

用树轮密度及宽度资料重建新疆 吉木萨尔县的季节降水和最高温度*

张志华 李 骥

(国家气候中心开放实验室, 北京, 100081)

Lisa J. Graumlich Paul R. Sheppard

(Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson, AZ 85721, USA)

摘 要

依据新疆吉木萨尔县天山云杉树木年轮宽度、最大密度和最小密度标准化年表, 讨论了晚材宽度、最大密度和最小密度, 与月平均最高温度和降水的响应函数基本特征, 采用逐步回归方法, 确定了利用晚材宽度指数、最大密度指数和最小密度指数重建该地6~9月份降水, 以及利用最大密度指数和最小密度指数重建该地4~9月份平均最高温度。重建结果可靠且与实际情况较为一致。分析发现, 该地区在过去150年中, 月平均最高温度和降水有明显的阶段性变化。

关键词: 吉木萨尔, 年轮密度, 年轮宽度, 响应函数, 气候重建。

1 引 言

利用树木年轮资料获取过去气候与环境的变化, 是当今过去全球变化研究(PAGES)的重要技术途径之一。树木年轮生长明显受环境要素中气候因子的制约, 且定年准确, 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多, 可靠性高。比其它类型的代用资料更为客观, 可信。1970年代以来, 年轮气候学在中国发展迅速, 大量的研究成果表明这门学科在气候研究中的巨大潜力^[1~6]。采用树木年轮密度资料研究过去气候变化, 国外已开展多年^[7, 8]。由于实验手段和技术设备的限制, 树木年轮密度研究工作在中国鲜有报导。文中则以新疆吉木萨尔县的天山云杉为例, 分析树轮密度和宽度与气象要素之间的关系, 进而重建该地区过去气候的变化。

2 资 料

树木年轮样本于1990年7月采集于新疆东天山北麓中段阴坡, 距吉木萨尔县城东南约30 km, 取样点在林带的中上部地区(1950~2350 m), 森林郁密度为0.8左右, 土壤为灰褐色森林土。那里垂直地带性比较明显, 海拔3000 m以上以高山草原草甸和灌木为主, 高山

* 初稿时间: 1996年7月29日; 修改稿时间: 1996年9月10日。

资助课题: 国家气象局科教司资助课题。

峰顶区域多为常年冰雪覆盖,海拔3000 m 以下至1500 m 左右为森林覆盖区,以天山云杉为主,部分地区存在落叶松,山脚以下大部分区域为农牧区。采样点交通不便,树木受人类活动影响甚少,仍为原始林。所取钻芯样本的树木多是树龄较长,没有明显受损的立木,树高为15 ~ 25 m,胸径在1.8 m 左右。

树轮样本在美国亚利桑那大学完成预处理、交叉定年、切片、X-光密度测量和年表研制等工作,其过程如下:依据树木年轮分析的基本程序^[9],首先对钻芯样本进行预处理和初步定年,尤其注重采用示意图方法,将各类窄轮列出,对各个样本之间的定年进行相互比较,查出可能存在的伪年轮和遗失年轮,继之是进行轮宽测量,并运用计算机程序 COFECHA 对交叉定年检验^[10]。该程序既可以检查交叉定年和测量有无明显错误,又可以判断各个序列与主序列之间的差异大小,为正确选用每个序列进入最终年表提供依据。选择树轮纹路清晰,有代表性的样本,进行切片,切片厚度在1 mm 左右,切片样本进行 X-光拍片,X-光片送入密度测量系统读数,得出每个样本的最小密度、最大密度、早材宽度和晚材宽度和轮宽数据。图1为 X-光片测量结果示意图,图的上部为树轮切片,下部为对应的密度和宽度值。

