标准形式:

$\delta^{13}C = [(R_{\text{sample}} / R_{\text{PDB}}) - 1] \times 1000\%$  (式中 $R = {}^{13}C/{}^{12}C$ )。气象资料取自南京北极阁江苏省气象台,距采样点约1km。

表1 雪松树轮 $\delta^{13}C$ 分析结果与南京市气象资料

Table 1 The tree-ring  $\delta^{13}C$  values of *Cedrus deodara* and the meteorological data in Nanjing

年份 Year	$\delta^{13}C$ (‰, PDB)	5~7月平均降雨(mm) Average precipitation from May to July	5~9月平均气温(℃) Average temperature from May to September
1990	-25.0	107.3	25.4
1989	-25.4	149.5	24.2
1988	-25.4	163.5	24.7
1987	-25.3	191.5	24.0
1986	-25.8	122.3	24.3
1985	-25.6	133.5	24.8
1984	-25.2	129.5	24.3
1983	-25.2	153.8	24.6
1982	-25.6	169.5	24.2
1981	-25.1	125.9	24.7
1980	-26.1	191.2	23.4
1979	-25.7	173.7	24.4
1978	-24.2	54.9	25.9
1977	-25.7	158.4	24.0
1976	-25.5	155.3	24.2
1975	-25.6	199.2	24.9
1974	-26.1	247.5	24.1
1973	-25.4	145.5	24.3

### 3.2 南京雪松树轮 $\delta^{13}C$ 值与气候重建

#### 3.2.1 C<sub>3</sub>植物中碳同位素的分馏模式

光合作用是绿色植物生长、生存的基础,光合作用过程中CO<sub>2</sub>分子被一个个地固定吸收,根据CO<sub>2</sub>分子被固定后形成的最初产物的不同,将光合途径分为C<sub>3</sub>、C<sub>4</sub>、CAM等途径,与之相对应的植物则称为C<sub>3</sub>植物、C<sub>4</sub>植物、CAM植物等。而雪松是C<sub>3</sub>植物,C<sub>3</sub>植物中碳同位素的分馏模式如下<sup>[5]</sup>:

$$\delta^{13}C_p = \delta^{13}C_a - a - (b - a)c_i/c_a \quad (1)$$

$$A_p = (c_a - c_i)/r \quad r = r_a + r_d + r_m \quad (2)$$

将(2)代入(1)得:

$$\delta^{13}C_p = \delta^{13}C_a - a - b - (b - a)(1 - rA_p/c_a) \quad (3)$$

式中: $\delta^{13}C_p$ :植物C同位素组成; $\delta^{13}C_a$ :大气CO<sub>2</sub>的同位素组成; $a$ :扩散过程中由于<sup>13</sup>CO<sub>2</sub>和<sup>12</sup>CO<sub>2</sub>扩散速度的差异产生的分馏效应,约4‰; $b$ :Rubisco反应中由于羧化酶对<sup>12</sup>CO<sub>2</sub>的选择性而产生的分馏,约27‰; $r$ :CO<sub>2</sub>的扩散阻尼系数,它是大气边界层阻尼系数 $r_a$ ,气孔阻尼系数 $r_d$ ,以及叶肉细胞阻尼系数 $r_m$ 的总和; $A_p$ :植物同化碳素的净速

率;  $c_i$ : 细胞孔隙内  $CO_2$  的浓度;  $c_a$ : 大气  $CO_2$  的浓度。其中,  $A_p$  受到一系列环境因子的影响, 如光照、温度、水分、大气  $CO_2$  浓度、营养条件等。因此, 由方程(3)可见  $C_3$  植物的碳同位素组成, 既体现了植物本身生理过程所固有的性质, 又记载了环境因素的变化, 如大气  $CO_2$  浓度、大气  $CO_2$  碳同位素组成、环境湿度等。同样, 雪松树轮  $\delta^{13}C$  值在一定程度上也能反映出环境因素的变化。

