

Influence of Sampling Site and Detrending Method on Correlations and Climate Signals of Spruce Tree-ring Width Chronologies at Upper Tree Line in Western Tianshan Mountains of Xinjiang

YUAN Yu-jiang^{1,2}, WEI Wen-shou¹, ESPER Jan², YU Shu-long¹, ZHANG Rui-bo¹

(1. Institute of Desert Meteorology, CMA, Urumqi 830002, China; Key Laboratory of Tree-ring Physical and Chemical Research of China Meteorological Administration, Urumqi 830002, China; 2. Swiss Federal Research Institute WSL Birmensdorf 8903, Zurich, Switzerland)

Abstract: Based on the tree-ring width data of spruce from the upper tree lines on northern slope of western Tianshan Mountains in Yili and Bozhou region of Xinjiang, the tree-ring width chronologies were developed by using the three different detrending methods, i. e. regional curves, negative exponential curves (no positive slope) and 300-year fixed splines. Analyses on the effect of different sampling sites and different detrending methods on correlation between tree-ring width chronologies in different frequency domains and their climate signals showed: ① Distance between two sampling sites and whether chronologies are in the same climate area are import factors that influence the correlation between two tree-ring width chronologies. There are better similarity in the higher frequency domain and greater different in the lower frequency in the changes of tree-ring width at the three different sampling sites, which implies that the tree-ring width chronologies maybe possess large potential in application for disclosing and reconstructing the climate change of higher frequency domain on large scale. ② The tree ring width chronologies developed from Negative Exponent and Spline Detrending methods are similar, but that developed from Regional Curve Detrending Method can remain more information of tree ring width change on lower frequency domain. ③ Precipitation is the first limiting factor that influences the tree ring width growth of spruce on upper tree line in the western Tianshan Mountains and the effect has obvious hysteresis. ④ Regional curve detrending method can keep more moisture information in the tree ring width chronology of spruce on upper tree line in the western Tianshan Mountains of Xingjiang.

Keywords: western Tianshan Mountains of Xinjiang; tree-ring width chronology of spruce; sampling site; detrending method; climate signal

文章编号:1000-694X(2008)05-0809-06

采点和去趋势方法对天山西部云杉上树线树轮宽度年表相关性及其气候信号的影响

袁玉江^{1,2}, 魏文寿¹, Esper Jan², 喻树龙¹, 张瑞波¹

(1. 中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所/中国气象局树木年轮理化研究重点开放实验室, 新疆 乌鲁木齐 830002; 2. 瑞士联邦森林、雪、景观研究院, 瑞士 苏黎世 比尔门斯多夫 8903)

摘要: 针对新疆天山西部伊犁、博州三大山体北坡云杉上树线树木年轮资料, 采用区域曲线、负指数曲线、样条函数三种不同生长去趋势方法, 研制树轮宽度年表, 分析不同采点和树轮去趋势方法对树轮宽度年表在不同频段的相关性及气候信号的影响发现: ①采点间的距离和是否位于同一气候区是影响云杉上树线树轮宽度年表间相关性的首要因子。三个采点间的树轮宽度变化, 在高频变化方面最为相似, 低频变化存在着较大差异, 表明它们在揭示和重建大范围的高频气候变化方面可能具有较大的应用潜力。②三种不同去趋势方法对天山西部山脉北坡上树线的云杉树轮宽度年表的研制具有一定影响, 负指数和样条函数去趋势方法研制的树轮年表较为相似, 而区域曲线去趋势方法研制的树轮宽度年表中则可保留较多的轮宽低频变化信息。③降水是天山西部云杉上树线的树轮宽度生长的主要限制因子, 且树轮宽度生长对降水的响应具有显著的滞后性。④在天山西部的云杉上树线采点, 使用区域曲线去趋势方法有利于在树轮宽度年表中保留较多的与水分有关的气候信息。