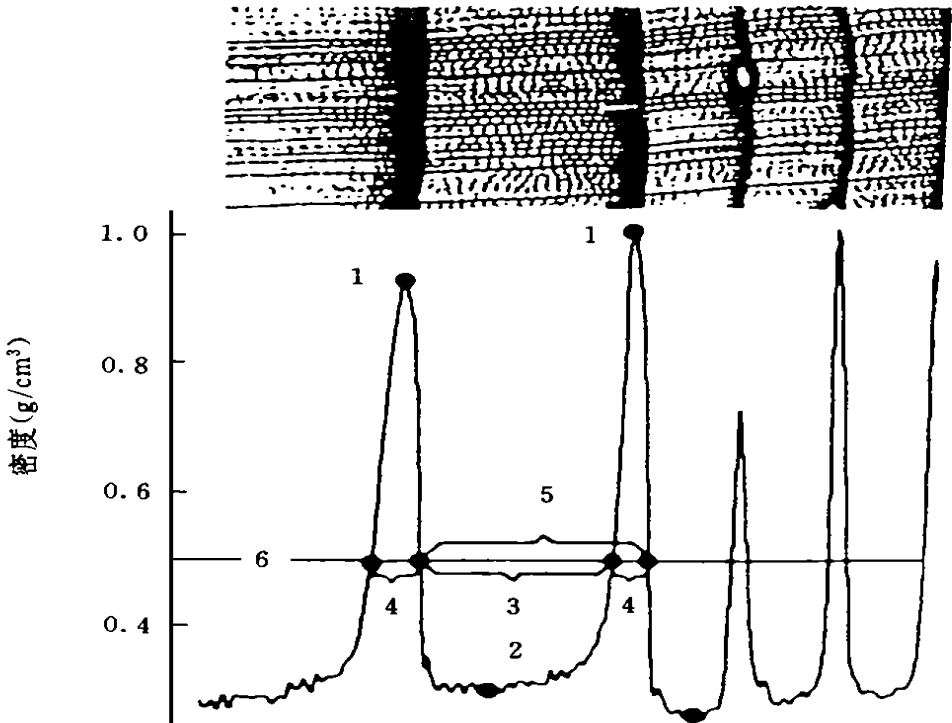


图1 吉木萨尔天山云杉树轮 X-光密度测量示意图

(1:最大密度;2:最小密度;3:早材宽度;4:晚材宽度;5:整年轮宽;6:早晚材横取线。)

为了去掉树木自身生长趋势,并将树木群体之间非一致性扰动滤掉,依据树木生理生长的不同情况,对不同样本选择性地采用负指数曲线和步长为30 ~ 60a 的样条函数,对密度和宽度的各个样本序列进行拟合订正。采用 ARSTAN 程序^[11]建立了吉木萨尔天山云

杉的最终密度和宽度年表, 该程序的优点在于, 去掉树木个体特有的和由前期生理条件对后期生长造成的持续性影响, 并可估计取样点树木群体所共有的持续性造成的生长量。这在美国东部的树木年轮分析时, 已被较多采用。近来在中国的不同地区亦尝试采用此方法建立年表, 效果较好^[4-6]。吉木萨尔树轮密度和宽度标准化年表序列如图2所示, 其有关信息见表1。其中 *TD* 表示轮宽年表序列, *TLD* 表示晚材宽度年表序列, *TED* 表示早材宽度年表序列, *MXD* 表示最大密度年表序列, *MID* 表示最小密度年表序列, *m* 为年表指数平均值, *SD* 为标准差。

表1 吉木萨尔天山云杉树轮宽度和密度年表信息

年表	<i>m</i>	<i>SD</i>	互 相 关 系 数					样本数	年 代
			<i>TD</i>	<i>TLD</i>	<i>TED</i>	<i>MXD</i>	<i>MID</i>		
<i>TD</i>	1.0662	0.192	1	0.64	0.91	0.46	-0.45	31	1840~1989
<i>TLD</i>	1.0007	0.126		1	0.52	0.35	-0.15	19	1840~1989
<i>TED</i>	1.0050	0.199			1	0.48	-0.50	19	1840~1989
<i>MXD</i>	0.9995	0.059				1	-0.06	19	1840~1989
<i>MID</i>	0.9993	0.042					1	19	1840~1989

