

Development, correlation and climate signal analysis of three spruce chronologies of tree-ring maximum density from upper tree line in the western Tianshan Mountains of Xinjiang

YUAN Yu-jiang^{1,2}, ESPER Jan², WEI Wen-shou¹, NIEVERGELT Daniel², VERSTEGE Anne²,
YU Shu-long¹, ZHANG Rui-bo¹

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

Abstract: Based on the tree-ring maximum density data of spruce from the upper tree lines on north slope of three mountains of the western Tianshan Mountains in Yili and Bozhou region of Xinjiang, using three different detrending methods (i. e. regional curves, negative exponential curves (no positive slope) and 300-year fixed splines), the paper develops the chronologies of tree-ring maximum density. After analyzing the effects of different sampling sites and different detrending methods on correlations of tree-ring maximum density chronologies in the different frequency domains, the paper finds that (1) There are better similarity in the higher frequency domain and greater different in the lower frequency in the changes of tree-ring maximum density on the three different sampling sites; (2) The tree-ring maximum density chronologies are not sensitive to the different detrending methods in development chronology at the upper tree lines of spruce on the north slope of western Tianshan Mountains, but that distance between two sampling sites and whether they are in the same climate area are import factors that influent the correlation between two chronologies of tree-ring maximum density of the upper tree line of spruce; (3) There are significant correlation between the tree-ring maximum chronology at the upper tree line and mean temperature in the current year, the more precipitation in mountainous area is, the better correlation between tree-ring maximum chronology and mean temperature in the current year at upper tree line of spruce and the number of months increase on which tree ring maximum chronology correlate well with mean temperature.

Key Words: western Tianshan Mountains of Xinjiang; tree-ring maximum density of spruce; different sampling sites; different detrending methods; climate signals

新疆天山西部三个云杉上树线树轮最大密度年表的研制、相关性及其气候信号分析

袁玉江^{1,2}, Esper Jan², 魏文寿^{1,2}, Nievergelt Danie^{1,2},
Verstege Anne², 喻树龙^{1,2}, 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、博尔塔拉蒙古自治州三大山体北坡云杉上树线树木年轮最大密度资料, 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, 研制树轮最大密度年表, 分析不同采点和树轮去趋势方法对树轮最大密度年表在不同频域的相关性及气候信号的影响发现: ①三个采点间的最大树轮密度变化, 在高频变化方面最为相似, 低频变化存在着较大差异; ②天山西部山脉北坡上树线的树轮最大密度年表对年表研制的三种不同去趋势方法不敏感, 而采点间的距离和是否位于同一气候区是影响上树线树轮最大密度年表间相关性的主要因子。③天山西部山脉北坡上树线的树轮最大密度年表对当年的温度具有显著的相关性, 年降水量越多的山区, 其上树线最大密度年表对温度的相关性越好, 且显著相关平均温度涉及的月数也不断增多。

关键词: 新疆天山西部; 云杉树轮最大密度; 不同采点; 不同去趋势方法; 气候信号

中国分类号: P467 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6060(2008)04-0560-07 (560-566)

用 X 射线进行树轮密度研究的方法由法国科学家 Polge 在 1963 年创立^[1], 被瑞士树木年轮学家 Fritz Hans Schweingruber 首先应用于树轮气候学研究^[2]。研究表明在森林上限和高纬度地区, 树轮最大密度能很好地反映树木生长季内的温度变化^[3-5]。在欧美的一些国家树木年轮密度在树轮气候研究中的应用已取得了丰硕的成果^[6], 在中国也开展了一定的实验研究。吴祥定等发现采自秦岭 4 个采点的树木年轮样本的密度变化对气候有显著响应^[7]。刘禹等人的树轮密度与气候分析指出, 陕西黄陵地区树木年轮早材最小密度于 6 月份气温及 4~6 月降水显著相关, 相关系数分别达到 0.616 和 -0.662, 并据此重建了该地区 4~6 月降

