文章编号:1000-2022(2001)03-0350-06

天目山柳杉树轮¹³C对华东地区降水序列的重建

吕 军', 屠其璞', 钱君龙2

(1. 南京气象学院环境科学系,南京 210044; 2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所,南京 210008)

摘 要:对采自天目山的柳杉树轮进行交叉定年后,得到树轮的¹³C年序列。将¹³C 年序列去除大气 CO₂的影响,保留其高频振荡部分。利用华东地区部分气象站的降 水资料,通过主成份分析,分析了降水与树轮¹³C之间的关系。考虑滞后效应,利用 回归方法重建了过去一百多年来的华东地区不同时段的降水序列,并分析其变化特 征。

关键词: 天目山,树木年轮,¹³C,降水

中图分类号: P468.024 文献标识码: A

树木年轮同位素研究,以其精确度高,连续性强及年轮对环境波动的敏感性强等优势,已成为树木年轮学中的前沿科学,并在国际上已取得重要进展^[1,2]。树木年轮¹³C对气候要素的响应是一个复杂的过程,而且不同地区,不同树种的年轮¹³C对气候要素的响应也不同^[3]。在诸多气候要素中,降水、气温是主要影响因子。其中降水的影响尤为重要,已有许多研究表明树轮碳同位素与降水之间有明显的关系^[4]。

天目山位于浙江省西北部, 在地理位置上属于我国长江下游地区。由于本区大部分地区地势比较平坦开阔, 没有东西走向的高大山脉横贯阻挡, 在一定的大气环流条件下, 冷暖空气均能长驱直入, 但在局部地理条件的影响下, 又有某些不同程度的改变, 因而各地的气候均有一定的相似性和各自的特殊性^[5]。其气候主要特征为湿润多雨, 其中, 春雨、梅雨和秋雨是长江下游地区多数年份所共有的多雨季节^[6]。所以在这个地区, 降水对树木的生长影响很大, 因而树轮碳同位素组成对降水也有着较强的响应。通过这种响应关系, 我们利用树轮¹³C 的变化来研究长江下游地区降水的变化情况。对于区域降水的研究, 主要采用主成份分析方法, 即通过选取本地区的部分气象站点, 对其降水资料进行主成份分析, 寻求¹³C 与区域降水之间的关系, 并重建该地区过去百年来的降水序列。

1 材料与方法

本研究选择了中国东部西天目山林区柳杉树种(Cryptomeria fortunei Hooibrenkex Otto et Dietr(CF)),文中树轮均指天目山柳杉树轮。CF-1树盘采自于西天目山狮子口地区(30 20

基金项目: 国家自然科学基金项目 49771001

第一作者简介: 吕 军, 男, 1974 年 5 月生, 硕士, 助工, 现在江苏省气象台工作.

´N, 119 26 ´E, 海拔 1 020 m)。样本收集方法按国际树轮数据库标准进行。通过交叉定年技术, 确定 CF-1 的树龄为 176 a(1822 ~ 1997 年)。

稳定碳同位素分析流程为: 覆盖整个年轮均匀地分别逐年雕刻采集木质样 2 g 左右。而 后, 样品在 70~80 干燥 3 昼夜, 磨至 30~60 目; 通过有机溶剂抽提, 去除全部类脂物质, 再 通过氯化作用和碱洗过程, 提取出 -纤维素。气体提取和质谱分析在南京大学地球科学系成 矿作用国家重点实验室完成: 提取出的 -纤维素与 CuO、Pt 丝在真空下密封于小石英管中高 温燃烧, 产生供质谱分析的 CO₂ 气体。最后, 将收集到的 CO₂ 在 MAT -252 型质谱仪上测得树 轮¹³C/ ¹²C 同位素比值, 并通过换算以 ¹³CPDB 表示(简写为 ¹³C), 单位为‰, 分析误差小于 0. 2 ‰,

