

# 新疆哈密八大石森林上限树轮记录的温度变化信息

徐国保, 刘晓宏, 陈 拓, 安文玲, 侯书贵, 李忠勤

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所 冰冻圈科学国家重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

**摘 要:** 本研究采集新疆哈密地区八大石西伯利亚落叶松森林上限树芯样本, 建立标准宽度年表。通过树木年轮-气候响应分析, 发现标准年表序列反映了该地生长季(5~9月)的月平均温度及月平均最低温度信息, 且该序列与前人的研究结果对比具有较好的一致性。树轮宽度序列主要反映出了 1885年之前以冷期为主, 1885年之后以暖期为主, 且暖期延续时间变长, 20世纪后半期增温的趋势。该序列与天山冰川进退的时间较为一致, 同时也发现该序列极值与当地蝗灾具有很好的对应, 与亚洲近两百年来大型火山喷发事件具有很好的一致性, 由此可以推测该年表在一定程度上捕捉到了冰川进退、火山事件的环境信息。

**关键词:** 哈密; 树木年轮; 标准年表; 温度

**中图分类号:** Q948

**文献标识码:** A

作为一种古气候研究的代用资料, 树木年轮具有分辨率高、记录连续性好和重建精度较高等特点, 是全球变化研究中获取过去气候变化信息的重要方法之一<sup>[1-3]</sup>。近年来, 树木年轮资料已被广泛应用于气候重建, 也取得了较好的成果。IPCC第四次评估报告就曾引用树木年轮重建的气候资料。新疆是我国树木年轮学开展较早的地区之一。天山北坡中东部的昌吉和哈密等地区, 在 20世纪 80年代初就已建立了大量的树轮宽度年表<sup>[4]</sup>。随着树木年轮学研究的深入, 李江风<sup>[5-7]</sup>和袁玉江<sup>[8-12]</sup>等在天山北坡中东部的一些地区又做了大量的树木年轮气候学和树木年轮水文学的研究。彭剑锋等<sup>[13]</sup>利用新疆西伯利亚落叶松不同海拔年表进行了气候-年轮响应分析。到目前为止, 该地区树木年轮研究的样本或大多采用 20世纪 80年代初期样本, 或反映降水变化, 而对温度的研究相对较少。这样不可能完全反映出 20世纪后期的新疆的气温变化, 因此有必要建立新的树木年轮年表进行研究。

本研究选取了天山北坡哈密地区八大石的西伯利亚落叶松作为研究对象, 按照国际通用的树木年轮气候学研究方法, 建立精确的年轮宽度年表, 试图探讨 20世纪后期至今的新疆气候, 特别是气温变化问题。

## 1 研究区概况

采样点位于哈密地区八大石(图 1), 属庙尔沟河上游, 东天山深处的一个“世外桃源”。样点距哈密市约 100 km, 平均海拔 2 000 m。该区域气候主要受西风带的影响。气象记录表明, 该地年降水量约 37 mm, 年蒸发量 2 771 mm, 年平均气温 10℃左右, 最热月(7月)平均气温 26.4℃, 最冷月(1月)平均气温 -11.1℃, 气温年较差大于 30℃, 属于典型的大陆性干旱气候。该区域树木生长季节为 5月(4月下旬)~9月。

收稿日期(Received date): 2008-12-05; 改回日期(Accepted): 2009-02-24.

基金项目(Foundation item): 科技部国家重点基础研究发展计划‘我国冰冻圈动态过程及其对气候、水文和生态的影响机理与适应对策’(2007CB411506)和科技部公益性行为(气象)科研专项(GYHY200706008)共同资助。[Project supported by the key basic research development plan of Ministry of Science (2007CB411506) and public behavior (Meteorology) special research of Ministry of Science (GYHY200706008).]

作者简介(Biography): 徐国保(1985-), 男, 甘肃武威人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 树木年轮与气候变化。[Xu Guobao (1985-), Male, Born in W u e i c i t y of G a n s u p r o v i n c e. Post graduate, mainly conducting research on tree-ring and climate change.] E-mail: xgb234@

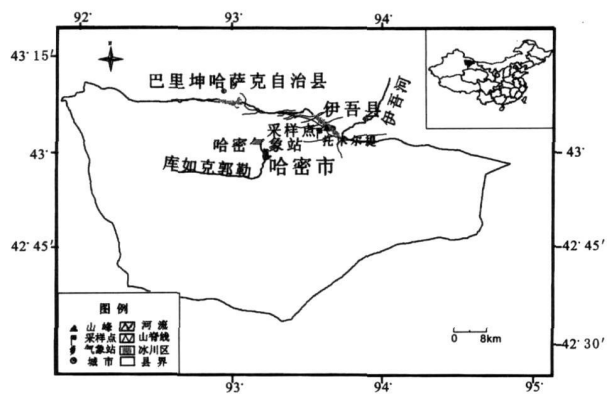


图 1 年轮采样点示意图

Fig. 1 Map showing the sampling site and nearby meteorological station

2 样本采集及年表建立

我们于 2006-06 在哈密地区八大石西伯利亚落叶松林上限 (42° . 906'N, 94° 12. 510' E, 2 894 m) 处按照年轮气候学和年轮生态学的基本原则, 选取树龄较大, 植株健康的活树 23 棵, 采用生长锥钻取髓心样本 46 个。采样点植被覆盖度低。由于样点海拔较高, 几乎不受人为影响, 因此采集的树轮样本

能够较好地反映自然环境及气候变化的信息。

依据树木年轮分析的基本程序 (Fritts, 1976), 在实验室先对采集的样芯进行晾干、固定、打磨和初步定年, 然后测量轮宽。在精度为 0. 001 mm 的宽度测量仪上用 MeasureJ2 程序进行宽度测量, 然后进行交叉定年。利用 COFECHA 程序进行定年质量检验且通过检验。在年表研制过程中, 剔除了奇异点过多或者与主序列相关性较差的样芯, 最终共取 43 个样芯用于建立树轮年表。采用 ARSTAN 树轮年表研制程序 (Cook 1985), 利用负指数函数去除生长趋势, 用自回归模型消除森林内部树木之间的竞争影响所致的低频变化, 最终得到了标准化树轮年表 (STD)、差值年表 (RES) 及自回归标准化树轮年表 (ARS)。