关键词: 新疆天山西部; 云杉树轮宽度; 不同采点; 不同去趋势方法; 气候信号**中图分类号:** P467 **文献标识码:** A

对于干旱、半干旱的新疆天山西部北坡地区, 自20世纪80年代以来, 国内年轮工作者已开展了多年的树轮气候研究, 取得了可喜的成果^[1-10]。然而, 到目前为止, 国内外对于不同采点、不同生长去趋势方法对上树线树轮宽度年表间不同频段的相关性及其所包含的气候信息的影响研究甚少, 在新疆天山更是无人涉及。此外, 一般而言, 由于气温随海拔的升高而降低, 上树线树轮宽度年表理应对气温变化具有较好的响应, 但是, 根据我们在新疆天山的近30 a树轮研究工作发现, 上树线云杉树轮宽度年表往往和气温的关系并不十分显著, 大多表现出和降水的显著相关性, 或者与气温降水的相关均不显著, 因此可以说人们对于新疆天山西部上树线的云杉树轮宽度对气候的响应特点及形成原因还缺乏足够的认识。利用作者2007年在瑞士联邦森林、雪、景观研究院作访问学者期间完成的新疆伊犁地区和博尔塔拉蒙古自治州(以下简称博州)的天山北坡的三个云杉森林上树线采点的树轮宽度资料, 分析不同采点和树轮生长去趋势方法对树轮宽度年表间相关性的影响, 探讨气候状况不同的天山西部山体北

坡三个云杉上树线采点树轮宽度年表对气温、降水的相关性强弱, 以期增进人们对于不同去趋势方法和不同气候特点的云杉上树线采点对树轮宽度年表间的相关性及气候信号影响的认识。

1 资料与方法

所用的吉普克(JPK)、阿乌里亚乔克山(AWL)和小白代沟(XBD)三个树木年轮采点自北向南分布于新疆天山西部的伊犁北天山(博罗科努山)、乌孙山、伊犁南天山北坡。根据新疆水文部门的估算它们所在山区对应的年降水量分别大致为442 mm, 500 mm和709 mm^[11-12]。三个采点均位于上树线附近。树种皆为云杉, 细微的差别在于JPK采点为天山云杉 [*Picea schrenkiana* Fisch. et Mey. var. *tianschanica* (Rupr.) Cheng et S. H. Fu], AWL和XBD采点为雪岭云杉 [*Picea schrenkiana* Fisch et C. A. Mey. (*P. obovata*, *schrenkiana* Carr.)]。天山云杉在国内仅产于新疆, 主要分布于天山, 为耐荫树种, 能耐上方遮荫, 抗寒性强, 能忍受-40℃的低温, 但嫩枝抗霜性较差, 它性喜湿, 在中海拔气候较

收稿日期:2007-09-08; 改回日期:2007-11-18

基金项目:科技部基础性工作专项(2007FY220200); 科技部气象行业专项(GYHY(QX)2007-6-8); 中国气象局项目(新疆天山北坡树木年轮气候研究、基于树轮分析与遥感技术的干旱山地森林长势监测研究)共同资助

作者简介:袁玉江(1955—), 男, 研究员, 山东菏泽人, 主要从事树轮气候、树轮水文、气候与环境研究。Email: yuanyuj5502@sina.com

温和而又湿润的条件下(降水量多为 600~800 mm,大气湿度较大或土壤比较湿润的地方)生长甚好,虽能忍受一定的干旱,但在干旱条件下生长不良,雪岭云杉与天山云杉生物学特性相同,但比天山云杉更为喜湿^[13]。JPK 采点采于 2004 年,共从 37 棵树上采集了 69 个钻芯,AWL 和 XBD 采点采于 2006 年,均从 20 棵树上采集了 40 个钻芯。采点的分布和其他特征见图 1 和表 1。

在瑞士联邦森林、雪、景观研究院,根据树轮密度测定和分析的基本程序,在对 XBD、AWL 和 JPK 三个采点的树轮钻芯样本分别进行分段,锯片,和 X 射线树轮密度胶片生成后,使用 Walesch-dendro-2003 X 射线树轮密度测定仪,测量了三个采点的树轮样本高分辨率的(10 μm)密度变化,并从高分辨率的树轮密度曲线获取树轮密度与宽度参数。将树轮宽度和树轮最大密度的折线图进行对比,结合基于 COFECHA 程序的交叉定年质量检验^[14],完成