### 3.2.2 南京雪松树轮 $\delta^{13}C$ 值与气候因子的数学关系

树轮稳定碳同位素研究, 主要集中于极端气候(如干旱、极冷)地区树木的研究<sup>[6]</sup>。而南京地区属于典型的季风气候, 为了探讨树轮稳定碳同位素对季风气候的响应, 本研究采用相关函数方法分析  $\delta^{13}C$  与各气候因子的关系, 以期建立季风气候区气候因子与树轮碳同位素之间的数学关系。

首先, 利用相关分析方法分析树轮碳同位素值与各气候因子的相关性, 气候因子包括各月的月平均气温、月平均降雨量以及每年的年平均气温、年平均降雨量共 26 个参数。分析得出: 树木年轮  $\delta^{13}C$  序列与 5~7 月的平均降雨量( $P_{5-7}$ )以及 5~9 月平均气温( $T_{5-9}$ )的相关系数分别为  $r = -0.7891$  ( $\alpha_{18} < 0.001$ ) 和  $r = 0.7884$  ( $\alpha_{18} < 0.001$ ), 呈显著相关<sup>[7]</sup>, 达到了用树轮碳同位素指标进行气候判识的要求。从而, 可再以  $\delta^{13}C$ 、 $P_{5-7}$  及  $T_{5-9}$  为参数, 进行回归分析, 得到以下回归方程。

树轮碳同位素  $\delta^{13}C$  与  $P_{5-7}$ 、 $T_{5-9}$  两个气候因子的回归方程为:

$$\delta^{13}C = -0.005 \times P_{5-7} + 0.365 \times T_{5-9} - 33.596$$

$$(r_2 = 0.7458, F = 22.01, T_{P_{5-7}} = -2.707, T_{T_{5-9}} = 2.695;)$$

$$r_2(3, 18)_{0.01} = 0.633, F(2, 15)_{0.01} = 5.09,$$

$$T(18)_{0.0125} = 2.445^{[7]}$$

5~7 月平均降水( $P_{5-7}$ )与树轮碳同位素  $\delta^{13}C$  值回归方程为:

$$P_{5-7} = -75.4\delta^{13}C - 1763.6$$

$$(r_2 = 0.6227, F = 26.41, T = -5.140;)$$

5~9 月平均气温( $T_{5-9}$ )与树轮  $\delta^{13}C$  的回归方程为:

$$T_{5-9} = 1.02\delta^{13}C + 50.4$$

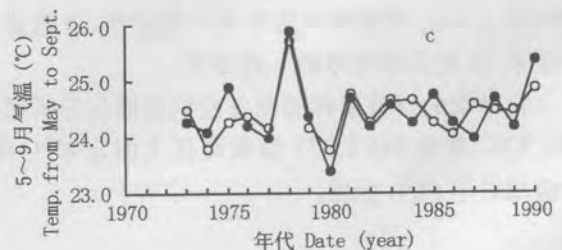
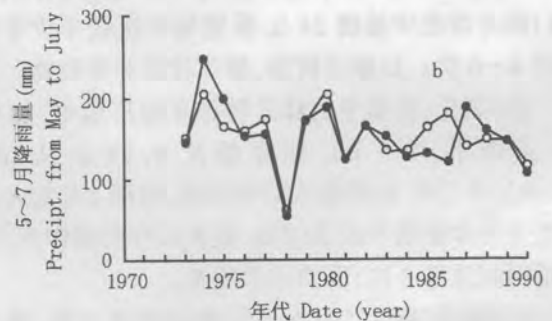
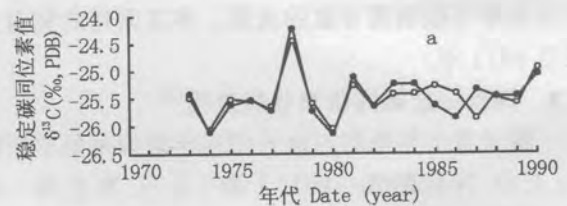
$$(r_2 = 0.6216, F = 26.28, T = 5.127;)$$

$$r_2(2, 18)_{0.01} = 0.561, F(1, 16)_{0.01} = 8.53,$$

$$T(18)_{0.0125} = 2.445^{[7]}$$

上述  $r_2$ (判定系数)、 $F$  统计检验表明: 两气候因子( $P_{5-7}$ 、 $T_{5-9}$ )与树轮  $\delta^{13}C$  值之间存在显著相关;  $T$  统计检验表明,  $P_{5-7}$ 、 $T_{5-9}$  参数对于树轮  $\delta^{13}C$  值都是显著变量。因此, 以上回归方程成立。