表 1 中列出了年表的基本信息, 由于所建三年表各有特色, 在本研究中我们选取标准化年表进行树轮-气候响应分析。所建宽度年表长度 1670~2005 年 (图 2), 从 1800 年开始样本量大于 10 能够较好地代表样点的信息 (EPS > 0. 85, SSS > 0. 80), 因此在本文中选取 1800~2005 年这一时段进行分析。

表 1 树轮年表信息

Table 1 The information of tree-ring width chronology

采样点	缺轮率	SNR	EPS	SSS	相关系数	平均敏感度		
						STD	RES	ARS
42° 58. 906'N, 94° 12. 510' E	0. 19%	12. 47	0. 926	0. 809	0. 861	0. 202	0. 266	0. 185

注: SNR 指信噪比, EPS 样本对总体代表性, SSS 样本对样点的代表性, STD 为标准年表, RES 为差值年表, ARS 为自回归差值年表。

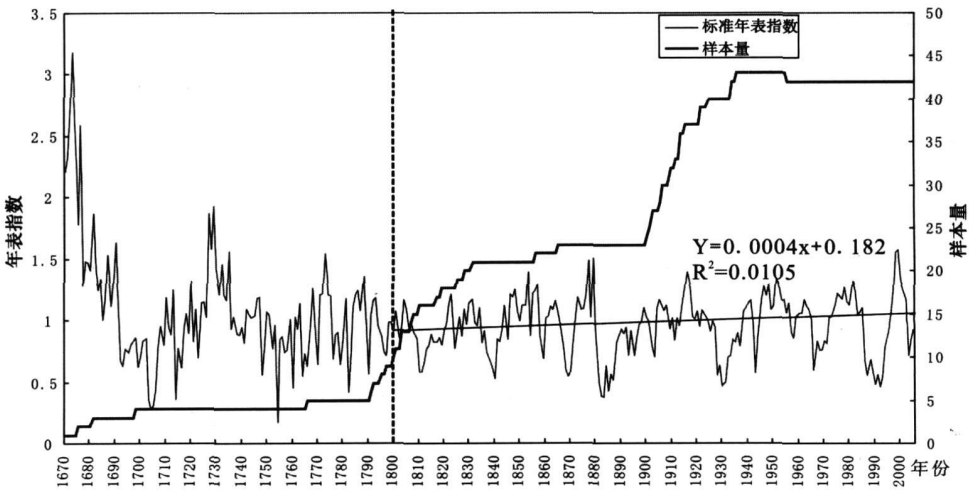


图 2 标准年表宽度指数与样本数

Fig. 2 The standardized tree-ring width chronology and sample depth

### 3 响应分析

#### 3.1 响应分析结果

为了分析宽度年表与气候要素之间的关系,我们选取了与采样点气候一致,距离最近(100 km)的

哈密市气象站( $42^{\circ}49'N$ ,  $93^{\circ}30'E$ , 737.2 m)的气象资料(1951~2005年)。对标准年表年轮指数与各月降水量、月平均温度、月平均最低气温和月平均最高气温及不同月份组合进行相关函数分析。考虑到树木生长对气候响应的滞后效应,气候资料分析时段为上年5月到当年10月(图3)。

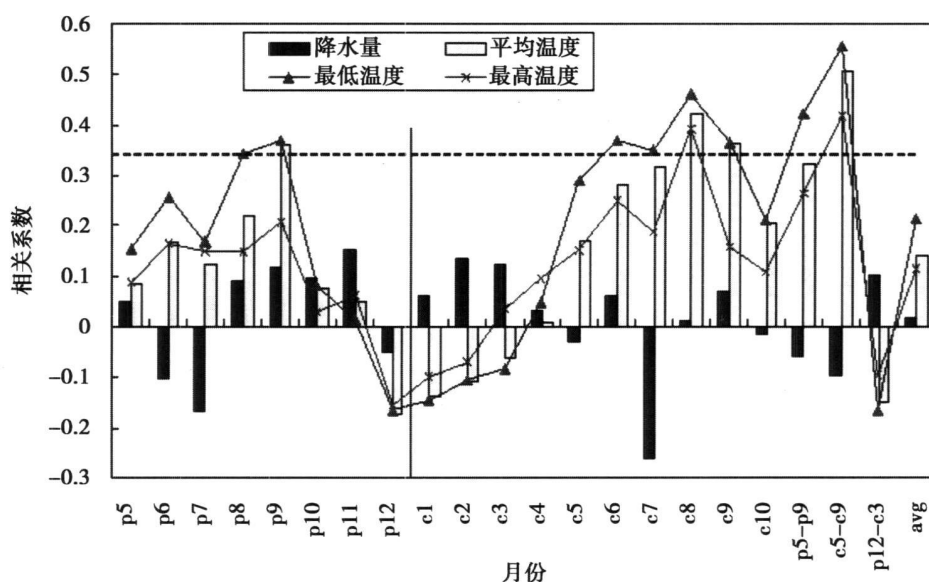


图3 标准年表宽度指数与降水量、平均温度、最低气温、最高气温的相关系数  
(虚线表示0.01的置信度; p为上一年; c为当年; avg为平均值,在计算降水时求和)

Fig. 3 The correlation coefficients of tree-ring width (STD) and precipitation, mean monthly temperature, mean monthly minimum temperature and mean monthly maximum temperature