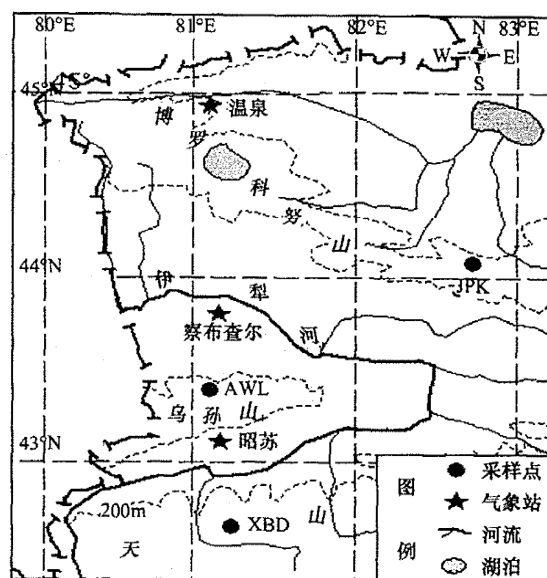


图 1 树木年轮采点和气象站分布
Fig. 1 Location of tree-ring sampling sites and meteorological stations

表 1 天山西部上树线 3 个树木年轮采点的位置与特征

Table 1 Features and locations of 3 tree-ring sampling sites near the upper tree line in Tianshan Mountains

采点代号	东经	北纬	海拔/m	树数/株	钻芯个数	坡向	坡度	郁闭度	最大树龄
JPK	82°54'50.6"	44°06'20.1"	2555	28	69	NW—NNE	36°	0.26	780
AWL	81°04'35.7"	43°24'54.6"	2690	20	40	NE—WN	33°	0.116	583
XBD	81°15'11.4"	42°44'43.8"	2682	20	40	SW—NE	8°	0.264	480

对树轮宽度和最大密度数据的交叉定年,本文仅对所获得的三个采点的树轮宽度资料进行处理和分析。

为了在树轮宽度年表中保留尽可能多的低频变化,对树轮宽度资料使用三种不同的去趋势方法[负指数曲线(NEP 无正向坡度)、区域曲线(RCS)和 300 a 定长样条函数(SPL),由 ARSTAN 年表研制程序进行年轮宽度标准化和轮宽年表的研制,此外还使用了 67 a 定长样条函数进一步稳定树轮宽度年表的方差。最终得到了三个云杉上树线采点的树轮宽度的标准化年表(STD),差值年表(RES)和标准化自回归年表(ARS)^[15]。

为了分析不同采点和不同去趋势方法对这三个采点树轮宽度年表的影响,我们对比了树轮宽度年表和其低频变化(8 点滑动平均)曲线,并使用低通滤波方法分离了树轮宽度年表的高、低频变化后,计算了树轮宽度年表在全频(原始年轮指数)、低频(低通滤波值,滤去 < 8 年的高频变化)和高频域(高通滤波值,滤去 ≥ 8 a 的低频变化)的相关系数。

为了估算三个采点树轮宽度年表中气候信号的

强弱,我们计算了由三种不同去趋势方法得到的每一种树轮宽度年表(STD、RES、ARS)与相应气象站月平均气温和降水资料的相关系数,以便找出与气温、降水相关最佳的树轮宽度年表。对 XBD 采点,我们使用了昭苏气象站 1959—2005 年的气候资料,对 AWL 采点使用了察布查尔气象站 1961—2005 年的气候资料。对 JPK 采点,使用了温泉气象站 1962—2004 年的气候资料,这主要是考虑到温泉气象站在博州地区海拔最高,其气象条件比该区其他气象站与山区森林的气象条件更为接近这一实际情况(见图 1)。

