

利用树木年轮资料重建新疆东天山 300 多年来 干旱日数的变化*

张志华

(国家气候中心,北京 100081)

吴祥定

(中国科学院地理研究所,北京 100101)

李骥

(国家气候中心,北京 100081)

提 要

采用东天山 6 个相邻地点的云杉年轮序列求得该区域平均树木年轮年表(1665~1988 年)。通过响应面函数的计算,发现树木生长对温度和降水有明显的非线性响应,表明用该年表序列重建单个温度要素存在一定片面性。利用森林干旱模式计算的树木生长期干旱日数,含有温度、降水、土壤性质等诸因子,且与年轮生长明显相关。进而利用树木年轮资料重建了该地区过去 300 年来干旱日数,与实际旱涝情况吻合较好。

关键词:年表;响应函数;干旱日数;气候重建。

引 言

70 年代以来,年轮气候学在我国发展迅速,其研究成果表明这门学科的巨大潜力和树木年轮资料的可靠性^[1~3]。同时应该指出,过去重建气候的过程中,在考虑树木生长对气候因素响应时,对要素间相互交叉影响的判别不够。为更有效、客观地进行气候重建,本文以新疆东天山米泉、阜康两地 6 个树木年轮序列为例,尝试以包含温度、降水两方面气候信息的干旱日数作为预报因子,来重建局地过去干旱期的变化。

1 资 料

采用米泉、阜康、木垒、吉木萨尔县的 6 个云杉年轮序列,分别标为 A、B、C、D、E、F。A、B 两点的资料,是 1990 年夏季中美新疆东天山树木年轮联合采样时采集的样本,在美国亚利桑那大学树木年轮实验室完成交叉定年、测量及建立标准化年轮序列。C、D、E、F

* 国家气象局科教司资助课题。

1994-07-12 收到,1995-03-14 收到修改稿。

年轮资料均取自《新疆年轮气候年轮水文研究》一书中的年表序列^[4]。6个采样点分别位于东天山北麓中段博格达山北坡或西北坡和天格尔山北坡,以及林带中部地区的迎风坡(图1)。土壤为灰褐色森林土。采样点属温带半湿润气候区。这里垂直地带性比较明显,海拔3000m以上以高山草原草甸和灌木为主,高山峰顶区域多为常年冰雪覆盖区,在海拔3000m以下至1500m左右为森林覆盖区,以云杉为主,部分地区存在落叶松,山脚以下大部分区域为农牧区。

样本采集地由于远离城镇和居民区,交通极不便利,树木受人类活动的影响甚少,仍为原始林,所取钻心样本的树木多是树龄较长,没有明显受损的立木,树高约15~25m,胸径一般在2.0m左右。6个年轮序列的概况见表1。

温度和降水取自东天山米泉、阜康两个气象站的常规观测资料。由于树轮资料只到1988年,因此气象资料亦取自有记录的1962年到1988年。气象站的位置与气候概况见表1下半部。

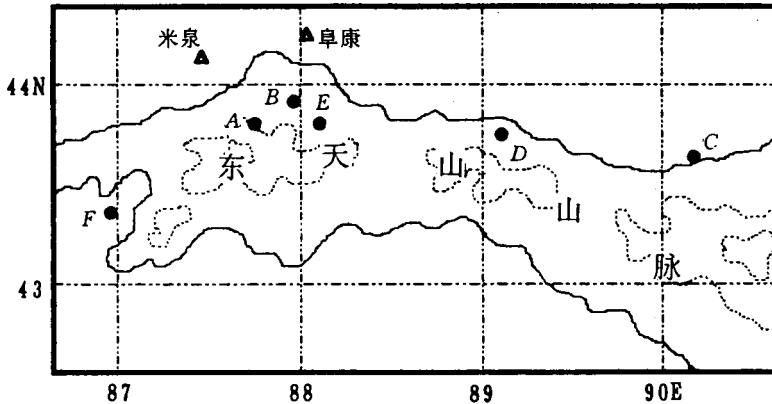


图1 树木年轮采样点及气象站位置示意图(●采样点,△气象站)

Fig. 1 Location of tree sites and weather stations in the eastern Tianshan Mts. (●tree sites, △ weather stations)