由图3可以看出,该样点树木生长对于温度变化的响应较为明显,而对于降水的响应不显著。标准年表与各月的总降水量单相关系数都表现得较低,最高仅达到-0.26。一方面由于采样点位于森林上限,海拔较高,降水量较丰富,导致在该样点降水非树木生长的限制因子,这与新疆年轮工作组<sup>[14]</sup>以及勾晓华<sup>[15]</sup>等在祁连山研究结果一致;另一方面,由于采样点位于高海拔山区而气象站位于干热的盆地地区,二者具有一定的差异性。

树轮宽度指数与哈密地区的平均气温和月平均最低气温、月平均最高温度均具有较好的相关性(见图3)。树轮标准年表与当年8月的月平均温度、月平均最低气温以及月平均最高温度的相关系数分别为0.42、0.46和0.39,均超过99%的显著性水平。标准年表(STD)和当年生长季(5~9月)月平均温度、月平均最低气温和月平均最高温均有显著的正相关关系( $r=0.51$ ,  $P<0.001$ ;  $r=0.55$ ,  $P<$

$0.001$ ;  $r=0.42$ ,  $P<0.01$ )。因此我们判断,该标准宽度年表序列能够较好地反映该地区温度变化的信息。虽然该年表与生长季(5~9月)最低气温的相关系数达到0.55,方差解释量达到30%,但由于所选取气象站与年轮采样点之间具有地形差异上的影响,我们认为要精确重建该地的气温序列还需要更多的年表数据。总体来讲,该标准年表序列在一定程度上较为可靠地反映了该地生长季(5~9月)温度变化的信息,尤其能够反映生长季月平均最低气温的变化信息。

#### 3.2 生长季温度的树木生理学意义

许多研究已表明,对于低海拔地区,夏季降水是树木生长的主要影响因子,而对于高海拔地区林线附近,夏季温度是树木生长的主要影响因子<sup>[15-19]</sup>。在我国青藏高原东部和东北部也有同样的结论,6、7月的最低气温和树木的生长具有正的相关关系<sup>[20-22]</sup>。在树线附近较低的土壤温度会抑制根的

生长和水分的吸收<sup>[23 24]</sup>, 树线附近针叶树管胞在生长季分化和扩张, 而生长季最低温度是影响形成层活动的重要因子<sup>[25]</sup>。在北方树线附近 6~7 月较低的平均最低温度甚至会导致霜轮和伪轮的形成<sup>[26]</sup>。由于采样点处于干旱区林上线, 在适宜温度区间内, 生长季温度越高则树木的细胞分化越迅速, 越有利于树木生长。

以上分析表明该年表序列能够较好的代表该地的气温变化趋势, 所反映的西伯利亚落叶松生长季平均温度以及最低温度具有明显的生理学意义。因此, 可以用该标准年表序列来表征该地近 200 年来的温度变化趋势。

## 4 树轮宽度反映的温度变化及其与其他资料对比

### 4.1 近 200 年来的冷暖波动

为了更好地反映历史时期温度变化趋势, 对宽度标准年表进行了低通滤波, 保存  $\geq 8$  a 的低频变化信息(图 4)。采用气候等级划分的方法<sup>[27]</sup>, 以 1 倍

的平均离差为标准, 粗略的划分出三个等级:  $> 1$  倍的平均离差为气温为暖;  $< -1$  倍的平均离差气温为冷; 介于二者之间为正常。计算后得到持续时间  $\geq 7$  a 的冷暖期共有 8 个(表 2), 该年表序列表现出 1885 年之前以冷期为主, 1885 年之后以暖期为主, 且暖期延续时间变长的特点。20 世纪该序列以暖期增加为特点, 期间也有一定的波动, 总体趋势是波动中向温暖变化。

表 2 近 200 a 树轮宽度反映的哈密冷暖变化  
Table 2 The periods of warm and cold in recent  
200 years (1800~ 2005) in the Hami area

冷期	持续年数 (a)	暖期	持续年数 (a)
1809~ 1818	10		
1836~ 1842	7	1847~ 1859	13
1867~ 1869	4	1874~ 1877	4
1881~ 1892	10	1912~ 1921	10
1926~ 1935	10	1944~ 1958	15
1986~ 1994	9	1975~ 1982	8
		1997~ 2003	7

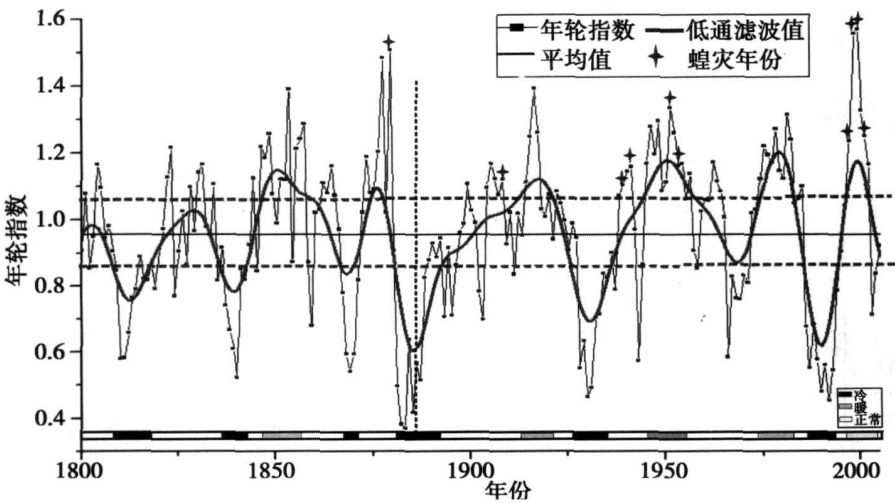


图 4 年轮指数序列表征的气温变化趋势曲线及其与发生蝗灾年份对比  
Fig 4 The variations in temperature reflected by tree-ring width chronology and its  
comparison with the years which occurred grasshopper calamity

