

# 树木年轮资料的可靠性分析 ——以陕西华山松为例

吴祥定 邵雪梅

(中国科学院地理研究所, 北京 100101)

**提 要** 依据陕西华山的华山松树木年轮宽度、最大密度与最小密度年表, 以及对树木生长模拟结果, 本文分析了树木径向生长对气候因子(气温和降水)的响应状况。结果表明树木年轮生长的多种指标均能相互印证, 并具有生理学意义, 从而证实了它们作为气候变化的代用资料是可靠的。这不仅强调了树木年轮多途径分析的必要性, 而且为重建过去气候变化提供了依据。

**关键词** 树木年轮 气候 华山松

采用树木年轮分析, 获取过去气候与环境变化的代用资料, 是当今过去全球变化研究(PAGES)的重要技术途径之一。由于树木年轮生长明显受到环境因子中气候因子的制约, 定年准确, 分辨率高, 树轮指标值量测精确, 可以用来提取的气候与环境变化信息量较多, 可靠性也很高, 远比其他许多类型代用资料更为客观、可信。因此, 在国际树木年轮气候学学术会议的一份技术报告中<sup>[1]</sup>, 曾强调指出: “对地球上大部分地区各种气候要素变化有所响应的代用气候资料中, 树木年轮资料远比其他任何一种可以按年计量的代用资料更为可靠。”

随着树木年轮学理论的逐步完善和树木年轮分析技术日益提高, 在世界各地已采用树木年轮的宽度或密度变化建成数以千计的树木年轮年表, 其中不少被用来重建过去气候与环境变化。与此同时, 对树木年轮资料的可靠性分析亦成为人们关注的课题之一。除了传统的采用树木年轮年表与邻近气象台站观测资料进行“校准”与“验证”分析以外, 近来开展的树木年轮生长对气候响应的模拟研究, 亦是这种可靠性分析的途径之一。为深入探讨树木年轮结构及其对气候响应的机理, 使得采用树木年轮资料重建过去气候时, 真正具有生理学意义, 自本世纪 90 年代初以来, 美国、俄罗斯的树木年轮学家开始采用细胞尺度的模拟研究<sup>[2~4]</sup>。在我国, 亦开始了树木年轮模拟分析的初步尝试, 结果令人欣慰<sup>[5]</sup>。

为进一步对树木年轮资料的可靠性进行分析, 本文以陕西华山的华山松样本为例, 对其树轮宽度与密度年表, 以及模拟分析结果, 进行综合对比, 论证华山松树木生长对气候响应的敏感性与可靠性。

## 1 资料来源及分析

1990 年春,曾在秦岭东端的华山(34°29'N, 110°05'E),海拔高度为 1900~2050m 之间的东峰、西峰和南峰进行了树木年轮取样。树种为华山松(*Pinus samandii* Franch),标本数为 21 株树的 42 个钻芯样本。年代多为 300 年左右,最长达 450 年。

用作对比和校准分析的气象台站,为位于华山西峰,海拔 2060m 的华山气象站。它与取样点的距离仅数百米或千米。

在建立华山的树木年轮宽度年表时,采用了在半湿润地区建立新的树木年轮年表的方法,即除常规的标准化年表以外,还建立另外的自回归标准化年表和差值年表。分析了三种年表对气候要素的响应及差异,指出新的差值年表比常规的标准化年表含更多的气候变化信息,并更能代表树木总体的变化<sup>[6]</sup>。因而,在进一步的分析中则选用华山的差值年表为该地点的代表性序列。

通过响应函数、相关函数和其它分析表明,华山松径向生长对气温与降水有显著响应<sup>[7,8]</sup>。从华山松差值年表与华山气象站气候要素之间的相关函数计算结果来看(图 1a),树轮生长明显受 4 月份气温和 5、6 月份降水制约。至于 6 月气温的负作用,主要是由当月气温对土壤水分蒸发和树木蒸腾作用的正影响所致。响应函数与单年分析结果(图略)都大体与此相近,只是指出 7 月与 4 月降水亦为重要的影响因子。因此,可以认为华山松生长主要对 4~7 月降水及 4 月气温响应尤为敏感,特别是 5、6 月份降水通过土壤水分的影响,成为树木生长的主要限制因子。