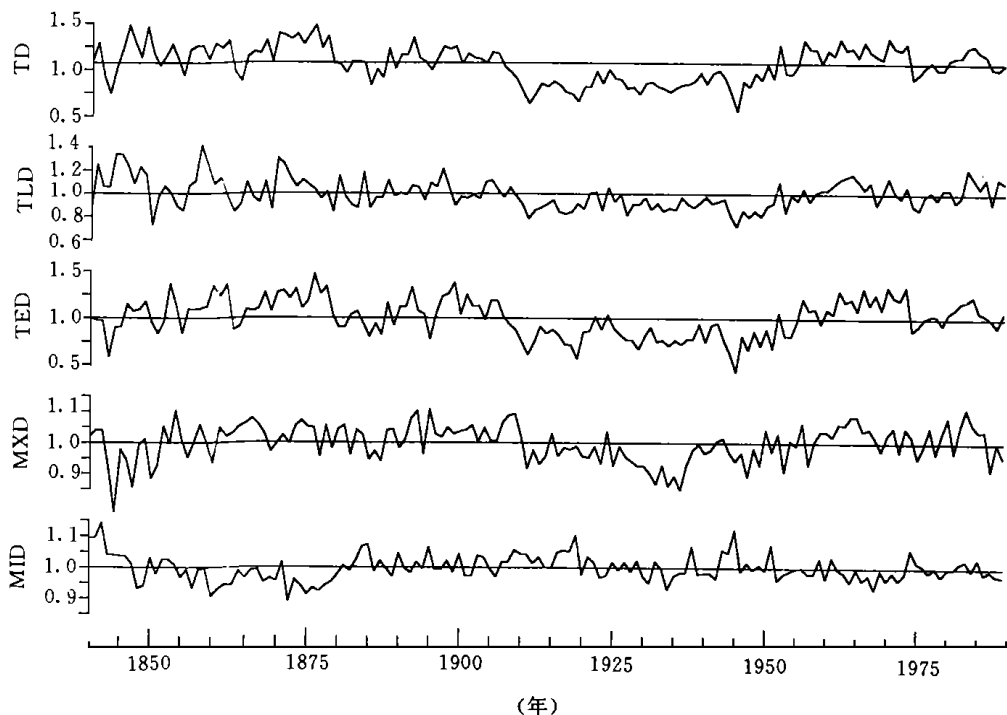


图2 吉木萨尔天山云杉树轮宽度和密度年表序列

3 树轮密度、宽度对气候的响应

树木生长受到环境因子, 特别是气候因子的制约, 气候因子对树木生长贡献的大小,

一般通过响应函数的计算获得,该方法要优于简单相关和逐步多元回归,简单相关分析不能独立确定气候因子的贡献大小,而逐步多元回归则有可能破坏气候因子的连续性,响应函数是通过对标准化气候资料的主分量分析,定量地表示出所选各月的气候因子对树轮生长的贡献值,某种程度上克服了上述两种方法的缺陷。

在以树轮指数与气候因子求取响应函数时,首先须考虑气候上的一致性,因此选择气候资料时,力求气象站点和采样点同属一气候区,且距离较近。综上因素,文中选取距采样点最近的吉木萨尔县气象站(44°01'N, 89°10'E, 734.9 m)的观测资料,同树轮指数作响应函数分析。该站气候资料的均一性及有无随机趋势变化等已用双重量分析法(Double-mass analysis)^[12]进行过检验,证明可靠且有代表性。吉木萨尔地区的气候基本情况如表2所示。

表2 吉木萨尔县气象站气候信息(1961~1989年平均)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
温度()	-15.4	-13.0	-1.2	10.7	18.1	22.8	24.9	23.4	17.1	7.6	-3.0	-12.4	6.6
标准差	2.41	3.23	3.05	1.80	1.67	1.18	1.13	0.97	1.39	1.53	2.79	3.50	
最高温度()	-8.8	-6.4	4.5	17.7	25.1	29.3	31.4	30.3	24.2	14.7	2.5	-6.8	13.4
标准差	2.49	3.31	3.22	1.84	1.51	1.16	1.16	1.03	1.44	1.72	2.79	3.09	
最低温度()	-20.7	-18.5	-6.1	4.4	11.3	16.2	18.4	16.8	10.9	2.5	-7.1	-17.0	0.9
标准差	2.60	3.43	3.00	1.76	1.64	1.00	1.10	1.00	1.40	1.46	2.89	3.91	
降水(mm)	4.3	5.7	8.6	17.3	17.3	25.1	21.6	17.5	20.9	15.3	10.1	6.9	170.6
标准差	3.35	4.42	7.21	11.66	13.48	18.35	18.45	14.62	15.94	7.29	6.61	4.82	