### 4.2 与记录资料对比

张家宝等<sup>[28]</sup>研究认为, 近 40 年来北疆年平均温度具有增加的趋势。在哈密八大石标准年表序列中 1800~2005 年年轮指数的趋势线系数为正(见图 4), 也反映出近 200 年以来该地区的生长季温度的增加。从该序列来看, 反映了 1997~1999 年是新疆

近 40 年来的高温期, 而 1962~1972 年该地区的低温时期, 这与张家宝等的研究结果完全一致。杨莲梅<sup>[29]</sup>、杨洪升<sup>[30]</sup>等研究认为蝗虫灾害的发生与当地的夏季温度具有较强的关系, 即蝗灾严重发生的年份, 蝗虫产卵期间(上一年 7~8 月)的平均气温偏高。袁玉江<sup>[11]</sup>等在研究干沟年表时发现, 干沟年

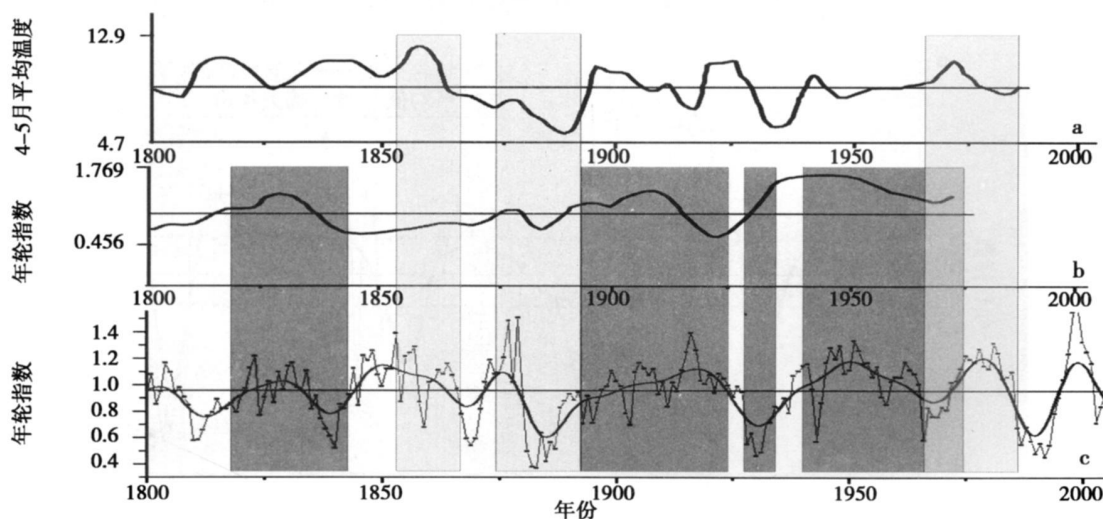
表的极值与巴里坤蝗灾发生年份有很好的对应关系。新疆巴里坤蝗灾严重的年份有: 1879年、1882年、1909年、1939年、1941年、1951年、1953年, 哈密地区 1990年以来发生了 6次严重蝗灾事件 (1990年、1991年、1997~1999年、2001年)。我们建立的标准年表序列在严重蝗灾发生的这些年 (除 1882 1990 1991 年以外) 温度都表现出高温的特点 (图 4), 这也在一定程度上验证了哈密八大石标准年表序列在极端年份反映温度信息的可靠性。

#### 4.3 与其他树轮资料比较

罗格平等<sup>[10]</sup>利用新疆年轮组于 1979年在哈密地区采自巴里坤山区的 7号年表研究发现: 该年表与降水的相关性较差, 而与温度相关较好, 这在本研究中也得到了证实 (见图 3)。罗格平等<sup>[10]</sup>研究得出巴里坤近 250 a来 (1715~1974年) 气温变化以冷期为主, 且气温变化的振幅在逐渐加大。本研究中以 1885年为界, 该地气温在 1885~2005年期间变幅加剧, 冷期延续时间变短, 暖期增加且延续时间较长 (如 1902~1922年、1938~1984年), 两者结论

完全一致。

用本文所研制的标准年表序列与王承义等<sup>[31]</sup> (图 5a)、罗格平等<sup>[10]</sup> (图 5b) 用巴里坤年表建立的该地区冷暖变化曲线进行对比。由于本文用的可靠年表序列较短, 所以对王承义等<sup>[31]</sup>、罗格平等<sup>[10]</sup>的序列进行了截取, 三条序列均为滤去  $\leq 8$  a 周期的曲线。结果发现, 本文序列与罗格平等<sup>[10]</sup>采用年轮指数反映的冷暖变化具有很好的对应关系, 但在某些时段 (如 1800~1815年、1846~1850年) 对应较差, 这也体现了不同采样点的差异性以及树轮记录对气候信息具有一定的损失。与王承义等<sup>[31]</sup>所重建的 4~5月平均温度的序列相比较, 由于二者在采样点以及采用气象站点不同必然会导致在部分时段上的差异 (如 1805~1810年、1816~1830年、1900~1919年), 但本文序列在高值点、低值点以及变化趋势上二者具有较为明显的一致性, 这也说明我们所该年表序列在反映温度变化的极值以及变化趋势上具有较高的可靠性。



(a. 王承义重建的 4~5 月最低温; b. 罗格平年轮指数;  
c. 为本文标准年表序列; 粗线为低通滤波值, 细线为本文年轮指数序列值)

图 5 标准年表年轮指数序列与其他年轮序列比较

Fig 5 The comparison among indexed width series of standard tree-ring chronology with other tree-ring series

我们用 Wilson 等<sup>[32]</sup>利用北半球 15 个地区的树轮年表建立重建的北半球温度 (图 6a) 来比较, 为了便于和本文年表比较, 同样对该序列进行了低通滤波处理。结果发现二者相关性很好, 计算的相关系数为 0.201, 远  $< 0.001$  ( $n = 206$ ) 的置信度水平。从图 6 可以明显的看出, 在标准年表年轮指数序列的