水长期变化^[8]。张志华等利用新疆吉木萨尔县山区的天山云杉树轮宽度、最大密度和最小密度资料重建了该区 6~9 月的降水量和 4~9 月的平均最高温度^[9]。杨银科等人发现内蒙古准格尔旗海拔较低(海拔 1300 m)的油松树轮密度年表与该地区全年降水量之间有很好的相关性, 早材密度和最小密度与降水量之间呈负相关, 晚材密度和最大密度与降水量呈显著的正相关^[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最大密度年表间不同频域的相关性及其所包含的气候信息的影响的研究无人涉及。此外, 人们对于新疆天山西部上树线的云杉树轮最大密度对气候的响应特点还缺乏足够的认识。本文作

收稿日期: 2008-05-20;

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)和中国气象局项目(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

者利用 2007 年在瑞士联邦森林、雪、景观研究院做访问学者期间完成的新疆伊犁和博尔塔拉蒙古自治州的天山北坡的三个森林上树线采点的树轮密度资料,分析采点和不同树轮生长去趋势方法对树轮最大密度年表间相关性的影响,探讨气候状况不同的天山北坡三个上树线采点最大树轮密度年表对气候要素的相关强弱,以期增进人们对于云杉树轮密度对气候的响应的认知深度。

1 资料与方法

本文所用的吉普克 (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。采点的分布和其它特征见图 1 和表 1。



图 1 树木年轮采点 (●) 和气象站 (★) 分布图
Fig. 1 Location of tree-ring sampling sites (●) and meteorological stations (★)

表 1 天山西部上树线三个树木年轮采点的位置与特征

Tab. 1 Features and Locations of 3 tree-ring sampling sites near the upper tree line in Tian shan 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"	2 555	28	69	NW-NNE	36°	0.26	780
AWL	81°04'35.7"	43°24'54.6"	2 690	20	40	N-E-WN	33°	0.116	583
XBD	81°15'11.4"	42°44'43.8"	2 682	20	40	SW-NE	8°	0.264	480

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,在对树轮钻芯进行分段,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芯样本高分辨率的 (10 μm) 密度变化,并从高分别率的树轮密度曲线获取树轮宽度与树轮最大密度两项树轮宽度参数树轮轮宽与树轮最大密度。使用树轮宽度和最大密度的曲线对

比,结合 COFECHA 程序交叉定年质量检验^[14],完成对树轮最大密度资料的交叉定年。

为了在树轮最大密度年表中尽可能多的保留低频方差,树轮最大密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 年定长样条函数 (SPL)), 由 ARSTAN 年表研制程序进行标准化和年表研制,此外还使用了 67 年定长样条函数进一步稳定年表的

方差。最终得到了树轮最大密度的标准化年表(STD),差值年表(RES)和自回归标准化年表^[15,19]。

为了分析不同采点和不同去趋势方法对三个采点(XBD,AWL,JPK)树轮最大密度年表的影响,我们对比了树轮密度年表和其低频变化(8点滑动平均)曲线,并使用低滤波方法分离了树轮密度年表的高、低频变化后,计算了树轮最大密度年表在全频(原始年轮指数)、低频(低滤波值,滤去<8年的高频变化)、和高频域(高通滤波值,滤去≥8年的低频变化)的相关系数。

为了估算三个采点树轮最大密度年表中的气候信号强弱,我们计算了由三种不同去趋势方法得到的每一种树轮最大密度年表(STD、RES、ARS)与相应气象站月温度和降水资料的相关系数,以便发现对气温降水资料相关最佳的树轮最大密度年表。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。但对JPK采点,使用了温泉气象站1962-2004年的气候资料,这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,且进一步参考了以往我们进行博州地区树轮宽度年表与气候的相关分析获得的经验后做出的选择(见图1)^[20]。

2 研究结果

2.1 采样点对树轮最大密度年表的影响

2.1.1 区域曲线去趋势方法得到三个采点树轮最大密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:对于JPK,AWL and XBD三个上树线采点,其由区域曲线去趋势方法研制的树轮最大密度年表的年际变化与小于八年的低频变化存在着一定的差异性,这可能和三个采点位于不同的山体北坡地区,影响树轮最