该站年平均气温为6.6,每年平均有5个月的气温在0以下,1月平均气温为-15.4,7月为24.9,平均最高温度出现在7月为31.4,平均最低温度出现在1月为-20.7,年平均降水量为170.6 mm,6~9月份的降水占总降水量的50%。

考虑到文中重建气候的因子,这里选择1961~1989年的月平均最高温度和降水量,同最大密度指数、最小密度指数以及晚材宽度指数做响应函数分析^[13]。由于同树轮资料对应的气象资料仅29a,为了减小计算的不稳定性,文中选取当年1~9月的平均最高温度和降水,共18个因子计算响应函数值,其响应函数特征见表3和图3。

表3 树轮密度、宽度响应函数信息

年表种类	气候解释 方差(%)	F 值	显著气候因子数			总因子数
			最高温度	降水	合计	
晚材宽度	38.2	3.8	2	2	4	18
最大密度	58.2	5.3	7	4	11	18
最小密度	54.4	4.3	2	4	6	18

图3中打星号的月份为响应函数值超过95%的信度检验。计算结果显示出最大密度值对气候的响应最大,其气候解释方差达58.2%,晚材宽度对气候的响应相对较小,其气候解释方差为38.2%。

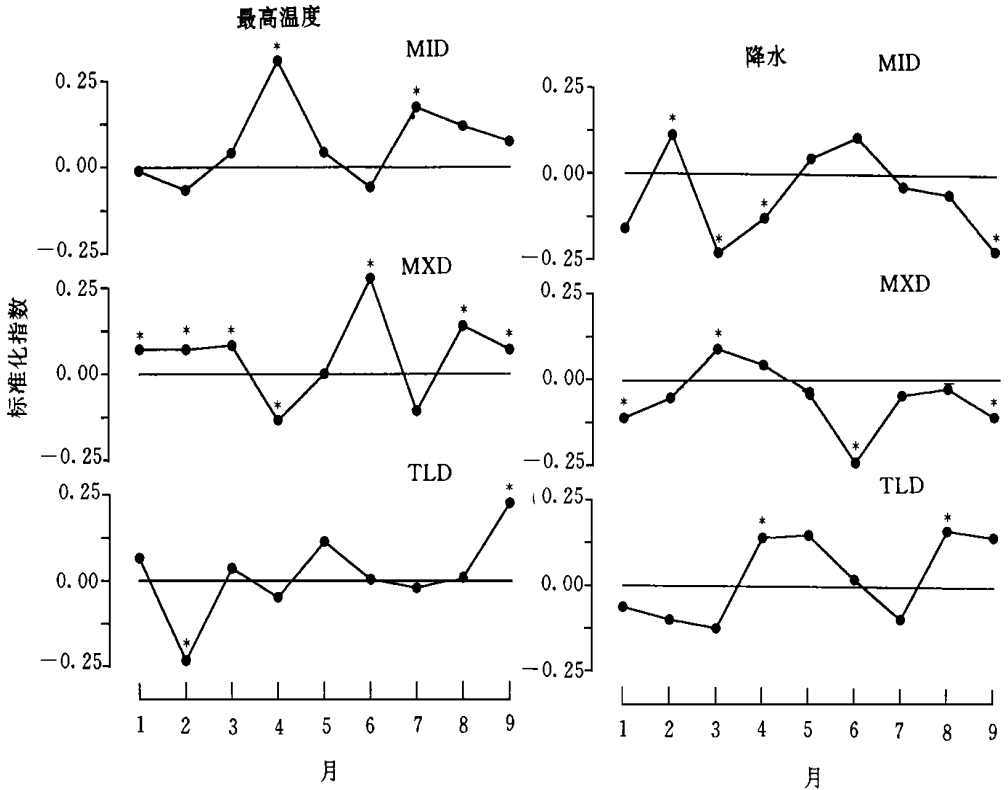


图3 吉木萨尔树轮年表响应函数

在具体分析树木生长的主要限制因子时,依据树木生长和气候因子的生理学关系,辅以响应函数的计算结果来判断。从表1可见,该地的年降水量很少(仅170 mm),且年际间的变化很大,而土壤中的水份对树木生长起到关键性的控制作用。因此,该地树木的生长受降水的影响较大,从响应函数的分析结果(图3)同样可以看到这一特点。当初春季节(3~4月)的月平均最高温度较低时,由于降水量和温度的负相关特性,降水量相对较多,从而能够使树木得到较多的水份补给和积累,对早材的生长较为有利。即降水较多时,土壤中水份含量相应地加大,细胞的分裂和伸长过程能够得到较为充分的水份供应,导致细胞个体加大,细胞壁厚度相对较薄,从而易形成较低的木质密度。随着时间的推移,这种关系逐渐减弱,但依然可以持续到当年的5月份前后。4,5月份的降水量多少也同样会通过土壤中水份的积累过程,而影响到晚材的生长。虽然从6月份开始,该地的降水有较为明显的增多,但依然不能完全满足树木生长的需要,树木依旧处于一种“缺水”的状态。从响应函数分析结果可以看出,当6月份平均最高温度偏高时,降水相应会有所减少,而使对树木生长产生不利影响,树木叶片的光合作用受到抑制,根系活动相对减弱,同时树木本身细胞的分裂和伸长减弱,尤其是缺水较为严重时,细胞脱水,细胞壁收缩,导致晚材密度进一步加大。