低值期如 1800~1821年、1832~1843年、1863~1871年、1879~1891年、1960~1980年期间, 以及序列的高值期如 1822~1831年、1872~1878年、1945~1960年、1995~2005年期间与 Wilson 等重建的北半球温度序列都有很好的一致性。然而 Wilson 等重建的温度序列用标准化指数表示, 所采用

的均值 (1750~1988 年) 比我们的年表序列 (1800~2005 年) 要长。因此, Wilson 重建的北半球平均温度的序列波动要比我们所采用的标准年表序列波动小, 这也体现了区域和半球温度变化具有一定的差异性。两序列对比可以看出, 20 世纪以来表现出增温趋势, 在 1885 年以前低值较多, 1885 年以后高值增多, 持续时间长, 证明了暖期的增多。

利用刘晓宏等<sup>[33]</sup>在祁连山中部建立的能够较好反映温度变化的祁连山圆柏宽度指数年表, 截取其中 1800~2000 年的序列长度 (图 6c), 对比发现: 在部分时段 1854~1871、1888~1972、1992~2000 年

期间二者变化趋势较为一致。在 1926~1935 年期间二者都表现为低值期, 在 1944~1958 年期间二者都表现为高值期; 在 1888~1910、1931~1958 年期间表现为增温期, 而 1921~1930、1960~1972、1992~2000 年期间二者表现为降温期。刘晓宏等<sup>[33]</sup>建立的序列增温表现得比较明显, 本文中序列有增温趋势但不明显。分析原因可能由于二者所选样点不同造成这种差异, 这也体现了在面对温度变化时, 不同区域温度变化的特殊性。但二者都明显地表现出 1885 年以后暖期增多趋势的出现, 这与前文结论完全一致。

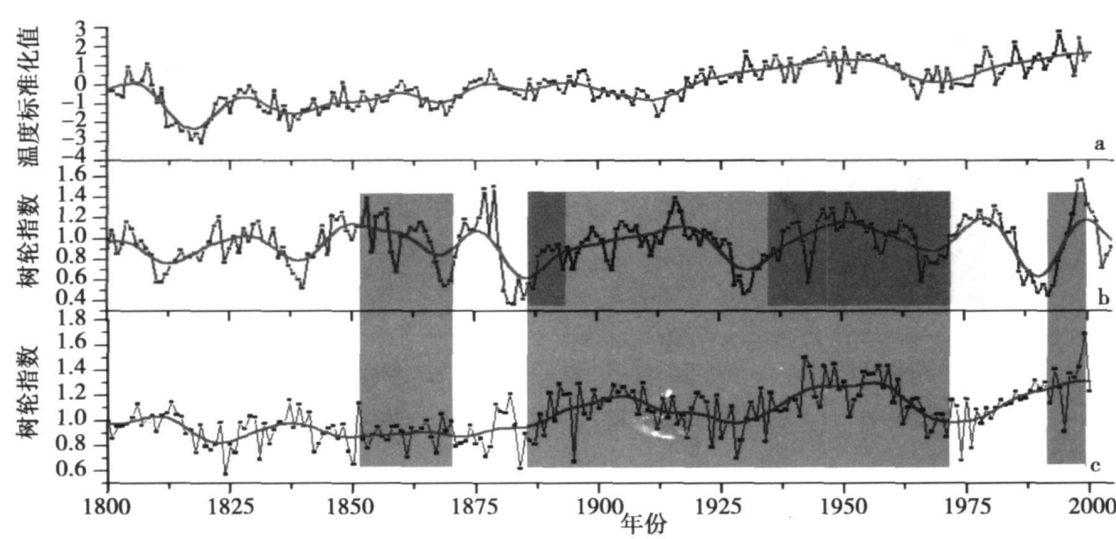


图 6 标准年表宽度指数序列与重建的北半球温度、祁连山树轮宽度序列对比  
(a Wilson 等重建的北半球温度粗线为低通滤波值, 细线为重建序列值; b. 本文标准年表序列, 粗线为低通滤波值; c. 刘晓宏等建立的祁连山宽度序列, 粗线为低通滤波值)  
Fig 6 The comparison among standardized width chronology, reconstructed North hemisphere temperature and standardized width chronology of Qilian mountains, China

### 4.4 冰川进退和火山活动

采样点虽然离庙尔沟冰川区较近, 但目前庙尔沟冰川的观测资料较少无法进行对比, 我们选择了观测资料比较全面的乌鲁木齐河源一号冰川的资料进行对比。据陈吉阳<sup>[34]</sup>研究乌鲁木齐河源区一号冰川一列冰碛垄形成的气候寒冷阶段结束于距今 (1987 年) 91 a 说明在 1892 年之前的气候对应一段冷期, 本序列在 1881~1892 年表现为冷期。近期研究表明乌鲁木齐河源一号冰川在 1958~2003 年物质平衡以负平衡为主<sup>[35]</sup>, 在本文序列中该时期表现为暖期增多、持续时间变长的趋势。在最近 45 a 冰川以消融为主, 尤其是近 10 a 消融强烈, 在 1997 年达到最大值, 而在八大石标准年表宽度指数序列

中也发现 1997~1999 年为年轮指数的极高值, 这也说明我们的该标准年表宽度指数序列与现代冰川活动较为一致。同样我们也利用天山博格达地区距现代冰舌最近的三道终碛<sup>[36, 37]</sup>对比发现: 最近的冰碛形成时间 19 世纪中叶和 20 世纪初至 30 年代, 这与本研究标准年表序列所反映的温度低值期 1836~1842、1926~1935 年具有较好的对应性, 由于资料分辨率的不同, 在本序列中表现的冷暖变化更为复杂。

Fritts<sup>[1]</sup>认为树轮宽度可以成为火山活动对气候影响的代用记录。Alan Robock<sup>[38]</sup>等研究认为, 在火山爆发后往往会增强漫反射和减少太阳直接辐射造成“阳伞效应”, 从而减少到达地面的太阳辐射,