表1 东天山6个树轮年表和采样点附近气象站概况

Table 1 Characteristics of the tree-ring chronologies in the eastern Tianshan Mts. and climatic sampling stations

采样点	纬度(N)	经度(E)	高度(m)	树样数	年代长度	与总年轮序列的相关系数	
米泉 A	43°52'	87°52'	2300	13	1650~1988	0.78	
阜康 B	43°54'	87°59'	2500	15	1660~1988	0.82	
木垒 C	43°40'	90°20'	1980	19	1775~1977	0.74	
吉木萨尔 D	43°50'	89°07'	1985	4	1839~1977	0.67	
阜康 E	43°52'	88°07'	1950	13	1825~1977	0.71	
米泉 F	43°30'	86°59'	1700	6	1775~1977	0.68	
气象站	纬度(N)	经度(E)	高度(m)	年平均温度(C°)	年总降水量(mm)	年相对湿度(%)	年蒸发量(mm)
米泉	44°01'	87°36'	853	7.1	280	59	2030
阜康	44°15'	88°02'	739	7.3	310	56	3370

注:温度、降水、湿度、蒸发量均为1962~1988年平均。

2 树木生长对气候的响应

在利用轮宽资料重建过去气候之前,首先需了解气候因子对树木生长的影响.通常利用响应函数,来研究气候因子与树木生长之间的关系,响应函数分析是通过标准化气候资料的主分量分析,定量地表示所选各月的气温和降水分别对轮宽生长的贡献大小^[5],它所提供的信息是线性的,很难反映树木生长与气候因子之间的非线性关系,同时也无法反映它们之间的相互交叉影响.响应面函数^[6]则是将树木生长作为多个气候因子的多项式函数,它不仅包含有气候因子的线性关系,同时含有气候因子的幂次和因子间的乘积关系.因此可以认为响应面函数更为客观地表达了树木生长和气候因子之间的相互联系.本文利用响应面函数来分析树木生长期的温度和降水对东天山云杉生长的影响,其函数关系式可表达为:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 T_i + \beta_2 P_i + \beta_3 T_i^2 + \beta_4 P_i^2 + \beta_5 T_i P_i + \beta_6 T_i^3 + \beta_7 P_i^3 + \beta_8 T_i^2 P_i + \beta_9 T_i P_i^2 + \alpha_i$$

式中: Y_i 表示树木年轮宽度, T 、 P 分别代表该年生长期的平均温度和降水.

树木在满足一定的温度和湿度的情况下开始生长,作为生长初期的早材生长量在树木轮宽中所占的比例要高于晚材生长量,春夏两季早材生长期的温度和降水对每年的树木轮宽生长具有决定性的作用.因此本文选择最具敏感性的温度(4~7月)和降水(4~7月)两个气候因子与树木生长作响应面函数分析,以判断温度和降水在树木生长过程中的作用.

在以轮宽指数与气候因子作响应面函数分析时,首先须考虑气候上的一致性.在选择气象台站资料时,力求气象站点和采样点同属一个气候区,因此我们选择了距采样点最近的米泉、阜康两个县气象站资料.为了尽可能地减小局地地形地貌等因素的非一致性,采用了6个样点年表序列的平均作为主年表序列,以及米泉、阜康两站的平均气候因子,作为具有代表性的东天山树木年轮资料和气候资料,来作响应面函数的计算分析.

响应面函数的分布见图2. x 轴和 y 轴的值分别为标准化的降水(4~7月)和温度(4~7月). z 轴的响应面值则代表年轮指数对气候要素温度和降水的响应.从图2可以看出随着降水的增多,树木生长加速,这和树木对水分的要求是相一致的.当降水量低于一定值时,温度的高低和树木轮宽的生长呈现明显的负相关性,而且降水越少这种负相关性越显著.因此可以认为,在半干旱地区,云杉的生长对水分的要求非常敏感.在温度满足树木生长的情况下,温度对云杉生长的作用间接表现为温度升高,增加林区的蒸发量,降低森林的土壤含水量,从而抑制云杉的生长.这种影响在降水稀少的情况下更为明显.在降水适宜的情况下,温度对云杉生长的影响不明显,这表明树木本身对温度的正需求和温度的增高而导致森林土壤含水量的降低所产生的负影响,在某种情况下相互持平.当降水高于某一值时,随着温度的上升,树木的生长达到某一最高值,而后温度的升高对树木生长的影响不大,这显示出在降水比较充分的情况下,树木对温度的需要明显地表现出来.综合上述气候要素对树木生长的响应面分析,可以得出东天山云杉的生长明显受制于生长期的两个气候因子——温度和降水.而这两个气候因子,在某种程度上可以认为是通过对土壤含水量的制约,而影响树木的生长速度.这给我们一个启示,利用东天山树木年轮序列,