2 研究结果

2.1 采样点对树轮宽度年表的影响

2.1.1 由区域曲线去趋势方法得到的三个采点树轮宽度标准化年表的差异

从图 2 中箭头所指的部分及图 3 中的 8 点滑动平均曲线可见:对于 JPK, AWL 和 XBD 三个上树线采点,其由区域曲线去趋势方法研制的树轮宽度

年表的年际变化与长于 8 a 波动的低频变化均存在着一定的差异,这可能与三个采点位于天山西部不

同的山体北坡上树线,影响树轮宽度形成的气候条件有所不同有关。

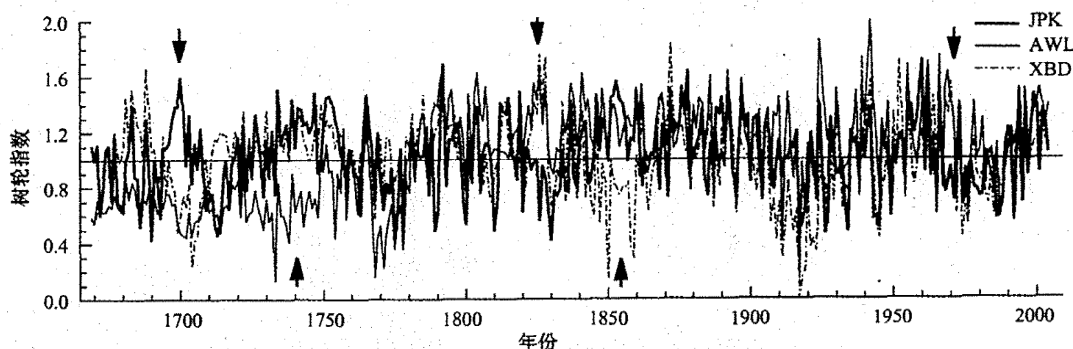


图 2 XBD,AWL,JPK 采点由区域曲线去趋势方法研制的树木年轮宽度标准化年表的比较

Fig. 2 Comparison of tree-ring width standard chronologies developed by Regional Curve Detrending Method at XBD,AWL,JPK sampling sites

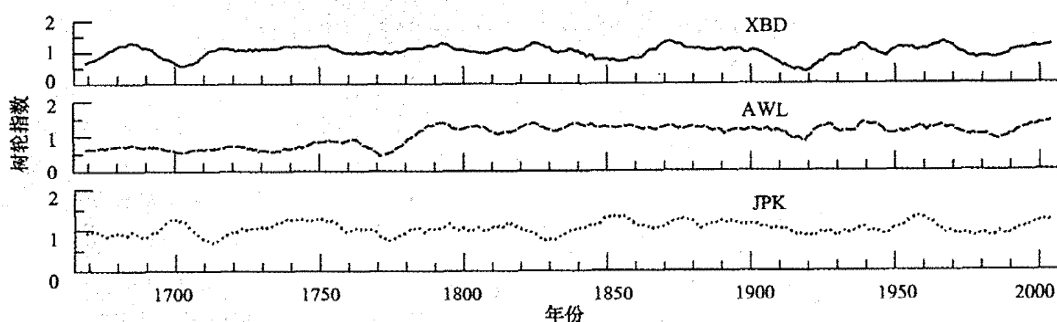


图 3 XBD,AWL,JPK 采点由区域曲线去趋势方法研制的树木年轮宽度标准化年表 8 点滑动平均曲线的比较

Fig. 3 Comparison of 8 points smoothing curves of tree-ring width standard chronologies developed by Regional Curve Detrending Method at XBD,AWL,JPK sampling sites

2.1.2 由区域曲线去趋势方法得到的三个采点树轮宽度标准化年表的频域相关性

从表 2 可见:①三个采点树轮宽度标准化年表两两间及平均的互相关系数,以在高频域最大,低频域最小,全频居中,说明三个采点间的树轮宽度变化,在高频变化方面最为相似,低频变化存在着较大差异,三个采点的树轮宽度年表,在揭示和重建大范围的高频气候变化方面具有较大的应用潜力。②XBD 和 AWL 的树轮宽度标准化年表在全频、低频和高频域的相关系数最大,JPK 和 XBD 最小,AWL 和 JPK 居中。这说明,XBD 和 AWL 两个采点的树轮宽度年表相似性最好,JPK 和 XBD 树轮宽度年表相似性最差,AWL 和 JPK 采点间居中。其原因可能在于:XBD 和 AWL 采点间的直线距离最近,两者又位于同一气候区,影响树轮宽度形成的气候因子相似,故两者树轮宽度年表间的相关性最好;而 JPK 和 XBD 采点间的直线距离最远,且两者位于不同的气候区,JPK 采点的降水量要小于 XBD 采点,影响树轮宽度形成的气候因子差异性较大,故两者

树轮宽度年表间的相关性最差。AWL 和 JPK 采点间情形居于与前两者,距离较近,但不在同一气候区,所以其树轮宽度年表间的相关性居中。

表 2 三个采点区域曲线去趋势树轮宽度标准化年表在全频、低频和高频域互相关系数

Table 2 Correlation coefficients between three tree-ring width standard chronologies developed by Regional Curve Detrending Method in the all frequency, lower frequency and higher frequency domains