7月份,该地月平均降水量相对较多,气温和降水对树木生长产生综合作用。当降水次数较多时,月平均气温偏低,同时由于光照暗淡,树木生长的光合作用同样会受到抑制,光合速率下降,细胞生长缓慢,个体变小,细胞壁加厚,从而使树轮的密度相对加大。8月份降

水量相对较少,从而降水对树木生长的控制作用加大,当降水偏低时,温度相对偏高,树轮生长速率降低,而使树轮晚材密度值相对加大,易形成较高的最大密度值,同时树木生长慢,导致晚材宽度较窄。这种状态一般可以持续到树木生长期的末尾阶段。

4 重建气候

通过响应函数的计算分析,发现吉木萨尔地区的树轮生长,与月平均最高气温和降水之间关系密切。可以这样认为,树轮生长过程中受到环境因子,尤其是气候因子的影响,树轮密度和宽度指数可以表达为气候因子温度和降水的函数。同样,温度和降水亦可表达为树轮密度和降水的函数如下:

$$T = G1(TD, TLD, TED, MID, MXD) \quad (1)$$

$$P = G2(TD, TLD, TED, MID, MXD) \quad (2)$$

表明温度和降水值可以通过树轮指数的变化来推算。为了更精确客观地确定气候重建因子,作者采用逐步回归方法,将树轮密度和宽度指数作为自变量,不同季节的气候要素作为应变量,求取逐步回归方程。经过筛选判定;利用晚材宽度指数(TLD)、最大密度指数(MXD)和最小密度指数(MID)来重建6~9月份的降水量($P69$),利用最大密度指数(MXD)和最小密度指数(MID)来重建4~9月份的平均最高温度($HT49$),效果最佳。

重建方程表达如下:

$$P69 = 711.2 + 144.8TLD - 513.6MXD - 253.3MID \quad (3)$$

$$HT49 = 9.1 + 2.2MXD + 14.3MID \quad (4)$$

方程(3)的复相关系数 $R = 0.74$, F 值为 17.5, 方程(4)的复相关系数 $R = 0.67$, F 值为 14.8, 通过信度 $\alpha = 0.0001$ 的检验,表明方程(3)、(4)所表示的关系是稳定可靠的。该方程的树木生理学解释也很明显,降水的增加有利于云杉根系对土壤水分的吸收,加大细胞分裂,而使最大密度和最小密度值变小,同时加宽晚材生长。月平均最高气温增高,降水量相对较少,蒸发加大,制约细胞的生长,而使最大密度和最小密度值增大。