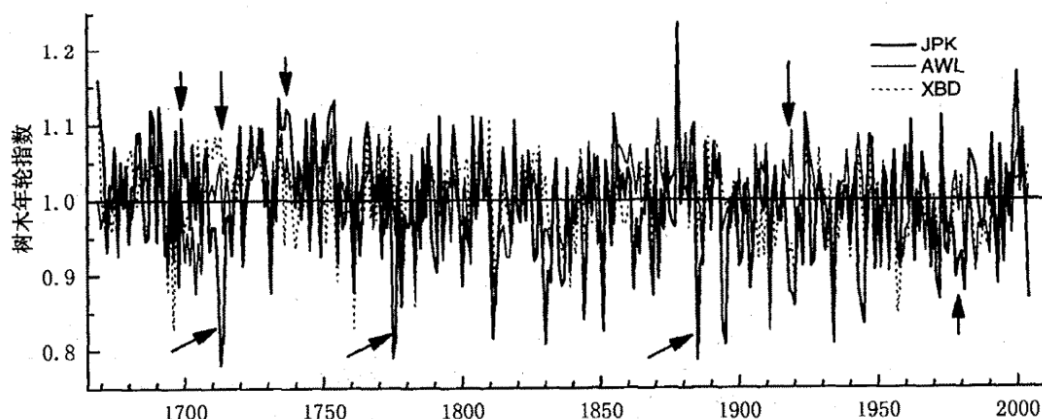


图2 XBD,AWL,JPK 采点由区域曲线去趋势方法研制的树轮最大密度年表的比较

Fig.2 Comparison of maximum density regional curve chronologies over XBD, AWL and JPK sites

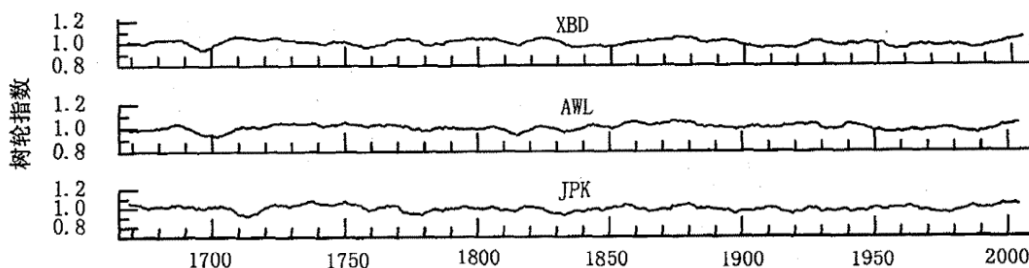


图3 XBD,AWL,JPK 采点由区域曲线去趋势方法研制的树轮最大密度年表8点滑动平均曲线的比较

Fig.3 Comparison of 8 point moving average curve of tree ring maximum density chronologies produced from regional curve over JPK,AWL and XBD sites

大密度形成的气候条件有所不同有关。

2.1.2 区域曲线去趋势方法得到三个采点树轮最大密度标准化年表的频域相关性 从表2可见:

(1) 三个采点树轮最大密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,全频域居中,说明三个采点间的最大树轮密度变化,在高频变化方面最为相似,低频变化存在着较大差异。三个采点的树轮最大密度年表,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。

(2) XBD 和 AWL 采点间树轮最大密度年表间在全频、低频和高频域的相关系数最大, JPK 和 XBD 采点间最小, AWL 和 JPK 采点间居中。这说明, XBD 和 AWL 采点间树轮最大密度年表相似性最好, JPK 和 XBD 树轮最大密度年表相似性最差, 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, 影响树轮最大密度形成的气候因子相似, 故两者树轮最大密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

响树轮最大密度形成的气候因子相差异能较大, 故两者树轮最大密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, 所以其树轮最大密度年表间的相关性居中。

表2 三个采点区域曲线去趋势最大密度标准化年表在全频、低频和高频域的互相关系数

Tab. 2 Correlations for regional curve chronologies of maximum density among the 3 sites in the all frequency, lower frequency and higher frequency domain