根据上述回归方程, 分别对南京地区稳定碳同位素值、5~7 月平均降雨量以及 5~9 月平均气温进行重建, 其重建结果与实测结果吻合较好, 结果见图 1。从图 1 可以看出, 重  $\delta^{13}C$  对应于 5~7 月的少雨和 5~9 月的高温, 轻  $\delta^{13}C$  对应于 5~7 月的多雨和 5~9 月的低温; 自 1983 年以后, 吻合不十分理



—●— 实测值 true values; —○— 重建值 calculated values  
a. 树轮  $\delta^{13}C$  tree-ring  $\delta^{13}C$ ; b. 平均降雨量 average precipitation;  
c. 平均气温 average temperature

图 1 南京地区雪松树轮  $\delta^{13}C$ 、5~7 月平均降雨量及 5~9 月平均气温的重建值与实测值序列

Fig. 1 The calculated values and the true values of the tree-ring  $\delta^{13}C$  of *Cedrus deodara*, average precipitation from May to July and average temperature from May to September

想,这可能是由于南京自80年代以来工业污染严重,引起大气CO<sub>2</sub>浓度及其碳同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 值异常变化造成的,这有待于进一步的研究。

#### 4 结论

南京地区的树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 与气候因子相关分析表明,南京地区雪松树轮近20年来稳定碳同位素值、5~7月平均降雨量以及5~9月平均气温之间呈显著相关,在一定程度上反映了东亚季风盛行区树木生长与水热组合的关系。本文的结果也表明,在季风盛行地区,树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 值不只是与单个气候因素有关,因此,树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 值的变化也不能仅以单个因素来解释,必须以多要素组合进行分析(如本文的降雨与气温两者的组合来阐述)。总之,树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 值与生长季节的降水和气温密切相关,可考虑作为季风盛行地区的气候指标。

**致谢:**气象资料由中国科学院南京地理与湖泊研究所姜彤副研究员提供,在此表示感谢。

#### 参考文献

- [1] Freyer H D, Belacy N.  $\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  records in northern hemispheric trees during the superpositions past 500 years: An anthropogenic impact and climatic[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1983, 88: 6844~6852.
- [2] Mazany T, Lerman J G, Long A. Carbon-13 in tree ring cellulose as an indicator of past climate[J]. *Nature*, 1980, 287: 432~435.
- [3] 吴祥定. 树木年轮与气候变化[M]. 北京:气象出版社, 1991. 1~369.
- [4] Green J W. Wood cellulose in carbohydrate chemistry[M]. New York: Academic Press, 1963. 9~12.
- [5] Farquher G D, Francey R J. On the relationship between carbon dioxide isotopic discrimination and the intercellular carbon dioxide concentration in leaves[J]. *Aus J Plant Physiol*, 1982, 9: 121~137.
- [6] Wang W, Li K. Precipitation fluctuation over semiarid region in Northern China and the relationship with ElNino/Southern Oscillation[J]. *Journal of Climate*, 1990, (3): 769~783.
- [7] 李春喜, 王文林. 生物统计学[M]. 北京:科学出版社, 1997. 240~241.

(责任编辑:惠红)

### 敬告读者

《植物资源与环境》自2000年第9卷第1期起更名为《植物资源与环境学报》,英文刊名 **Journal of Plant Resources and Environment** 已体现本刊的属性,未予更动。卷号连续。从本期起本刊同时改为大16开本印刷,定价:2000年每期每册4.00元,全年16.00元;2001年每期每册6.00元,全年24.00元。凡错过邮局征订时间者,可向编辑部邮购,每期每册另加邮寄包装费1.50元。

编辑部地址:南京中山门外,江苏省中国科学院植物研究所内,邮编:210014, Tel. (025)4432128-3203、4341672, Fax: (025)4432074, E-mail: JSSZZZZZ @ public 1. ptt. js. cn

《植物资源与环境学报》编辑部  
2000-01-09