对华山树木年轮样本作过密度的量测与分析,亦建立了年轮最大密度年表和最小密度年表<sup>[9]</sup>。类似于对三种宽度年表的分析,选用树轮密度的差值年表同样有利于消除样本群体中的非同步扰动,包括树木之间的生存竞争和人类活动对树木生长的影响,比常规的标准化年表所反映的气候因子信息要多些。

从华山松树轮最小密度年表对气候因子的相关函数来看(图 1b),达到 95% 置信范围的显著因子为 4 月和 6 月气温,5 月与 6 月降水。表明这 4 个因子是制约华山松早材密度大小的主要气候因子。

华山松树轮最大密度年表对气候要素的响应(图 1c),则表现出 4 月气温和 7 月降水为显著的因子。可见,制约树木年轮晚材密度大小的限制因子,既有与影响早材生长的因子一致的,如 4 月气温,又有与其不一致的,像降水状况。

对华山松树木生长模式分析,主要包括两部分,一是建立细胞大小年表,二是采用参数化模型进行模拟。在模拟生长过程中,着重考虑了温度生长响应、水分生长响应和日长生长响应<sup>[10]</sup>。结果表明,从细胞直径的变化趋势来看(图 2a、3a),模拟结果和实测值较为接近。其次,模拟结果中细胞大小变化的峰值分布也与实测值差异不大。除了某些特殊年份外,华山松生长的模拟是成功的。另外,从生长曲线变化(图 2b、3b)可以看出,水分限制生长响应( $V(W)$ )和温度限制生长响应( $V(T)$ )两者中,在同一时间越接近生长率曲线的,所起的作用越大。例如,在图 2b 中,150 天到 250 天,即 6 月份到 9 月中旬时段,水分限制生长曲线的值远比温度限制生长曲线的值要接近生长率曲线值,水分生长响应曲线与生长率的变化趋势是一致的。也就是说,这段时间里是水分起着限制生长的作用。