图4为降水和最高温度的实测值(图中实线)与降水和最高温度的重建值(图中虚线)相关图,从图4可以看出,重建值能比较客观地模拟出实际降水和最高温度,但对于降水和最高温度的极值模拟有一定的偏差,这一现象在利用树木年轮重建气候因子中普遍存在,主要原因可归结于,剧烈气候活动的变化幅度要大于树木生长的响应幅度。

验证重建可靠性的方法是取某一时段的实测资料作为独立验证期,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分析,来判断重建的可靠性。本文考虑到实测资料仅29a(1961~1989),由于用于重建的年代较短,因此,采用逐年剔除法进行校准,结果,校准值和实测值的趋势和数值非常一致。缩减误差 RE 是普遍用于验证重建精确性的一个统计量^[1],一般认为 RE 大于0.3为通过检验,计算得重建降水的 RE 值为0.48,重建最高温度的 RE 值为0.45,亦证实重建结果是合理可靠的。

最终重建的150a(1840~1989)4~9月份的平均最高温度如图5实线所示,图中1961~1989年的资料为最高温度实测值,横线为1961~1989年实测资料的平均值,虚线为11a滑

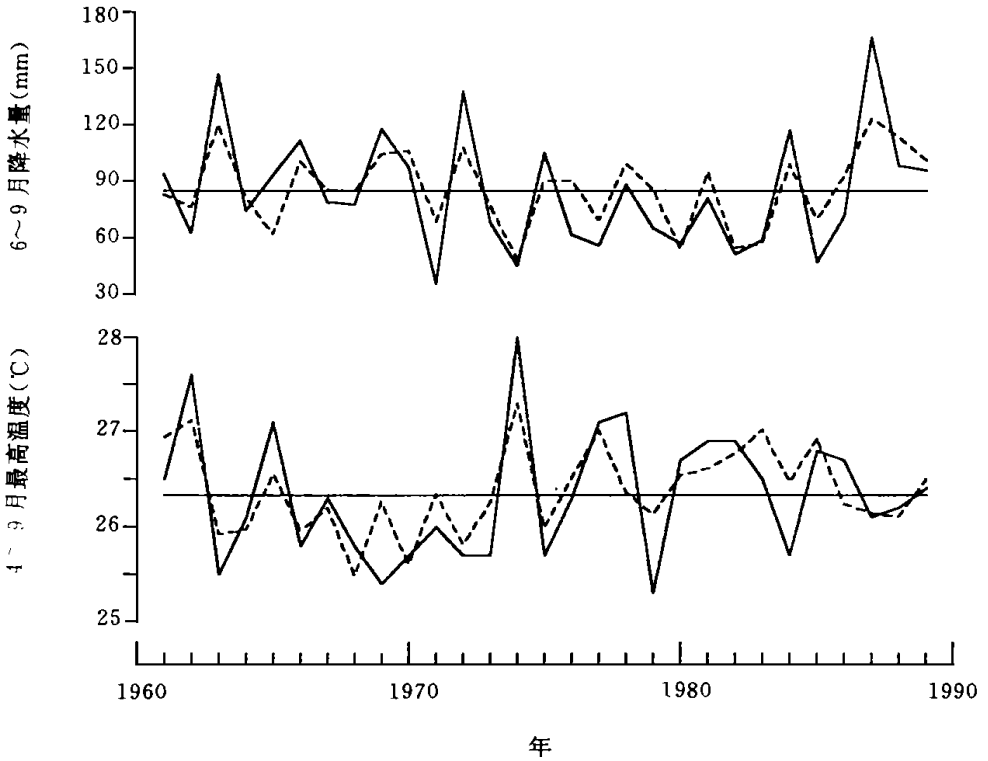


图4 校准期重建值(虚线)和实测值(实线)比较(横线为平均值)