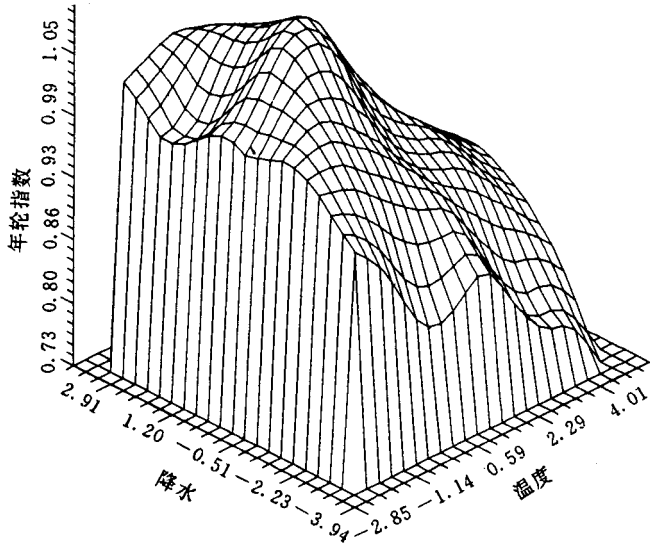


图2 轮宽指数对温度(4~7月)和降水(4~7月)响应面图

Fig. 2 Response surface related tree growth indices to temperature (April~July) and precipitation (April~July). Climate variables expressed in standardized units

来重建过去土壤湿度的变化,较单纯地重建温度和降水,在物理学上意义更为明确。

3 重建干旱日数

通过响应面函数的计算分析,我们认为东天山云杉并非与气候因子存在着简单的线性关系,而是受制于温度和降水的共同影响,这种影响可以理解为主要通过对土壤含水量的制约而形成的.这里引用国外一个森林干旱期模式^[7],针对东天山特定的土壤类别、地理位置、月平均温度和降水,计算东天山云杉林树木生长期的土壤干旱日数.由于东天山地处寒温带,前一年深秋至当年开春前的降水一般以积雪的形式贮存于森林中,很少以径流和蒸发的形式消耗.因此在模式计算时,假设初始的土壤湿度呈饱和状态.用 F 表示土壤最大持水量,依据采样地区的土壤和环境特点^[7],取 $F=30\text{cm}$,生长期间每月的土壤含水量通过当月的温度、降水和前几个月的温度、降水状况求得.主要方程式表示如下:

$$E(i) = 1.6 \times [10 \times (T(i)/B_i)]^4 \times C(i, \varphi)$$

$$P(i) = R(i) - E(i)$$

$$P_a(i) = \sum_{i=1}^i P(i)$$

$$W(i) = F \times \exp[(0.000464 - 1.10559/F) \times (-1 \times P_a(i))]$$

其中:

$$A_i = 0.00001 \times (0.675 \times B_i^3 - 77.1 \times B_i^2 + 17920 \times B_i + 492390) \cdot$$

$$B_i = \sum_{i=1}^i [0.2 \times T(i)^{1.514}] \quad (\text{当 } T(i) < 0 \text{ 时以 } 0 \text{ 计算})$$

式中: $C(i, \varphi)$ 为基于月和地理纬度的系数, $E(i)$ 、 $T(i)$ 、 $R(i)$ 和 $W(i)$ 分别表示第 i 月的蒸发量、温度、降水和土壤含水量, $P(i)$ 、 $P_a(i)$ 为第 i 月的土壤水分增量和累积土壤水分增量, A_i 和 B_i 均为温度系数。