2 大气 CO₂ 浓度的影响

CF-1 柳杉逐年年轮的¹³C的分析结果见图 1。根据有关报道^[2],自工业革命以来,大气 CO₂ 浓度持续升高,使其¹³C 值持续下降,这一下降趋势在树轮中也有着明显的反映。从图 1 可知,近一百年来,天目山树轮的¹³C 呈一定的下降趋势。因此,为了真实地体现树轮¹³C 中 所记录的气候要素变化,须去除上述大气中的 CO₂ 浓度对树轮¹³C 的影响^[7]。在此,用多项式 拟合法来去除这一长期下降趋势所造成的影响。将¹³C 序列进行二次多项式拟合,拟合方程 为

 $Y = -23.086 + 6.322 \times 10^{-3} X - 2.817 \times 10^{-5} X^{2}_{\circ}$ (1)

另外根据文献[8,9],可以得到实际大气中 CO₂ 浓度及其¹³C 值数据。将大气 CO₂ 中的 ¹³C 序列进行二次多项式拟合,结果发现拟合曲线与式(1)的拟合曲线基本重合。因此可以说 明树轮¹³C 序列拟合出的下降趋势基本包含了大气 CO₂ 浓度增加造成的影响。因此由树轮 ¹³C 序列减去(1)式拟合序列,可以得到¹³C 高频变化部分。本文称之为序列¹³C(简称)。 如图 2 所示, 序列在尽可能排除了大气 CO₂ 低频变化影响的情况下,保留了由气候变化引起 的所有¹³C 高频信息。











3 天目山地区气候与树轮 序列的关系

我们将地处采样点附近的天目山气象站的 1956 ~ 1996 年的各月平均降水资料分别与树 轮 序列求相关,其结果如表 1 中 r⁰,可以看出在 1 ~ 7 月份正相关占优势,而在 8 ~ 12 月份负 相关为主。考虑树木年轮的生长可能存在滞后效应,即当年的气候要素对以后几年的年轮生长 也会有影响,在此计算了当年各月降水与下一年的 序列间的相关,结果如表 1 中 r¹,可以看 出,天目山地区树轮 序列存在着较强的滞后效应。另外,计算表明,当年 序列和滞后一年 的 序列与天目山 1 ~ 7 月降水总和的相关系数分别为 0.35、0.61; 与 8 ~ 12 月降水总和的相 关系数分别为-0.31、-0.46。此外,经计算各月平均气温与 序列的相关系数普遍较小,说 明温度对树轮 序列的影响不显著。

表1 天目山地区各月降水与当年(r₀)及滞后一年(r₁) 序列的相关

Table 1 The correlation coefficients of the monthly precipitation

vith the	time series	at the same ye	$ar(r_0$) and succeeding year((r_1))
----------	-------------	----------------	----------	------------------------	---------	---

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
r ₀	0.37*	- 0.26	0.51*	- 0.27	- 0.09	0.28	0.35*	0.02	- 0.25	- 0.26	- 0.15	- 0.13
<i>r</i> ₁	0.45*	- 0.17	0.43*	0.08	- 0.03	0.51*	0. 39*	- 0.28	- 0.11	- 0.21	- 0.28	- 0.28

注:表中*表示通过信度 = 0.05的检验

综上所述降水对天目山树轮 序列的影响很明显,且有较强的滞后效应,其影响时间跨度长,且在不同的时期影响也不同。主要表现为树轮 序列与 1~7 月降水呈正相关,而与 8~ 12 月降水呈负相关。

4 树轮 序列与区域气候特征的相关

由上述可知, 天目山地区树轮 序列对降水的响应很明显。因此, 为了研究区域降水对树 轮 序列的影响特征, 我们以天目山为中心, 在其四周共选择了13个站点, 分别是蚌埠、南 京、合肥、上海、杭州、安庆、九江、宁波、衢州、温州、浦城、福州、和永安。其范围东西、南北长均 约600 km(26~32 N, 116~122 E), 覆盖了江苏、浙江、江西、安徽、福建5省的大部分地区。 在我国的行政区域划分上, 这些地区属于华东地区。因此在本文中将此区域特称为华东地区。 此外, 各站选用降水资料均为1951~1996年共46a。将上述各站中1~7月降水总和以及8~ 12月降水总和分别进行主成份分析, 研究其与树轮 序列间的关系。