动平均值。从图5中可以看出,该地区4~9月平均最高温度存在明显的阶段性变化,1848~1880年比现在低约0.37,1881~1922年比现在高约0.39,1930~1937年比现在低约0.46,1938~1951年比现在高约0.33,1840~1960年的平均最高温度较之现在要高约0.08。

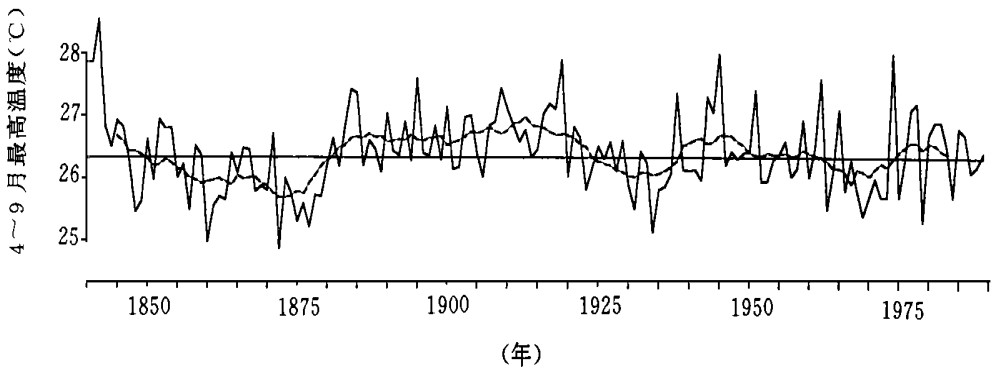


图5 4~9月平均最高温度重建值(1840~1989)

最终重建的150a(1840~1989)6~9月份的降水如图6实线所示,图中1961~1989年的资料为降水实测值,横线为1961~1989年实测资料的平均值,虚线为11a滑动平均值,圆

点为乌鲁木齐5级旱涝指数值^[14]。从高到低分别为湿、较湿、正常、较干和干。从图6中可以看出,该地区6~9月降水量亦存在明显的阶段性,1843~1862年降水比现在多约34.5 mm,1863~1867年比现在少约27.0 mm,1868~1880年降水比现在多约25.0 mm,1889~1919年比现在少约15.0 mm,1920~1941年降水比现在多约25.2 mm,1840~1960年的降水量较之现在要多出约5.6 mm。

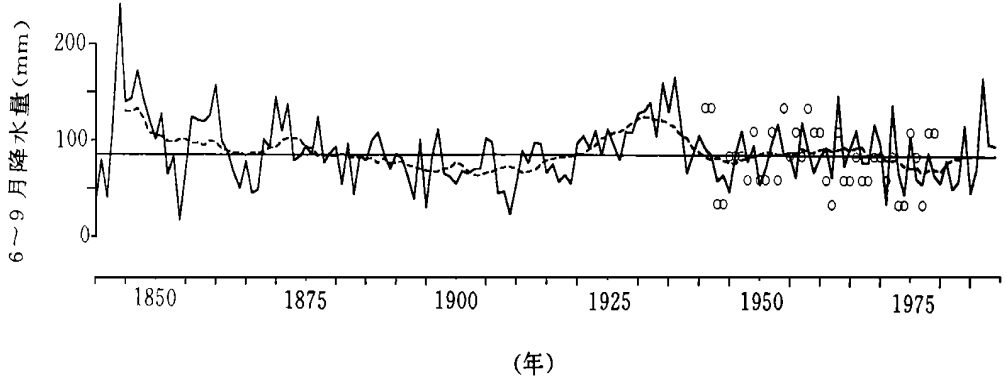


图6 6~9月降水量的重建值(1840~1989)

由于新疆历史文献记载的过去气候记录较少,增加了对比分析的难度,从“中国近五百年旱涝分布图集”^[14]中仅获得可用对比的乌鲁木齐和哈密1941~1979年的旱涝等级资料,由于图6中1961~1989年的降水量为实测值,因此用乌鲁木齐1941~1960年间的旱涝等级资料和重建的吉木萨尔6~9月份降水量的比较,发现在此其间除1945,1953,1957和1959年的重建值和记录值有所出入,其它年份对应都较好,特别是干旱年份1943,1944,1948,1950和1951年重建值和记录值吻合得非常一致。