年表代号	XBD-AWL	AWL-JPK	JPK-XBD	平均值
全频域	0.584	0.440	0.385	0.470
低频域	0.469	0.291	0.191	0.317
高频域	0.667	0.551	0.507	0.596

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

2.2 三种去趋势方法对树轮最大密度年表的影响

2.2.1 三种去趋势方法对树轮最大密度年表的影响 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 两个采点的树轮最大密度标准化年表的平均值曲线, 显示出了很强的同步性。

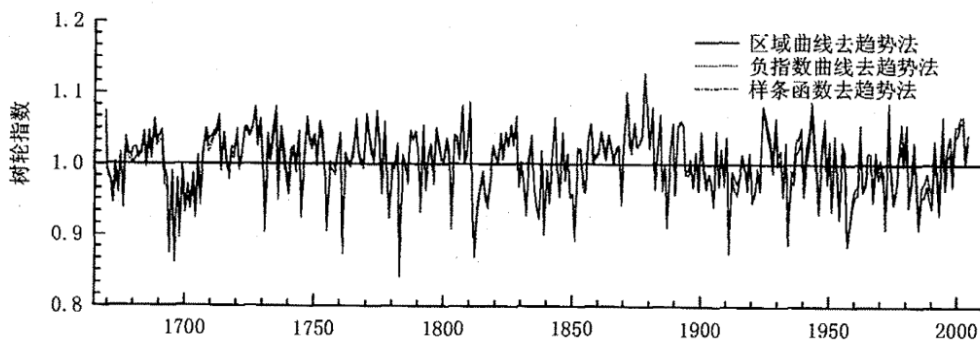


图4 由区域曲线、负指数、样条函数去趋势方法研制的 XBD, AWL 两个采点的树轮最大密度年平均值的比较

Fig. 4 Comparison of 3 maximum density mean chronologies from Res, NEX and SPL detrending methods for the average of XBD and AWL sites

2.2.2 三种不同去趋势方法对树轮最大密度年表频域相关性的影响 从表3可见: 三种不同去趋势方法研制的 XBD 和 AWL 采点树轮最大密度年表平均值序列在全频、低频和高频域的相关系数均

极高, 与图4所展示结果相一致。这说明, 新疆天山西部山脉北坡上树线的树轮最大密度年表对年表研制的三种不同去趋势方法并不敏感, 其最大密度的变化差异性主要由不同采点的气候变化差别造成。

表 3 三种不同去趋势方法研制的 XBD 和 AWL 采点树轮最大密度年表平均值在全频、低频和高频域的相关系数

Tab. 3 Correlations for the mean chronologies of tree-ring maximum density over XBD and AWL sites produced from three different detrending methods in the all frequency, lower frequency and higher frequency domain

采点代码	RCS-NEX	NEX-SPL	SPL-RCS
全频域	0.967	0.995	0.978
低频域	0.921	0.988	0.952
高频域	0.991	0.997	0.993

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

2.3 三个采点树轮最大密度年表中气候信号的比较

从表 4 可见:(1) 位于森林上树线的三个树轮最大密度年表主要与当年的月平均温度具有显著相关,与降水几乎没有关系,这与前人的研究所揭示的树轮最大密度年表主要和生长季温度具有较显著的相关性大体相一致^[3-5]。不同的是在 XBD 采点 2~3 月的温度与树轮最大密度的形成也有一定关系,其生理意义细节尚待探讨。也许与冬末春初的温度偏高,有利于生长季的及早开始和积雪的融化使土壤水分条件较好,进而通过某种树木的生理过程促进晚材最大密度的增加有关;(2) 从 JPK 经 AWL 到 XBD, 随着山区年降水总量从 442mm, 500 mm 增加到 709 mm, 树轮最大密度年表与当年几个月平均温度的相关性增强,且显著相关平均温度涉及的月数也不断增多(1(8 月)到 4(5~8 月)再到 7(2~8 月));(3) 对同一采点而言,不同的去趋势方法对树轮最大密度年表与温度的相关性影响甚小,但与平均温度相关最佳的树轮最大密度年表的类型(STD,RES,ARS)却能保持一致。这提示我们,对每一个采点研制三种类型的树轮最大密度年表的必要性要大于使用不同的去趋势方法研制年表;(4) 对不同采点而言,与平均温度相关最佳的树轮最大密度年表的类型(STD,RES,ARS)不同。