年表代号	XBD-AWL	AWL-JPK	JPK-XBD	平均值
全频域	0.430	0.330	0.294	0.324
低频域	0.318	0.188	0.117	0.148
高频域	0.732	0.510	0.468	0.570

表中:全频域相关年份为 1669—2004 年, $n=336$; 高、低频域相关年份是 1676—1998 年, $n=324$ 。

2.2 去趋势方法对树轮宽度标准化年表的影响

2.2.1 三种去趋势方法对树轮宽度标准化年表的影响

如图 4 所示,由区域曲线、负指数、样条函数去

趋势方法研制的 XBD 和 AWL 两个采点的树轮宽度标准化年表的平均值曲线,显示出了较强的同步性,

但 1670—1850 年间区域曲线去趋势方法研制的树轮年表与其他两种方法研制的年表也存在一些差异。

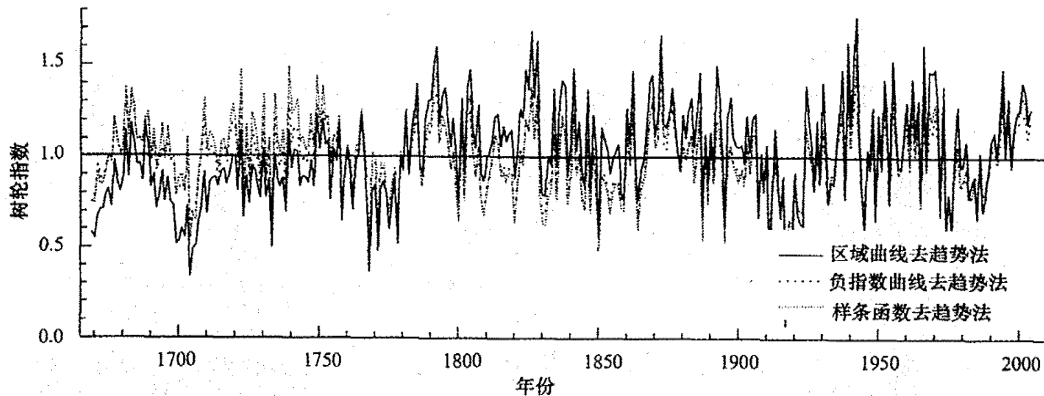


图 4 由区域曲线、负指数、样条函数去趋势方法研制的 XBD,AWL 树轮宽度标准化年表平均值的比较
Fig. 4 Comparison of three tree-ring width mean chronologies developed respectively by Regional Curve Method, Negative Exponential Curve Method and 300-year Fixed Splines for XBD and AWL sites

2.2.2 三种去趋势方法对树轮宽度标准化年表频域相关性的影响

从表 3 可见:用负指数和样条函数两种不同去趋势方法研制的 XBD 和 AWL 采点树轮宽度标准化年表平均值序列在全频、低频和高频域的相关系数均极高,但用区域曲线去趋势方法研制的 XBD 和 AWL 采点树轮宽度标准化年表平均值在低频域的相关系数与前两者相比明显偏低。从表 4 可知,由区域曲线去趋势方法所获得的树轮宽度标准化年表所含的低频方差比前两者研制的年表的低频方差大约多 8%。这说明,新疆天山西部山脉北坡上树线的树轮宽度年表对年表研制的三种不同去趋势方法的响应有所不同,使用区域曲线去趋势方法有利于在树轮宽度年表中保留较多的轮宽低频变化,这对于树轮宽度年表在重建长期气候变化方面应用大有益处。

表 3 三种不同去趋势方法研制的 XBD 和 AWL 采点轮宽标准化年表平均值在全频、低频和高频域的相关系数
Table 3 Correlation coefficients for the mean chronologies of tree-ring width over XBD and AWL sites produced from three different detrending methods in the all frequency, lower frequency and higher frequency domains

采点代码	RCS-NEX	NEX-SPL	SPL-RCS
全频域	0.831	0.986	0.783
低频域	0.656	0.971	0.593
高频域	0.958	0.995	0.954