根据东天山采样点的土壤性质以及云杉的生理学特点^[7], 本文选择 15cm 作为云杉生长凋萎点 D 。假设森林土壤湿度的变化是一个渐变过程, 当模式计算得出相邻两月的土壤湿度 ($W(i-1)$, $W(i)$) 均高于凋萎点 D , 则认为第 i 月没有干旱日数, 当模式计算的相邻两月土壤湿度均低于凋萎点 D , 则认为第 i 月的干旱日数 $M(i) = 30d$ (天), 如果相邻两月的土壤湿度分别高于和低于凋萎点 D , 则该月的干旱日数可用如下公式计算:

$$M(i) = 30 \times \frac{D - W(i)}{W(i-1) - W(i)} \quad (W(i-1) > D)$$

$$M(i) = 30 \times \frac{D - W(i-1)}{W(i) - W(i-1)} \quad (W(i) > D)$$

考虑到温度随高度而递减等因素, 本文以气象台站月平均温度高于 10°C 作为山区云杉树木生长期, 来计算该生长期内的干旱日数。计算的生长期(4~7月)干旱日数见图 3。图 3 表明, 新疆东天山云杉的生长期间, 每年大约有 2 个月左右的时间, 将由于土壤水分的匮乏而使生长受到抑制。

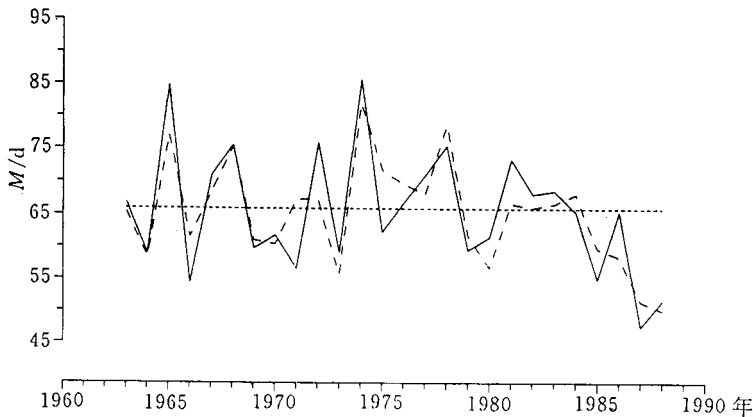


图 3 生长期干旱日数(实线)与预报值(虚线)的对比(横线为平均值)

Fig. 3 Growing season drought days calculated from drought model (solid line) and estimated from regression model (dashed line) (light line is mean value)

计算轮宽指数和干旱日数之间的相关系数, 发现二者之间存在着明显的负相关($r = -0.69$, 通过 $\alpha = 0.01$ 的信度检验)。这种关系的植物生理学解释是明显的, 土壤水分的不足阻碍树木根系对土壤养分的吸收, 抑制树木躯干养分物质的输送, 同时水分的供给不足, 制约树木细胞的活力, 从而影响树木形成层细胞分裂的速度, 使该年树木年轮生长减缓, 表现为较窄的年轮。

通过以上的计算和分析, 发现东天山云杉的年轮指数对生长期的干旱日数有明显的响应, 为选择干旱日数作为重建对象提供了理论依据。本文利用线性回归求取转移函数的方法, 获得重建生长期干旱日数的预报方程, 表达式如下:

$$Y = 110.29 - 45.40X$$

式中: Y 为干旱日数的预报值(图 3 中虚线值), X 为轮宽指数.

验证干旱日数重建可靠性的方法是取某一段时间的实测资料作为独立验证期, 用其余的实测资料作为校准期, 通过对实测数据和统计结果的比较分析, 来判断重建的可靠性. 本文考虑到实测资料仅 26 年(1963 ~ 1988 年), 用传统的验证手段可能增加统计上的不稳定性. 因此采用逐年剔除法进行校准, 即依次选用 1963 ~ 1988 年中任一年的资料作为独立验证数据, 而其余 25 年的资料作为校准数据的方法, 经过 25 次的循环计算发现, 干旱日数的实际值和预报值的趋势和数值都较相符.