表 4 三个采点用不同去趋势方法研制的树木年轮最大密度年表与气候资料的相关系数

Tab. 4 Correlations between the tree-ring maximum density chronologies produced from 3 different detrending methods and climate data over XBD, AWL and JPK sites

采点代码	XBD		
去趋势方法	NEX	RCS	SPL
平均温度	2~8 月 0.515 ARS	2~8 月 0.515 ARS	2~8 月 0.514 ARS
降水总量			
采点代码	AWL		
去趋势方法	NEX	RCS	SPL
平均温度	5~8 月 0.489 STD	5~8 月 0.481 STD	5~8 月 0.506STD
降水总量			
采点代码	JPK		
去趋势方法	NEX	RCS	SPL
平均温度	8 月 0.415 RES	8 月 0.414 RES	8 月 0.412 RES
降水总量			

注:表中单相关系数的显著水平超过了 0.01;对 XBD 采点:气候资料年代为 1959-2005 年, N=47;对 AWL 采点:气候资料年代为 1961-2005 年, N=45;对 JPK 采点:气候资料年代为 1962-2004 年, 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

综上所述,通过对新疆天山西部三大山体北坡上树线树轮最大密度年表的研制与比较,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最大密度年表间相关性的重要因素。三个采点间的最大树轮密度变化,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) 天山西部山脉北坡上树线的云杉树轮最大密度年表对年表研制的三种不同去趋势方法不敏感,天山西部山脉北坡上树线的树轮最大密度年表对当年的温度具有显著的相关性,年降水量越多的山区,其上树线最大密度年表对温度的相关性越好,且显著相关平均温度涉及的月数也不断增多。

(3) 同一采点而言,不同的去趋势方法对云杉

树轮最大密度年表与温度的相关性影响甚小,但与平均温度相关最佳的树轮最大密度年表的类型却能保持一致;对不同采点而言,与平均温度相关最佳的树轮最大密度年表的类型(STD,RES,ARS)不同。

参考文献(References)