注:表中,全频域相关年份为 1669—2004 年, $n=336$; 高、低频域相关年份是 1676—1998 年, $n=324$ 。

表 4 三种不同去趋势方法研制的 XBD 和 AWL 采点轮宽年表平均值在低频和高频域的方差百分比

Table 4 Variances for the mean chronologies of tree-ring width over XBD and AWL sites produced from three different detrending methods in lower frequency and higher frequency domains

方差百分比	RCS 年表	NEX 年表	SPL 年表
低频方差(%)	45.1	37.2	37.8
高频方差(%)	42.6	49.3	49.1

2.3 三个采点树轮宽度年表中气候信号的比较

从表 5 可见:①位于森林上树线的三个采点的云杉树轮宽度年表一般与上年的几个月份或上年到当年的几个月份的降水总量具有显著的正相关,但具体时段随采点不同有较大的变化,XBD 采点树轮宽度年表与上年 10 月到当年 4 月的降水量正相关显著,AWL 采点树轮宽度年表与上年 7—8 月的降水正相关显著,而 JPK 采点树轮宽度年表与上年 5 月(或 6 月)到当年 4 月的降水正相关。这表明降水是天山西部云杉上树线的树轮宽度生长的主要限制因子,且树轮宽度生长对降水的响应具有显著的滞后性。其原因可能在于,云杉森林上树线虽然位于最大降水带的上边缘,降水偏少,但由于海拔高温低,蒸发蒸腾作用弱,当年 5—9 月降水量仍可满足树木年轮生长的需要,而当年生长期储存在树体内的营养多少却会通过来对来年云杉生根发芽的影响,进而影响到次年轻光合作用所形成的有机物质的多少,并最终影响到次年树轮的宽窄。一般而言,当年生长状况越好,树体内储存的营养物质越多,来年年

杉根系就生长得越好,形成的针叶数量就越多,这样根系可从土壤中吸收更多的营养物质,繁茂的针叶可进行更充分的光合作用,进而形成较宽的年轮,反之亦反。此外山区当年10月到次年4月的降水多以冰雪的形式储存,来年春季融化,补充土壤水分,并直接影响来年树木年轮宽度的生长,这一时段的降水越多,越有利与来年树木年轮的生长。②三个上树线采点与降水正相关显著的树轮年表类型均为包含有树轮宽度生长持续性的标准化年表(STD)或自回归标准化年表(ARS),这与上年降水对当年树轮宽度具有显著的正的滞后影响的统计事实是一致的。③三个采点由区域曲线去趋势方法研制的树轮宽度年表与降水具有最高的正相关系数或与最热月气温具有最高的负相关系数,这表明在天山西部的云杉上树线采点,使用区域曲线去趋势方法有利于

在树轮宽度年表中保留较多的与水分有关的气候信息。在降水较多的伊犁地区的XBD和AWL两个采点,树轮宽度年表仅表现出与降水的显著正相关,且区域曲线去趋势方法研制的树轮宽度年表相对说来比由负指数和样条函数去趋势得到的轮宽年表与降水的正相关略好一些,但在降水最少的博尔塔拉蒙古自治州的天山北坡上树线采点JPK,树轮年表不仅表现出与上年6月到当年4月降水的正相关,还表现出与上年最热月7月气温显著负相关,且与7月温度的负相关要强于上年6月到当年4月降水的正相关,这间接地反映了水分因子对树木年轮宽度生长的正向作用。这可能是因为最热的7月气温偏低,有利于减少土壤水分的蒸发与树木的蒸腾,有利于当年树木体内营养的存储,进而有利于次年树木年轮宽度的生长。

表5 三个采点用不同去趋势方法研制的树木年轮宽度年表与气候资料的相关系数

Table 5 Correlation coefficients between climate data and the tree-ring width chronologies produced from 3 different detrending methods over XBD, AWL and JPK sites

采点代码		XBD		
去趋势方法	NEX	RCS	SPL	
平均气温				
降水总量	上年10月至当年4月 0.512 ARS	上年10月至当年4月 0.520 ARS	上年10月至当年4月 0.502 ARS	
采点代码		AWL		
去趋势方法	NEX	RCS	SPL	
平均气温				
降水总量	上年7—8月 0.475 STD	上年7—8月 0.524 ARS		
采点代码		JPK		
去趋势方法	NEX	RCS	SPL	
平均气温	上年7月 -0.522 STD	上年7月 -0.539 STD	上年7月 -0.513 STD	
降水总量	上年6月至当年4月 0.434 STD	上年6月至当年4月 0.422 ARS	上年6月至当年4月 0.440 ARS	