4.1 1~7月降水

将上述 13 个站的 1~7 月降水总和矩平资料进行主成份分析, 计算结果表明, 第 1 主成份 方差贡献率为 51 %, 第 2 主成份方差贡献率为 22 %, 其余的不到 30 %。因此, 华东地区 1~ 7 月降水的主要特征由前两个主成份迭加就可基本给出。表 2 给出了第 1 主成份和第 2 主成 份荷载(荷载即为主成份与各站降水序列的相关系数: *aki*, *k* 为主成份数, *i* 为气象站点数)。其 中, 第 1 主成份荷载值都较大, 且在各站分布比较均匀, 它代表了 13 个站的共同特征, 也就是 整个地区的平均特征。第 2 主成份荷载数值普遍较小, 代表了各站之间的差异, 且偏北方的各 站为正值, 偏南方各站为负值, 表现了南北降水分布相反的特征。

在春季, 30 N 以南地区地面流场已具有夏季环流的特点,因此,在3,4月间经常潮湿多雨,且雨期长,范围广,基本遍及整个地区。到了夏季6月初,长江下游地区由于西太平洋副热

3期

表 2 华东地区 13 站 1~7 月降水主成份荷载

Table 2 The correlation coefficients between the Jan. ~ Jul. total

precipitation and principal component at 13 stations

	蚌埠	南京	合肥	上海	杭州	安庆	九江	宁波	衢州	温州	浦城	福州	永安
a_{1i}	0.23	0.43	0.55	0.59	0.84	0.77	0. 83	0.77	0.85	0.60	0.79	0.14	0.40
a_{2i}	0.71	0.74	0.61	0.50	0.22	0.47	0.30	- 0.16	- 0.29	- 0.49	- 0.50	- 0.64	- 0.63
r	0.22	0.15	0.22	0.37*	0.51*	0. 45*	0.36*	0.36*	0.35*	0.18	0.16	- 0.07	- 0.13

注: 表中* 表示通过信度 = 0.05 的检验

吕

带高压的北进,西风带逐步北移,雨带也随之北移。在6,7月间,当雨带维持在30 N以北地区时,该地区会有持续降水,即进入梅雨期,而30 N以南地区降水较少。当副热带高压的北跳较弱时,雨带维持在30 N以南地区,导致该地区持续降水,而北方则降水少。这样,由于副热带高压等因素的影响,引起雨带位置变化,形成了6,7月华东地区以30 N为界的南北降水分布形势相反的特征。因此,总的看来,华东地区1~7月降水第1主成份代表了整个地区的共同特征,而第2主成份代表了南北分布相反的特征。

经计算得当年 序列与第 1 主成份的相关系数为 0. 10, 滞后一年的 序列与第 1 主成份 相关为 0. 42, 其中滞后一年 序列与第 1 主成份的相关通过了信度为 0. 01 的统计检验, 表现 出较强的滞后效应。因此, 可以看出, 华东地区各个站点的 1 ~ 7 月降水有着基本一致的变化特 征, 因而使得天目山树轮 序列能够较好地反映整个地区降水的主要变化特征, 且有滞后效 应, 即当年的降水对下一年的树轮 序列有显著影响。此外, 表 2 的第 4 行给出树轮滞后一年

序列分别与 13 个站当年 1~7 月降水的相关系数, 其中大部分都大于 0. 30, 通过了信度为 0. 05 的统计检验, 进一步说明树轮 序列与华东地区各站的降水有着共同的特征。 4. 2 8~12 月降水