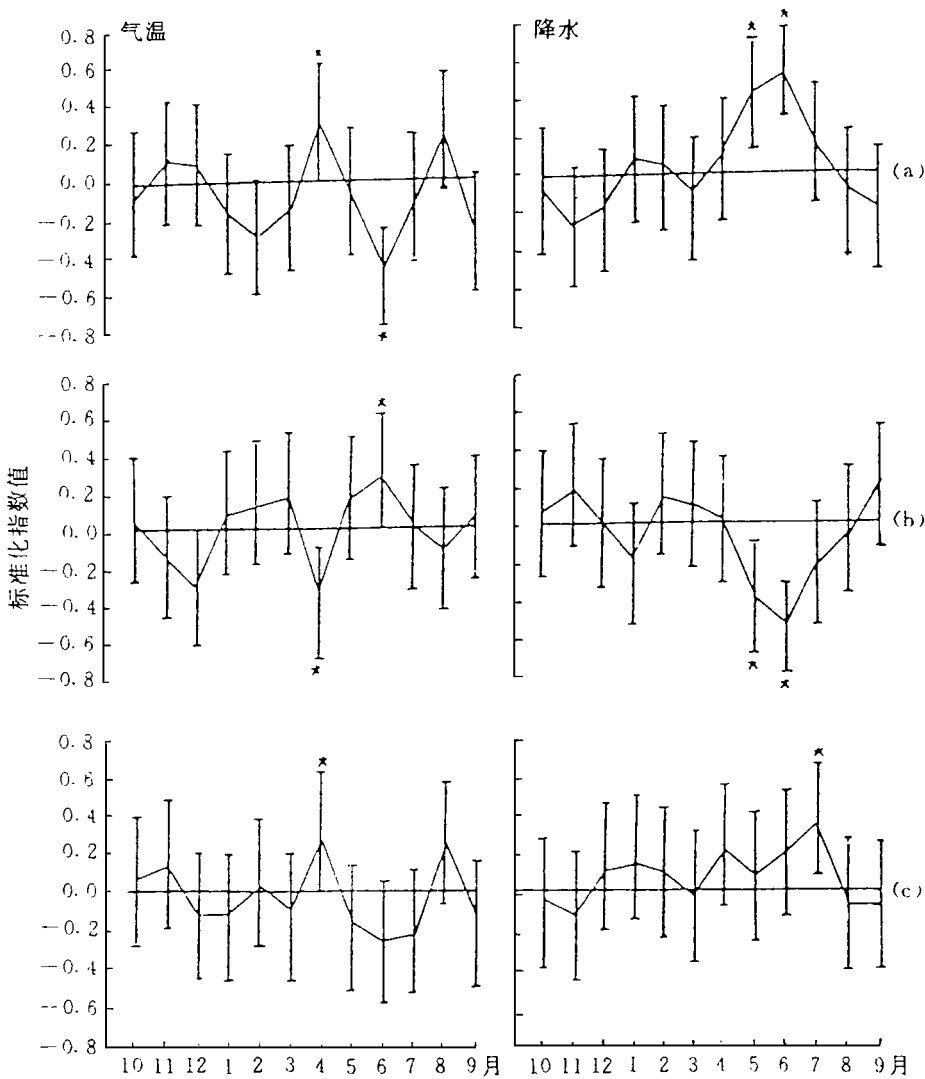


图 1 华山树木年轮年表相关函数值

a. 宽度 (RW)      b. 最小密度 (Min)      c. 最大密度 (Max)

而在 6 月份以前和 9 月中旬后, 温度生长响应值大都比水分生长响应值更接近生长率曲线值, 且温度生长响应曲线同生长率曲线的变化趋势一致。可见, 此时温度对生长起限制作用。在图 3b 中也有类似的结论。因此, 在生长的初期, 起限制作用的主要是温度, 而到了生长旺季则降水成为主要限制因子。这同采用细胞尺度建立的年表的响应函数计算分析结果是一致的。