注:表中单相关系数的显著水平平均超过了0.01;对XBD采点,气候资料年代为1959—2005, $n=47$;对AWL采点,气候资料年代为1961—2005, $n=45$;对JPK采点,气候资料年代为1962—2004, $n=43$ 。ARS代表自回归年表;STD为标准化年表;RES是差值年表。

3 结论

通过分析不同采点和去趋势方法对新疆天山西部云杉上树线树轮宽度年表间相关性及其气候信号的影响,可得到以下几点结论:

1)采点间的距离和是否位于同一气候区是影响云杉上树线树轮宽度年表间相关性的首要因子。三个采点间的树轮宽度变化,在高频变化方面最为相似,低频变化存在着较大差异,表明它们在揭示和重建大范围的高频气候变化方面可能具有较大的应用潜力。

2)三种不同去趋势方法对天山西部山脉北坡上树线的云杉树轮宽度年表的研制具有一定影响,负

指数和样条函数去趋势方法研制的树轮宽度年表较为相似,而区域曲线去趋势方法研制的树轮宽度年表中则可保留较多的轮宽低频变化信息。

3)降水是天山西部云杉上树线的树轮宽度生长的主要限制因子,且树轮宽度生长对降水的响应具有显著的滞后性。

4)在天山西部的云杉上树线采点,使用区域曲线去趋势方法有利于在树轮宽度年表中保留较多的与水分有关的气候信息。

参考文献(References):

- [1] 袁玉江,李江风.天山西部云杉林年轮气候生长量与气候的关系[J].新疆大学学报,1995,11(4):93—98.
- [2] 王承义,胡杨斌.新疆伊犁地区近250年冷暖变化特征分析

- [J]. 干旱区地理, 1996, 19(3): 37-44.
- [3] 叶玮, 袁玉江. 新疆伊犁地区现代气候特征与 300 a 来的干湿变化规律[J]. 中国沙漠, 1999, 19(2): 255-260.
- [4] 袁玉江, 叶玮, 董光荣. 天山西部伊犁地区 314 a 降水的重建与分析[J]. 冰川冻土, 2000, 22(2): 121-127.
- [5] 朱海峰, 王丽丽, 邵雪梅, 等. 雪岭云杉树轮宽度对气候变化的响应[J]. 地理学报, 2004, 59(6): 863-870.
- [6] 范敏杰, 袁玉江, 魏文寿, 等. 用树木年轮重建伊犁南天山北坡西部的降水量序列[J]. 干旱区地理, 2007, 30(2): 268-273.
- [7] 尚华明, 袁玉江, 喻树龙, 等. 天山巩乃斯河源区树轮年表特征[J]. 沙漠与绿洲气象, 2008, 2(1): 12-16.
- [8] 范敏杰, 袁玉江, 魏文寿, 等. 新疆伊犁地区夏季平均最高气温的重建与分析[J]. 干旱区研究, 2008, 25(1): 75-81.
- [9] 潘娅婷, 袁玉江, 喻树龙. 博尔塔拉河流域过去 461 a 夏季温度的重建和分析[J]. 中国沙漠, 2007, 27(1): 159-164.
- [10] 潘娅婷, 袁玉江, 喻树龙, 等. 采用树轮图像分析法重建过去气候变化[J]. 干旱区研究, 2007, 24(2): 255-260.
- [11] 周聿超. 新疆河流水文水资源[M]. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1999.
- [12] 袁玉江, 李江凤. 天山西部树轮年表的响应函数[J]. 冰川冻土, 1995, 17(2): 170-177.
- [13] 侯文虎, 侯月欣, 苏文镔, 等. 新疆主要造林树种[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1981.
- [14] Holmes R L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement[J]. Tree-Ring Bulletin, 1983, 43: 69-78.
- [15] 邵雪梅, 吴祥定. 华山树木年轮年表的建立[J]. 地理学报, 1994, 49(2): 174-178.