仍然选用前述 13 个站点,将其 8~12 月降水总和矩平资料进行主成份分析。计算结果表 明,第1主成份方差贡献率为 50 %,第2 主成份方差贡献率为 14 %。因此,华东地区 8~12 月 降水的主要特征由前两个主成份迭加就可基本给出。表 3 给出了第1主成份和第2主成份荷 载。其中,第1主成份荷载值都较大,且在各站分布比较均匀,它代表了 13 个站的共同特征,也 就是整个地区的平均特征。第2 主成份荷载数值普遍较小,且无明显规律可寻,代表了各站之 间的局地特征和随机差异。

表 3 华东地区 13 站 8~12 月降水主成份荷载

Table 3 The correlation coefficients between the Aug. ~Dec. total

precipitation	and	principal	component	at	13	stations
			000000000000000000000000000000000000000			

_														
		蚌埠	南京	合肥	上海	杭州	安庆	九江	宁波	衢州	温州	浦城	福州	永安
	a_{1i}	0.42	0.56	0.62	0.50	0.84	0.56	0. 58	0.72	0.77	0.83	0.51	0.57	0.55
	a_{2i}	- 0.12	- 0.32	- 0.30	- 0.17	- 0.13	- 0.47	- 0. 52	- 0.10	- 0.43	0.46	- 0.27	0.54	0.09
	r	- 0.22	- 0.18-	- 0.38*	- 0.22	- 0.37*	- 0.13	- 0.09	- 0.37*	- 0. 34* -	- 0. 41*	- 0.28	- 0.17-	- 0.38*

注:表中*表示通过信度 = 0.05的检验

在 8~12 月期间, 低层 25 N 以南的我国华东和沿海地区为一个范围十分宽广的反气旋 所控制。而高层长江下游地区在平直西风控制下, 加上华南上空是反气旋环流, 槽脊活动甚少, 常出现天高云淡,秋高气爽的气候状况。但是当冷空气南下时,整个地区会出现持续阴雨天气。 此外,当受台风影响时,也会出现全区降水。这种区域整体降水的特征在第1主成份中有很好 的反映。

经计算当年 序列与第 1 主成份的相关为-0.30,滞后一年的 序列与第 1 主成份相关 为-0.45,其中滞后一年 序列与第 1 主成份的相关通过了信度为 0.01 的统计检验。因此,可 以看出,天目山树轮 序列能够较好地反映整个地区 8~12 月降水的主要变化特征,并且有 明显滞后一年的特点。此外,表的第 4 行为滞后一年树轮 序列与 13 个站 8~12 月降水的相 关系数,其中有近半数大于-0.30,通过了信度为 0.05 的统计检验,进一步说明树轮 序列 与华东地区各站的降水有着共同的特征。

5 区域降水的重建

根据上述分析,利用各时段第1主成份与当年和滞后一年 序列之间的关系,我们可以 重建华东地区过去160 a 降水状况。重建过程采用多元回归方法,考虑当年和滞后一年 两个 因子,建立二元回归方程,重建降水第1主成份(回归方程中 *R* 为第1主成份, 1和 2分别为 当年及滞后一年的 ¹³C)。

(1) 1~7月降水的重建 重建 1~7月降水的回归方程为 R₁₋₇ = 38.41 - 360.18 +
699.7 2。式中,复相关系数为 0.47。图 3 显示了重建的 1~7月降水第 1 主成份(其中虚线为 实际值),由此可看出华东地区近 160 a 来 1~7月降水的变化状况,降水最高时期出现在 19 世纪后半段,20 世纪 20 年代;在 19 世纪40 年代及 20 世纪 50 至 70 年代较低,而自 1980 年后 开始逐渐增多,在 90 年代末达到最高值。