缩减误差 RE 是普遍用于验证重建精确性的一个统计量^[1], 其表达式如下:

$$RE = 1.0 - \frac{\sum_{i=1}^N (\hat{Y}_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^N Y_i^2}$$

式中: Y_i 和 \hat{Y}_i 分别是观测值和估计值与非独立资料平均的偏差. RE 的值在 0 和 1 之间, 一般认为 $RE \geq 0.3$ 为通过验证, 计算的 RE 值为 0.41, 大于 0.3, 亦证实了重建的结果是合理可靠的.

图 4 为重建的生长期(4 ~ 7 月)干旱日数序列(1665 ~ 1988 年), 为了进一步验证重建的可靠性, 对照取样点附近的旱涝史料进行比较分析^[8]. 取距重建地较近的乌鲁木齐和哈密的旱涝等级资料, 将有资料记载的年份(1941 ~ 1962 年)来作比较, 发现旱涝分布和重建的干旱日数较吻合的年份有: 1941, 1942, 1943, 1944, 1945, 1946, 1947, 1951, 1952, 1953, 1954, 1955, 1956, 1957, 1959, 1960, 吻合率占 73%. 土壤干旱日数是综合温度和降水两者共同影响的计算结果, 单就干旱指数与其比较带有一定的片面性, 但作为佐证资料具有一定的说明意义. 综上所述, 我们认为用东天山云杉年轮资料重建树木生长期的干旱指数是合理可靠的.

进一步分析过去干旱日数的变化情况, 我们引用低通滤波手段, 滤去干旱日数序列的高频变化, 结果见图 5. 从图中可看出近 60 年干旱日数的变化幅度较之过去要小, 但频数增加. 就平均值而言, 20 世纪初至今 4 ~ 7 月干旱日数的平均值, 较之过去大约多出 4d 左右, 这可能是由于本世纪气温普遍升高, 从而增强土壤的蒸发力所致. 通过对图 5 的分析, 可明显地划分出干旱日数相对较多的时期, 它们是 1666 ~ 1681 年, 1710 ~ 1734 年, 1752

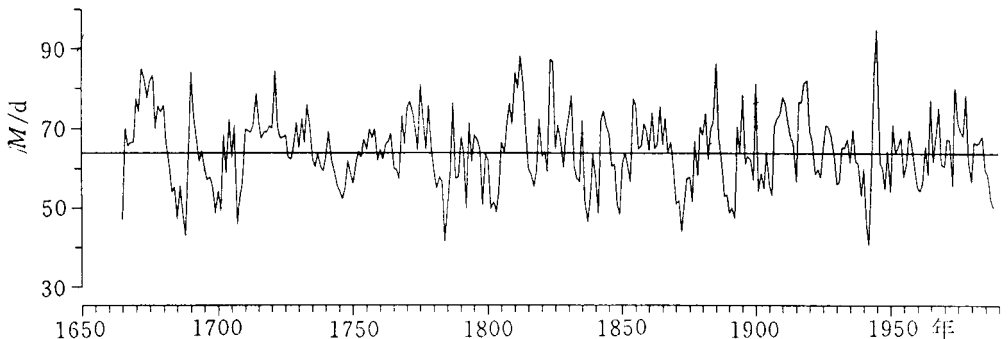


图 4 东天山树木生长期干旱日数的重建值

Fig. 4 Reconstructed yearly growing season drought days in the eastern Tianshan Mts.