- [1] Schweingruber F H. Tree rings: basics and applications of dendrochronology[M]. Dordrecht Press, 1988.
- [2] Cook E R, Kairiukstis L A. Methods of dendrochronology: applications in the environmental science [M]. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 1990: 55 - 63.
- [3] Wang L, Payette S, Bégin Y. Relationships between anatomical and densitometric characteristics of black spruce and summer temperature at tree line in northern Quebec[J]. Can J Fores Res, 2002, 32(3): 477 - 486.
- [4] Schweingruber F H. Dendroecological zones in the coniferous forests of Europe[J]. Dendrochronologia, 1985, 3:67 - 75
- [5] Schweingruber F H, Bartholin T, Schar E, et al. Radiodensitometric - dendroclimatological conifer chronologies from Lapland (Scandinavia) and the Alps (Switzerland)[J]. Boreas, 1988, 17, 559 - 566
- [6] Sheppard P R, Graumlich L J, Conkey L E. Reflected- light image analysis of conifer tree rings for reconstructing climate [J]. The Holocene, 1996, 6:62-68.
- [7] Yin Xungang, Wu Xiangdaing. Modelling analysis of Huashan pine growth response to climate[J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology, 1995, 6(3):257-264. [尹训钢,吴祥定. 华山松树木年轮对气候响应的模拟分析[J]. 应用气象学报, 1995, 6(3):257-264.]
- [8] Liu Yu, Wu Xiangdaing, Shao Xuemei, et al. Seasonal precipitation and temperature reconstruction based on tree-ring density and stable carbon isotope [J]. Science in China, Ser. D, 1997, 27(3):271-277. [刘禹,吴祥定,邵雪梅,等. 树轮密度、稳定同位素对过去 100 年陕西黄陵的季节性温度和降水的恢复[J]. 中国科学(D), 1997, 27(3):271-277.]
- [9] Zhang Zhihua, Li Ji, Graumilch L J, et al. Precipitation and average monthly high temperature in Jimusaer, Xinjiang as reconstructed from tree density and tree widths[J]. Acta Meteorological Sinica, 1998, 56(1):77-86. [张志华,李冀,Graumilch L J,等. 用树木密度及宽度资料重建吉木萨尔县的季节降水和最高温度[J]. 气象学报, 1998, 56(1):77-86.]
- [10] Yang Yinke, Liu Yu, Shi Jiangfeng, et al. Experimental method of density for tree-ring research and its application in research of tree ring data from Zhungeer county, Inner Mongolia[J]. Arid Land Geography, 2006, 29(5):639 - 645. [杨银科,刘禹,史江峰,等. 树木年轮密度试验方法机器在内蒙古准格尔旗树轮研究中的应用 [J]. 干旱区地理, 2006, 29(5):639-645.]
- [11] Zhou Yuchao. Hydrology and water resource of rivers in Xinjiang [M]. Urumqi: Xinjiang Science and Sanitation Press, 1999. [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] Yuan Yujiang, Li Jiangfeng. The responses functions of tree-ring chronologies in Western Tianshan Mountains [J]. Journal of glaciology and geocryology, 1995, 17(2):170-177. [袁玉江,李江风. 天山西部树轮年表的响应函数[J]. 冰川冻土, 1995, 17(2):170-177.]
- [13] Hou Wenhui, Hou Yuexin, Su Wene, et al. Main planting species of trees in Xinjiang[M]. Xinjiang people's press, 1981. [侯文虎,侯月欣,苏文铎,等. 新疆主要造林树种[M]. 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] Zhang Tongwei, Yuan Yujiang, Yu Shulong, et al. Tree-ring chronological characteristics in the area of Baluntai on the south slope of the Tianshan Mountains[J]. Arid Land Geography, 2007, 30(1): 36 - 42. [张同文,袁玉江,喻树龙,等天山南坡巴仑台地区树轮年表特征分析 [J]. 干旱区地理, 2007, 30(1): 36 - 42.]
- [16] Fan Minjie, Yuan Yujiang, Wei Wenshou, et al. Reconstruction of precipitation series from tree-rings in the northern slopes of south Tianshan mountains of Yili Prefecture[J]. Arid Land Geography, 2007, 30(2): 268-273. [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.]
- [17] Cui Yu, Yuan Yujiang, Jin Hailong, et al. Reconstruction and analysis of 467-year spring precipitation series in the Urumqi River Head[J]. Arid Land Geography, 2007, 30(4): 496-500. [崔宇,袁玉江,金海龙,等. 乌鲁木齐河源 467 年春季降水的重建与分析[J]. 干旱区地理, 2007, 30(4): 496-500.]
- [18] Liu Puxin, Chen Fahu, Jin Liya, et al. About 100-year reconstruction of spring streamflow based on tree rings in the lower reaches of Heihe River[J]. Arid Land Geography, 2007, 30(5): 696-700. [刘普幸,陈发虎,靳立亚,等. 基于胡杨年轮重建黑河下游近 100 年春季径流量 [J]. 干旱区地理, 2007, 30(5): 696-700.]
- [19] Shao Xuemei, Wu Xiangding. Tree ring chronologies for pinus arman difranch from Huashan, China[J]. Acta Geographica Sinica, 1994, 49(2):174-178. [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.]
- [20] Yang Jinhu, Jiang Zhihong, Wei Feng, et al. Variability of extreme high temperature and low temperature and their response to regional warming in northwest China in recent 45 years[J]. Arid Land Geography, 2006, 29(5): 625-631. [杨金虎,江志红,魏锋,等. 中国西北近 45 年来年极端高、低温的变化及对区域性增暖的响应[J]. 干旱区地理, 2006, 29(5): 625-631.]