树木的生长可能会记录火山活动。Ludum 发现 1815~1816 年英国新英格兰是无夏之年, 无并归因于 1815 年 Tambora 火山的喷发。Mann<sup>[39]</sup>、Alan Robock<sup>[40]</sup> 等研究认为 1815 年印度尼西亚的 Tambora 火山喷发后北半球温度下降了约  $0.6^{\circ}\text{C}$ , 在随后的 Krakatau 火山喷发后温度降低了  $0.3^{\circ}\text{C}$ , 并得出火山活动并没有对气候造成 20 a 以上的影响和树木年轮能记录火山活动的结论。梁尔源等<sup>[41]</sup> 研究长江源区近 400 年来的夏季温度变化时发现, 重建的序列反映了 Tambora 火山喷发事件。Cook 在研究尼泊尔 Kathmandu 时发现 1815~1820 年这个极端冷事件的出现, 可能是由于 Tambora 火山爆发所造成的大面积区域降温事件<sup>[42]</sup>。Gu<sup>[43]</sup> 等人研究发现在过去 100 a 中最大的一次火山喷发——1992 年印度尼西亚 Pinatubo 火山喷发后造成极地地区 1991

年末和 1992 年初冬季温度和夏季温度的降低。Lucht 等<sup>[44]</sup> 研究发现 Pinatubo 火山喷发造成夏季低温导致亚寒带树木年轮宽度的变化。利用 Mann 等<sup>[39]</sup> 所重建的资料和我们的标准年表序列作对比, 结果发现: 在 1815、1883、1991 年以及之后的 2~3 a 内两序列都表现为宽度的低值期 (图 7), 也就是说这些低值期反映出温度信息的低值期。Alan Robock 等<sup>[40]</sup> 研究发现 Mann 等<sup>[39]</sup> 所重建的序列中这些低值期与火山活动具有一定关系。本文标准年表低值期与亚洲火山活动喷发期具有较好的对应, 因此可以认为该标准年表序列在一定程度上捕捉到了火山活动, 火山活动也反过来应证了该年表序列反映的温度低值信息的可靠性, 当然这其中的更深的机制研究还需要进行进一步的工作。

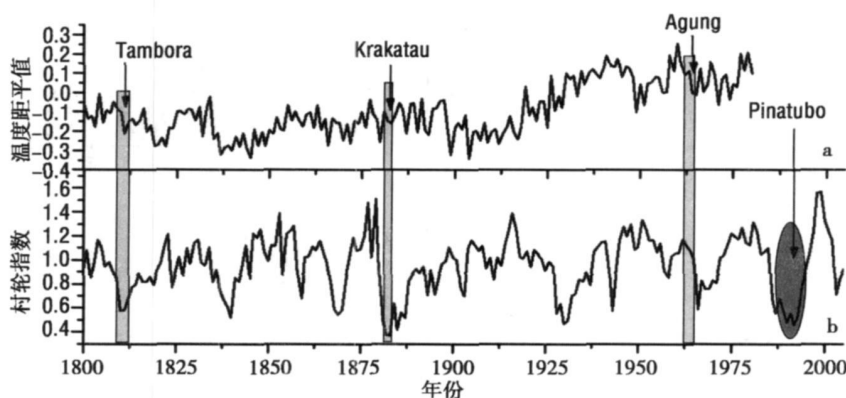


图 7 火山事件与标准年表序列比较

(a. Robock 利用 Mann et al 用树轮重建北半球序列反映的火山事件; b. 本文中序列)

Fig. 7 The comparison between volcanic eruption events and tree-ring standard width chronology

## 5 结论

通过哈密八大石森林上限的树轮年表对气候响应分析, 发现八大石林上限的树木生长受温度的影响显著, 尤其对生长季的最低温变化响应最强, 且该指标具有一定的树木生理学意义。该序列表现出 1885 年之前以冷期为主, 1885 年之后以暖期为主, 且暖期延续时间变长和 20 世纪以暖期增加为特点。温度变化的总体趋势是波动中向温暖变化, 这也与全球增暖具有一定的一致性。同时, 该序列与天山冰川进退的时间较为一致; 也发现该序列极值与当地蝗灾具有很好的对应; 与亚洲近两百年来大型火山喷发事件具有很好的一致性, 该年表在一定程

度上可能捕捉到了冰川进退、火山事件的环境变化信息。

## 参考文献 (Reference)

- [1] Fritts H C. Tree Rings and Climate [M]. London: Academic Press, 1976. 207~245, 470~556.
- [2] Becker A, Hantel Bugmann. Predicting global change impact on mountain hydrology and ecology / Altitudinal Gradient Studies [R]. GBP Report 43. 1997. 43. 5~10.
- [3] Shao X M. Advances in dendrochronology [J]. Quaternary Sciences, 1997, (3): 265~271 [邵雪梅. 树轮年代学的若干进展 [J]. 第四纪研究, 1997, 3: 265~270].
- [4] Li Jiangfeng. Xinjiang Dendroclimatology and Dendrohydrology Research [M]. Beijing: Meteorological Press, 1989. 35~68, 74~80 [李江风. 新疆年轮气候年轮水文研究 [M]. 北京: 气象出版社, 1989. 35~68, 74~80].