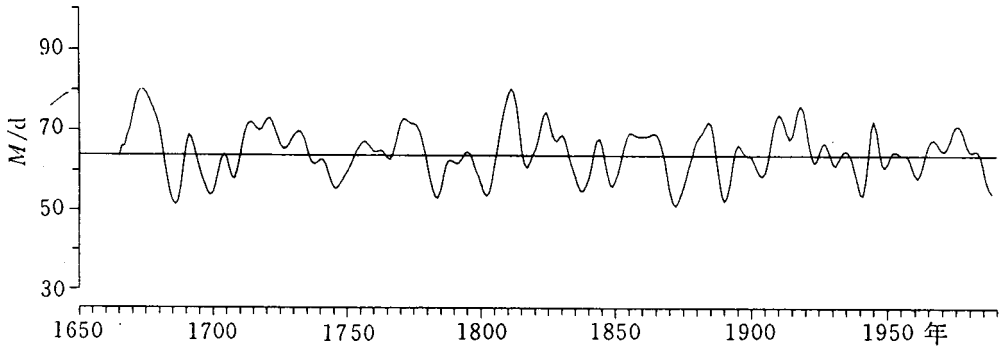


图 5 东天山树木生长期干旱日数的低通滤波值

Fig. 5 Values of low pass filtered for the growing season drought days in the eastern Tianshan Mts. ~1779 年, 1805~1835 年, 1854~1868 年, 1877~1886 年, 1907~1921 年. 干旱日数相对较少的时期是 1682~1709 年, 1735~1751 年, 1780~1804 年.

4 结 论

通过响应面函数计算, 发现东天山云杉年轮生长, 明显受制于气温和降水的共同影响, 降水表现为正响应, 温度表现为负响应. 引用森林土壤干旱期模式求得的土壤干旱日数, 包含温度和降水两个基本因子, 为选择树木生长期的土壤干旱日数作为重建对象, 提供了理论依据. 线性回归统计结果表明, 东天山树木生长期的土壤干旱日数与云杉年轮序列在校准期内有良好的负对应关系. 通过对照历史文献记载的年旱涝等级资料, 发现重建的干旱日数与过去的旱涝情况吻合较好. 因此我们认为, 用轮宽指数重建过去生长期的干旱日数是合理的. 重建的结果表明, 新疆东天山树木生长期(4~7 月)的干旱日数历史上出现过比较明显的多寡期, 近 60 年的变化幅度小于过去. 从 20 世纪初至今, 平均干旱日数较之过去大约高出 4d 左右.

参 考 文 献

- 1 吴祥定, 孙力, 程志刚. 树木年轮与气候变化. 北京: 气象出版社, 1990.
- 2 张志华, 吴祥定. 采用青海两个树木年轮年表重建局地过去降水的初步分析. 应用气象学报, 1992, 3(1): 61~69.
- 3 Wu Xiangding, Cheng Zhigang and Sun Li. Status of dendrochronologies work in China. *Dendrochronologia*, 1987, 5: 123~133.
- 4 李江风, 袁玉江, 王承义. 新疆年轮气候年轮水文研究. 北京: 气象出版社, 1989.
- 5 Guiet J, et al. Response function in climate from tree-rings. Cambridge University Press, 1982, 38~50.
- 6 Graumlich L J and Brubaker L B. Reconstruction of annual temperature (1590~1979) for Longmire Washington, derived from tree-ring. *Quaternary Research*. 1986, 25: 223~234.
- 7 Brinkmann W A R. Growing season length as an indicator of climatic variations. *Climatic Change*, 1979, 2: 127~138.
- 8 中央气象局气象科学研究所. 中国近五百年旱涝分布图集. 北京: 地图出版社, 1980.

UTILIZING TREE RING CHRONOLOGIES TO RECONSTRUCT 300-YEAR DROUGHT DAYS IN EASTERN TIANSHAN MOUNTAINS

Zhang Zhihua

(National Climate Center, Beijing 100081)

Wu Xiangding

(Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101)

Li Ji

(National Climate Center, Beijing 100081)

Abstract

The major local tree ring chronology (1665~1989) in the Eastern Tianshan Mts was obtained by averaging 6 tree ring chronologies. The response surfaces of tree ring to climate indicate that growth of spruce in the Eastern Tianshan Mts is nonlinear correlated with precipitation and temperature. This interaction makes it unreasonable to reconstruct either precipitation or temperature, separately, using regression methods. Drought days during tree growth season were estimated from regression model including both temperature and precipitation which would influence tree-ring growth. The relationship between tree ring and drought days is significant. As a result, the local past drought days back to 1665 A. D. at Miquan and Fukang, Eastern Tianshan, were reconstructed based on spruce tree-ring chronologies. The results are coincided with the actual situation.

Key words: Tree ring chronology; Response surface; Drought days; Climate reconstruction.