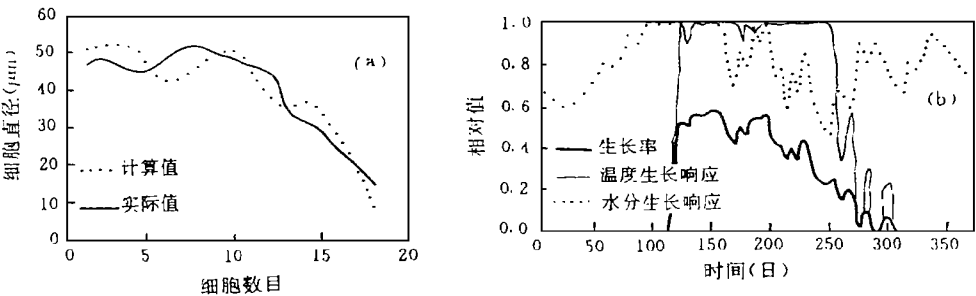


图 2 华山松 1967 年树木细胞生长模拟结果  
a. 细胞生长    b. 生长曲线

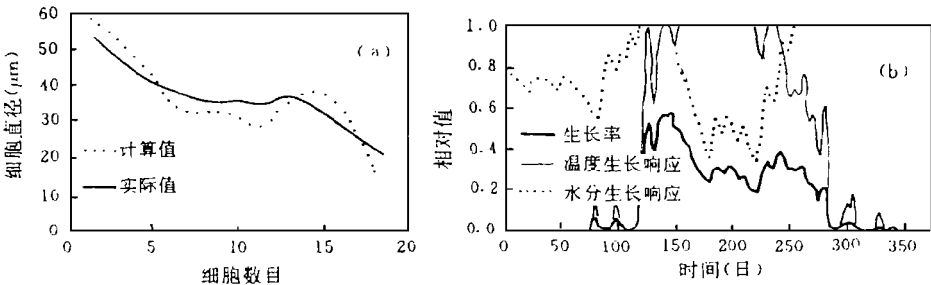


图 3 华山松 1968 年树木细胞生长模拟结果  
a. 细胞生长    b. 生长曲线

2 综合比较

对华山松树木年轮宽度年表 (RW)、最大密度年表 (Max) 和最小密度年表 (Min) 的响应函数计算结果表明, 相关函数平方项 ( $r_2$ ) 是以Max 年表为最大, 可达 0.655; RW 年表次之, 为 0.631; 而Min 年表仅 0.345。用作  $F$  检验的  $F$  值和表示信度水平的  $p$  值, 则以RW 年表为最佳, Min 年表最差。达到 95% 置信限的显著因子数在三个年表中分别为 9、8 和 10, 较为接近。这说明这三类年表所包含的气候信息量和所反映的限制因子不尽一致, 很可能是由于它们表征了华山松树木生长的不同特征, 即全年生长量、晚材密度和早材密度。

表 1 华山树木年轮年表响应函数统计特征量 (1954~ 1989)

年 表	$r_2$	$F$	$p$	显著因子		
				(降水)	(气温)	(总数)
RW	0.631	5.55	0.0004	4	5	9
Max	0.655	4.37	0.0017	4	4	8
Min	0.345	3.82	0.0130	5	5	10

应该强调的是, 树轮对于起限制作用的气候因子的响应, 往往在宽度年表和密度年表中均有所表现, 且较为稳定。象RW年表的相关函数中, 对降水显著响应的月份为5、6两个月, 对气温显著响应的月份为4、6两个月。在M<sub>in</sub>年表中, 对降水与气温显著响应的月份, 竟与RW年表完全一致, 仅响应符号相反(参阅图1)。这进一步证实, 华山松树轮宽度与早材密度受同样气候因子制约。实际上, 全年生长量的70~80%为早材, 因而它们的制约因子甚为一致是合理的。这对确认需要重建的气候因子, 建立更为可靠的重建模式, 无疑是有价值的。M<sub>ax</sub>年表与气候因子的相关函数分析表明, 同样也有对4月气温的显著响应。然而, 对5、6月降水的响应不十分显著, 却对7月降水的响应十分显著(图1c), 这与RW和M<sub>in</sub>年表有所差异。显然, 晚材主要受生长期后一阶段降水制约, 与前期降水关系较小也是合理的。这对于增加显著性因子, 获取更多月份降水量信息则是甚为必要的。可见, 华山松树木年轮宽度与密度变化, 均可以作为表征气候变化的代用资料, 有时它们可以相互印证, 有时则可以相互补充。这也说明树木年轮多途径分析是十分必要的。

依据华山松树木年轮对气候响应的模拟结果, 可以肯定在生长期华山松生长以降水为主要的氣候限制因子, 即4、5、6、7四个月的降水, 其中又以5、6、7三个月为最重要, 同时前一年的降水也对树木生长有一定影响。温度只是在生长季开始时的4月份起限制作用, 这是由于形成层细胞分化之初主要取决与温度状况。显然, 这与树轮宽度及密度分析结果是相当吻合的, 说明树木径向生长确与这些气候限制因子密切相关。

在细胞大小及生长趋势上, 对华山松生长模拟结果与实际值大体是一致的, 并充分体现了降水为主要限制因子作用。这不仅表明了树木年轮生长模拟的可靠程度, 即模式的生理学意义, 而且为确定重建过去气候的对象与时段, 提供了生理学意义的依据。同时也证实了树轮宽度和密度分析得到的统计结果。