- [ 5 ] Li Jiangfeng Yuan Yujiang You Xiyao *et al* Xinjiang Dendrohydrology Research and Apply[M]. Beijing: Science Press, 2000: 106~ 120 219 ~ 226 [李江风,袁玉江,由希尧,等著. 树木年轮水文学研究与应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2000: 106~ 120 219 ~ 226]
- [ 6 ] Li Jiangfeng Yuan Yujiang You Xiyao 360 year's runoff reconstruction in the Ununqi River basin using tree-rings[ J]. *Quaternary Sciences* 1997, (2): 131~ 38[李江风,袁玉江,由希尧. 乌鲁木齐河山区流域 360 年径流量的重建 [J]. 第四纪研究, 1997, (2): 131~ 38]
- [ 7 ] Li Jiangfeng Study on tree-ring in Xinjiang[ J]. *Arid Land Geography*, 2008, 25(2): 74~ 78 [李江风. 新疆年轮研究进展 [J]. 干旱区地理, 1990, 13(4): 74~ 78]
- [ 8 ] Yuan Yujiang Li Jiangfeng The response functions of tree-ring chronologies in western Tianshan Mountain[ J]. *Journal of Glaciology and Geocryology* 1994 11 (1): 27~ 34[袁玉江,李江风. 天山东端年轮的响应函数 [J]. 干旱区研究, 1994 11(1): 27~ 34]
- [ 9 ] Yuan Yujiang Li Jiangfeng Reconstruction and analysis of 450 years winter temperature series in the Ununqi River source of Tianshan Mountains[ J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1999, 21 (1): 64~ 70[袁玉江,李江风. 天山乌鲁木齐河源 450a 冬季温度序列重建与分析 [J]. 冰川冻土, 1999, 21(1): 64~ 70]
- [ 10 ] Luo G P, Yuan Y J. Fluctuate of modern climate and cold & warm change in recently 250 years in Balkun basin[ J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1991, 13 (1): 77~ 83 [罗格平,袁玉江. 巴里坤盆地现代气候波动及近 250 年来的冷暖变化 [J]. 冰川冻土, 1991, 13(1): 77~ 83]
- [ 11 ] Yuan Y J Wang C Y. 300 years' characters of dryhumid change and future forecast in Balikun[ J]. *Journal of Xinjiang Weather*, 1990 13 (4): 10~ 14 [袁玉江,王承义. 巴里坤 300 年干湿变化特征及其趋势预测 [J]. 新疆气象, 1990 13(4): 10~ 14]
- [ 12 ] Yuan Yujiang Han Shutu Feature of dry and wet changes for 500 years in the Northern of Xinjiang[ J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1991, 13 (4): 316~ 322 [袁玉江,韩淑媛. 北疆 500 年干湿变化特征 [J]. 冰川冻土, 1991, 13 (4): 316~ 322]
- [ 13 ] Peng Jianfeng Gou Xiaohua Chen Fahu *et al* The responses of growth ring width variations of Larix sibirica Ledeb to climatic change in eastern Tianshan Mountain[ J]. *Acta Ecologica Science*, 2006, 26(8): 2727~ 2731 [彭剑锋,勾晓华,陈发虎,等. 天山东部西伯利亚落叶松树轮生长对气候要素的响应分析 [J]. 生态学报, 2006 26(8): 2727~ 2731]
- [ 14 ] Zhang Ruibao Wei Wenshou, Yuan Yujiang *et al* Development and climatic significance of the chronologies of tree-ring samples from the Huocheng Region, West Tianshan Mountains[ J]. *Arid Land Geography* 2008, 25(2): 716~ 722 [张瑞波,魏文寿,袁玉江,等. 新疆霍城地区树轮年表的建立及气候意义 [J]. 干旱区地理, 2008 25(2): 716~ 722]
- [ 15 ] Gou Xiaohua Chen Fahu Gordon Jacoby *et al* Rapid tree growth with respect to the last 400 years in response to climate warming in northeastern Tibetan Plateau[ J]. *International Journal of Climatology*, 2007, 27: 1497~ 1503
- [ 16 ] Buckley BM, Cook ER, Peterson M J *et al* A changing temperature response with elevation for *Lagarstrobos franklinii* in Tasmania Australia[ J]. *Climate Change*, 1999, 36: 477~ 498
- [ 17 ] Makinen H, Nojd P, Kahle HP, Newmann U, *et al* Radial growth variation of Norway spruce (*Picea abies*) across latitude and altitude gradients in central and northern Europe[ J]. *Forest Ecology Management*, 2002, 30: 769~ 777
- [ 18 ] Peterson D W, Peterson D L Mountain hemlock growth responds to climatic variability at annual and decadal time scales[ J]. *Ecology*, 2001, 82: 3330~ 3345
- [ 19 ] Wilson R J S Hopfmueller M. Dendrochronological investigation of Norway spruce along an elevational transect in the Bavarian forest Germany[ J]. *Dendrochronologia*, 2001, 19: 67~ 79
- [ 20 ] Shao XM, Fan JM. Past climate on west Sichuan Plateau as reconstructed from ring-widths of dragon spruce[ J]. *Quaternary Sciences*, 1999 (1): 81~ 89
- [ 21 ] Brauning A. Dendrochronology for the last 1400 years in eastern Tibet[ J]. *Geology*, 1994, 34: 75~ 95
- [ 22 ] Liang E Y, Shao X M, Eckstein D, *et al* Topography- and species-dependent growth responses of *Sabina przewalskii* and *Picea crassifolia* to climate on the northeast Tibetan Plateau[ J]. *Forest Ecology Management*, 2006 236: 268~ 277
- [ 23 ] Kerner C H. Alpine Plant Life - Function Plant Ecology of High Mountain Ecosystems[ J/OL]. Springer: Berlin, 1999
- [ 24 ] Mayr S. Limits in water relations. In: Wieser G., Tausz M. (Eds.), *Trees at their Upper Limits* [J/OL]. Springer: Dordrecht, 2007, 145~ 162
- [ 25 ] Deslauriers A, Morin H, Bérthiaume Y. Cellular phenology of annual ring formation of *Abies balsamea* in the Quebec boreal forest (Canada) [ J]. *Can. J. For. Res* 2003, 33: 190~ 200
- [ 26 ] Gurskaya M A, Shiyatov S G. Distribution of frost injuries in the wood of conifers [ J]. *Russ. J. Ecol* 2006, 37: 7~ 12
- [ 27 ] Wu Xiangding *et al* Tree Ring and Climate[M]. Beijing: Meteorological Press, 1990: 237~ 261 [吴祥定等著. 树木年轮与气候变化 [M]. 北京: 气象出版社, 1990: 237~ 261]
- [ 28 ] Zhang Jiabao Shi Yuguang *et al* Climate Change and Short-term Prediction in Xinjiang[M]. Beijing: Science Press, 2000: 106~ 120 219 ~ 226 [张家宝,史玉光,等. 新疆气候变化及短期气候预测研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2002: 106~ 120 219 ~ 226]
- [ 29 ] Yang Lianmei Wang Jianzhong Meteorological factors on grasshopper bloom in Hami Area[ J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23 (6): 42~ 46 [杨莲梅,王建中. 影响哈密地区蝗虫大发生的气象因子研究 [J]. 生态学杂志, 2004 23 (6): 42~ 46]
- [ 30 ] Yang Hongsheng Ji Rong Xiong Ling *et al* Effect of meteorological factors on locust occurrence in the North of Mt. Tianshan in Xinjiang [ J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2007, 44(4): 715~ 719 [杨洪升,季荣,熊玲,原惠. 气象因子对北疆地区蝗虫发生的影响 [J]. 昆虫知识, 2007, 44(4): 715~ 719]
- [ 31 ] Wang Chengyi Li Min. Feature of warm and cold changes for 500 years in the Balkun [ J]. *Journal of Xinjiang Weather*, 1990, 13 (12): 19~ 22 [王承义,李敏. 巴里坤近 500 年冷暖变化特征