图 3 华东地区 1~7 月降水第1 主成份重建值

Fig. 3 The reconstructed data of the first principal component of Jan. ~Jul. total precipitation (2)8~12 月降水的重建 重建8~12 月降水的回归方程为R_{8~12} = - 48.2- 24.64 1- 319.8 2。式中,复相关系数为0.45。图4为重建结果(其中虚线为实际值),可知华东地区近160 a 来8~12 月降水的变化,其中19世纪中期是近百年来降水较多的时期,之后开始下降,在20世纪前期降水普遍较少,到70 年代又达另一高峰期,之后迅速下降,达历史最低值。





Fig. 4 The reconstructed data of the first principal component of Aug. ~ Dec. total precipitation

6 结 论

3期

天目山柳杉树轮的¹³C 序列有着与全球其他地区一致的下降趋势,去除主要受大气 CO₂ ¹³C 高频变化与降水有较为显著的关系。将华东地区部分气象站点的 影响的长期趋势后的 ¹³C 与 1~7 月降水总和第1 主成份呈正相关. 降水资料经主成份分析后,可知天目山树轮 与 8~12 月降水总和第 1 主成份呈负相关,且有比较明显的滞后效应。利用多元回归方法重建 了华东地区的1~7月及8~12月的降水第1主成份序列。结果表明、华东地区1~7月降水近 年来逐渐增多。而 8~12 月降水逐渐减少。

参考文献:

- [1] Robertson I, Switsur V R, Carter A, et al Signal strength and climate relationships in ¹³C/¹²C ratios of tree ring cellulose from oak in east England[J]. J Geophys Res, 1997, 102(D16): 507 ~ 516.
- [2] Freyer D, Belacy N. ¹³C/¹²C record in northern hemispheric tree during the past 500 years [J]. J Geophys Res, 1983, 88 (c11): 6844 ~ 6852.
- [3] Francey R J, Farquhar G D. An explanation of ¹³C/¹²C variations in tree rings[J]. Nature, 1982, 297(5): 28 ~ 31.
- [4] Lipp J, Trimborn P, Fritz P, et al. Stable isotopes in tree ring cellulose and climatic change[J]. Tellus, 1991, 43B(3): 322 ~ 330.

[5] 蒋德窿. 长江中下游气候 M]. 北京: 气象出版社, 1991.1~427.

- [6]天目山自然保护区管理局、天目山自然资源综合考察报告[M].杭州:浙江科学技术出版社, 1990. 39~54.
- [7] 刘 禹, 吴祥定, Leavitt SW, 等. 黄陵树木年轮稳定 C同位素与气候变化[J]. 中国科学(D辑), 1996, 26(2): 125~130.
- [8] Friedli H. Lotscher H. Oeschger. et al. Ice-core record of the ¹³C/¹²C ratio of atmospheric CO2 in the past two centuries [J]. Nature, 1986, 324(20): 237 ~ 238.
- [9] Keeling C D, Mook W M, Tans P. Recent trends in the ¹³C/¹²C ratio of atmosphere dioxide[J]. Nature, 1979, 277(11): 121 ~ 123.

RECONSTRUCTION OF PRECIPITATION SERIERS IN EAST CHINA BY ¹³C OF TREE RINGS

Jun¹, TU Oi-pu¹, OIAN Jun-long² L

(1. Department of Environmental Sciences, NIM, Nanjing 210044;

210008) 2. Nanjing Institute of Geography and Lake, The Chinese Academy of Sciences, Nanjing

Abstract: The ¹³C time series obtained from trees in the Tianmu Mountains of Zhejiang Province contain high-frequency variations and a long-term decrease trend . By removing the long-term decrease trend related to the ¹³C variation with atmospheric CO₂, it is found that the high-frequency variation is determined by the precipitation. Relation between the precipitation and the ¹³C is analysed using PCA in terms of precipitation data in east China. The multiple regression method is employed to reconstruct the historical precipitation in east China, with a view to analyze the climatic change of centuries and evolution trend. **Key words**: Tianmu Mountains; tree-rings; ¹³C; precipitation