总之, 由模式模拟的结果, 表明细胞结构与年轮宽度及密度分析所表征的树木生长对气候的响应, 尤其是对气温和降水的响应状况, 以及进一步用来确定重建气候变化因子的显著性, 都甚为吻合。

### 3 结论

基于上述分析, 大体可将华山松树木年轮的宽度、密度和模拟分析的结果综合归纳如下:

(1) 华山松树木年轮宽度与密度变化, 均可作为表征气候变化的代用资料。对于一些稳定的显著气候因子的响应, 有时是一致的, 有时则可以相互补充。

(2) 华山松树木年轮细胞结构、宽度及密度变化对气候的响应, 大体是一致的, 表明了华山松径向生长主要受4月气温和春末夏初降水制约。

(3) 树木年轮生长的多种指标均能相互印证, 并具有生理学意义, 证实了这些代用资料的可靠性。

总之, 本文以陕西华山松树木年轮的多途径分析, 进一步论证了树木年轮资料的可靠性, 为采用这些代用资料重建过去气候变化提供了依据。

## 参 考 文 献

- 1 Hughes, M. K. et al. *Climate from Tree Rings*, Cambridge University Press, Cambridge, 1982
- 2 Vaganov, E. A. The tracheidogram method in tree-ring analysis and its application. *Methods of Dendrochronology*, eds by E. Cook L. Kairiukstis, Reidel Press, Dordrecht, 1990, 63~ 76
- 3 Luxmoore, R. J., M. L. Tharp & D. C. West. Simulating the physiological basis of tree-ring responses to environmental changes. *Process Modeling of forest Growth Responses to environmental stress*, eds by R. X. Dixon et al., Timber Press, Oregon, 1990, 393~ 403
- 4 H. C. Fritts, E. A. Vaganov & I. V. Sviderskaya, A. V. Shashkin. Climatic variation and tree-ring structure in conifers: empirical and mechanistic models of tree-ring width, number of cells, cell size, cell-wall thickness and wood density. *Climate Research*, 1991, (1): 97~ 116
- 5 尹训钢, 吴祥定. 华山松树木年轮对气候响应的模拟分析. *应用气象学报*, 1995, 6(3): 270~ 280
- 6 邵雪梅, 吴祥定. 华山树木年轮年表的建立. *地理学报*, 1994, 49(2), 174~ 181.
- 7 邵雪梅, 吴祥定. 华山松横向生长与气候要素之间的关系. *中国博士后首届学术大会论文集(下册)*. 国防工业出版社, 1993, 1841~ 1844
- 8 Wu Xiangding. Tree-ring width chronologies and their response to climate in the Qinling Mountains, China. *TAO*, 1994, 5(3): 365~ 372
- 9 吴祥定, 邵雪梅. 中国秦岭地区树木年轮密度对气候响应的初步分析. *应用气象学报*, 1994, 5(2): 253~ 256

## 作 者 简 介

**吴祥定**, 男, 研究员, 原中国科学院地理研究所气候室主任。

## A STUDY ON THE RELIABILITY OF TREE-RING DATA ——AN EXAMPLE OF HUASHAN PINE FROM SHAANXI

**Wu Xiangding**

Shao Xuemei

(Institute of Geography, CAS, Beijing 100101)

### Abstract

Using tree-ring chronologies of width, maximum and minimum density for Huashan Pine from Huashan, Shaanxi, and the tree-growth model, the response of tree radial growth to climate factors (e.g., air temperature and precipitation) was studied. The results show that various growth indices can be confirmed by each other, which indicates that tree-ring indices are reliable proxy data for climate change study. This emphasizes that it is necessary to use various tree-ring data to perform study and provides a solid basis for climate reconstruction.

**Key words** Tree-rings, Climate, Huashan pine