- 分析[J]. 新疆气象, 1990, 13(12): 19~ 22]
- [32] Wilson R, R D Ariga B Buckley, *et al* A matter of divergence: Tracking recent warming at hemispheric scale using tree ring dataes [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2007, 112 D17103 doi 10.1029/2006JD008318
- [33] Xiaohong Li, Xuemei Shao, Liangju Zhao, *et al* Dendroclimatic temperature recorded derived from tree-ring width and stable isotope chronologies in the Middle Qilian Mountains, China [J]. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 2007, 39(4): 651~ 657
- [34] Chen Jiyang Preliminary research on the mid-and little-holocene glacial fluctuation in Tianger Peak region, Tianshan Mountains over Past 45 years [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1987, 9(4): 347~ 356 [陈吉阳. 天山天格尔第二峰地区全新世中后期冰川变化的初步研究 [J]. 冰川冻土, 1987, 9(4): 347~ 356.]
- [35] Ye Basheng, Da Qingyang, Keqin Jiao, *et al* The Urumqi River source Glacier NO. 1, Tianshan, China Changes over Past 45 years [R]. Annual Report of Tianshan Glaciological Station, 2003~ 2004
- [36] Zheng Benxing, Zhang Zhenshuan Fluctuation of glaciers during Neoglaciation in Bogda and the Urumqi river head Tianshan [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1983, 5(3): 133~ 141 [郑本兴, 张振栓. 天山博格达峰地区与乌鲁木齐河源新冰期的冰川变化 [J]. 冰川冻土, 1983, 5(3): 133~ 141]
- [37] Wu Guanghe, Zhang Shunying, Wang Zhongxiang Retreat and advance of modern glacier in Bogda Tianshan [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1983, 5(3): 143~ 152 [伍光和, 王顺英, 王仲祥. 天山博格达峰现代冰川进退变化 [J]. 冰川冻土, 1983, 5(3): 143~ 152]
- [38] Robock A. Volcanic eruptions and climate [J]. *Rev. Geophys.*, 2000, 38: 191~ 219
- [39] Mann M E, R S Bradley, M K Hughes Global scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries [J]. *Nature*, 1998, 392: 779~ 787
- [40] Robock A. Cooling following large volcanic eruptions corrected for the effect of diffuse radiation on tree rings [J]. *Geophysical Research Letters*, 2005, 32, L06702 doi 10.1029/2004GL022116
- [41] Eryuan Liang, Xuemei Shao, Ningsheng Qin Tree-ring based summer temperature reconstruction for the source region of the Yangtze River on the Tibetan Plateau [J]. *Global and Planetary Change*, 2008, 61: 313~ 320
- [42] Cook E R, Kiusic P J, Jones P D. Dendroclimatic signals in long tree-ring chronologies from the Himalayas of Nepal [J]. *International Journal of Climatology*, 2003, 23(7): 707~ 732
- [43] Gu L, D Baldocchi, S C Wofsy, J W Munger, *et al* Response of a deciduous forest to the Mount Pinatubo eruption: Enhanced photosynthesis [J]. *Science*, 2003, 299: 2035~ 2038
- [44] Lucht W, I Colin Prentice, Ranga B. Myneni, *et al* Climatic control of the high-latitude vegetation greening trend and Pinatubo effect [J]. *Science*, 2002, 296: 1687~ 1689

## Temperature Variations Recorded in Tree-ring Width at Timberline Forest in Hami Badashi, Xinjiang

XU Guobao, LIU Xiaohong, CHEN Tuq, AN Wenling, HOU Shugu, Li Zhongqin

(State Key Laboratory of Cryospheric Sciences, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

**Abstract** Based on the tree-ring cores collected of *Larix sibirica* from the timberline in Hami Badashi, Xinjiang of China, the standardized width chronology was developed. The tree growth was dominant by the growing seasonal (May–September) mean temperature and minimum temperature monthly by simple correlation analysis. Our tree-ring width chronology was with great coherence to previous studies. Before 1885, the climate was dominant by cool periods, and the occurred warm periods dominated after 1885 with the prolonged warm periods against the the warming trend in late twenty century. The series showed a high synchronous fluctuation with the glacier in centre Tianshan Mountains. The extreme in the series has great coherence with the locust events in local region and the large eruption events in Asia during the past 200 years. We considered that this chronology captured the environmental information about the advance and retreat of glacier and the volcanic eruption events to a certain degree.

**Key words** Hami tree-rings, standardized width chronology, temperature