5 结 论

依据新疆吉木萨尔地区的天山云杉树轮密度和宽度变化与气象记录分析,得出如下结论:

- (1) 该地区树轮生长反映了生长期的平均最高温度和降水的变化。
- (2) 可用晚材宽度指数、最大密度指数和最小密度指数值,重建该地区150a来逐年6~9月份降水。
- (3) 可用最大密度指数和最小密度指数值,重建该地区150a来逐年4~9月份平均最高温度。
- (4) 自1840年至今,6~9月份降水和4~9月份平均最高温度有明显的阶段性变化。
- (5) 重建的降水结果和历史文献记载较为吻合。

致谢:在树轮密度样本处理和测量过程中,得到美国亚利桑那大学树木年轮实验室 M. K. Hughes 和 J. M. Burns 先生的支持和帮助。

谨以此文纪念为中国树木年轮气候学研究作出重大贡献的吴祥定先生!

参考文献

- 1 吴祥定等. 树木年轮与气候变化. 北京: 气象出版社, 1990
- 2 张先恭等. 祁连山圆柏年轮与中国气候变化趋势. 全国气候变化学术讨论会文集, 北京: 科学出版社, 1981. 26 ~ 28
- 3 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
- 4 张志华等. 利用树木年轮资料重建新疆东天山300多年干旱日数的变化. 应用气象学报, 1996, 7(1): 53 ~ 60
- 5 邵雪梅, 吴祥定. 华山树木年轮年表的建立. 地理学报, 1994, 49(6): 174 ~ 181
- 6 吴祥定, 邵雪梅. 中国秦岭地区树木年轮对气候响应的初步分析. 应用气象学报, 1994, 5(2): 253 ~ 256
- 7 Schweingruber F H, Fritts H C. The x-ray technique as applied to dendroclimatology. *Tree-Ring Bull*, 1978, 38
- 8 Hughes M K, et al. *Climate from tree rings*. London: Cambridge University Press, 1982. 223
- 9 Fritts H C. *Tree Rings and climate*. London: Academic Press, 1976. 567
- 10 Holmes R L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bull*, 1983, 43: 69 ~ 75
- 11 Holmes R L. Program ARSTAN(version B-1992). Lab. of Tree Ring Res. University of Arizona, Tucson, USA, 1992. 30
- 12 Kohler M A. On the use of double-mass analysis for testing the consistency of meteorological records and for making required adjustments. *Bull Amer Meteor Soc*, 1949, 30: 188 ~ 189
- 13 Guiet J, et al. *Response function in climate from tree rings*. London: Cambridge University Press, 1982. 38 ~ 50
- 14 中国气象局气象科学研究院. 中国近五百年旱涝分布图. 北京: 地图出版社, 1980. 325 ~ 332

PRECIPITATION AND AVERAGE MONTHLY HIGH TEMPERATURE IN THE JIMUSARE, XINJIANG AS RECONSTRUCTED FROM TREE DENSITY AND TREE WIDTHS

Zhang Zhihua Li Ji

(*National Climate Center, Beijing, 100081*)

Lisa J. Graumlich Paul R. Sheppard

(*Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson, AZ 85721, USA*)

Abstract

In this paper, the Characteristics of response function of tree ring width and tree ring density with monthly precipitation and average monthly high temperature were analyzed. The method of stepwise regression analysis was used to select tree ring factors which were correlated better with climate factors. As a result, precipitation reconstructions are derived using stepwise regression models that predict precipitation (6~9) as a function of latewood width chronologies, maximum density and minimum density, temperature reconstructions are also derived using stepwise regression models that predict average monthly high temperature (4~9). The reconstructions indicate that there are notable periodic changes of precipitation (6~9) and average monthly high temperature (4~9) over the past 150 years in the Jimusaer area. The result are coincided well with document records.

Key words: Jimusaer, Tree-ring density, Tree-ring widths, Response function, Reconstruction.