

# 用西伯利亚落叶松年轮最大密度重建 和布克赛尔 5—8 月份平均最高温度

陈 峰<sup>1,2,3</sup>, 袁玉江<sup>1,2,3,\*</sup>, 魏文寿<sup>1,2,3</sup>, 喻树龙<sup>1,2,3</sup>, 尚华明<sup>1,2,3</sup>, 张瑞波<sup>1,2,3</sup>,  
张同文<sup>1,2,3</sup>, 范子昂<sup>1,2,3</sup>, 李 杨<sup>1,2,3</sup>

(1. 中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所, 新疆 乌鲁木齐 830002; 2. 中国气象局树木年轮理化研究重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830002;

3. 新疆维吾尔自治区树木年轮生态重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830002)

**摘要:** 利用采自和布克赛尔铁布克山二号沟的西伯利亚落叶松树轮样本, 研制出树轮最大密度年表 (MXD) 和年轮宽度年表 (TRW), 分析了其年表特征和气候响应特点。结果表明, 该样点的落叶松树轮最大密度年表与和布克赛尔气象站 5—8 月份平均温度和平均最高温度均具有很好的正相关关系, 最高单相关系数为 0.660。用铁布克山二号沟的最大密度差值年表序列, 可较好地重建和布克赛尔地区 1795—2007 年来春夏季平均最高温度距平, 47a 重建值对实测值的解释方差达 43.5%, 且方程稳定。重建结果揭示, 在和布克赛尔地区, 20 世纪平均最高温度距平要高于 20 世纪以前的平均最高温度距平, 20 世纪前中期平均最高温度距平出现了明显的上升, 并且在重建的时段的末期, 5—8 月份平均最高温度距平表现出上升趋势。

**关键词:** 和布克赛尔; 西伯利亚落叶松; 树木年轮; 最大密度; 5—8 月份平均最高温度

## Dendroclimatic reconstruction of mean maximum may-august temperature from the maximum density of the *Larix sibirica* in Hoboksar, China

CHEN Feng<sup>1,2,3</sup>, YUAN Yujiang<sup>1,2,3</sup>, WEI Wenshou<sup>1,2,3</sup>, YU Shulong<sup>1,2,3</sup>, SHANG Huaming<sup>1,2,3</sup>, ZHANG Ruibo<sup>1,2,3</sup>, ZHANG Tongwen<sup>1,2,3</sup>, FAN Ziang<sup>1,2,3</sup>, LI Yang<sup>1,2,3</sup>

1 Institute of Desert and Meteorology, China Meteorological Administration, Urumqi 830002, China

2 Key Laboratory of Tree-ring Physical Chem Research of China Meteorological Administration, Urumqi 830002, China

3 Key Laboratory of Tree-ring Ecology of Uigur Autonomous Region, Urumqi 830002, China

**Abstract:** Using tree rings of *Larix sibirica* sampling from Hoboksar, we developed 21 tree-ring density and 63 tree-ring width series and then established maximum density (MXD) and annual ring width (TRW) chronologies. The detrending method of the regional curve standardization allowed us to be able to preserve inter-annual to multi-centennial scale variabilities. Having analyzed the characteristics of the chronologies and their responding to climate factors, we found the MXD chronology correlates at 0.66 with the anomaly of maximum mean temperature in May August over the period of 1961—2007, which explained 43.5% of variance in the reconstruction ( $F = 34.679$ ,  $P < 0.0001$ ). According to the reconstruction in Hoboksar region, the anomaly of maximum mean temperature over the 1795—2007 period was  $-0.08^{\circ}\text{C}$ . It appeared during the 1795—1899 period at  $-0.15^{\circ}\text{C}$  below to that in the 1900—2007 period. The temperature was increased from the 1880s to 1950s and indicated that maximum summer temperature since 1915 had been warmer than any periods since 1795.

**基金项目:** 科技部公益性行业 (气象) 科研专项 (GYHY200806011, GYHY200706008); 科技部科技基础性工作专项 (2007FY220200); 国家自然科学基金 (40975056, 40890051); 新疆气象局青年基金项目; 中国气象局新技术推广项目 (CMATG2008Z13); 科技部科研院所社会公益研究专项 (2005DIB6J113); 中央级公益性科研院所基本科研业务费项目 (IDM200601, IDM200801)

收稿日期: 2009-06-29; 修订日期: 2009-11-25

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yuanyuj5502@sina.com

**Key Words:** *Larix sibirica*; tree-ring; maximum density; mean maximum May-August temperature; Hoboksar

树木年轮以其定年准确,分辨率高,连续性强等特点在全球变化研究中发挥着越来越重要的作用。随着树木年轮研究技术的发展和国内实验室条件的改善,中国的树木年轮已不再仅仅局限于树轮宽度,在树轮密度<sup>[1-4]</sup>,树轮同位素<sup>[5-7]</sup>,树轮图像<sup>[8-9]</sup>等多个方面获得很大的进步。

由 Polge 所创立的 X-Ray 树轮密度研究方法,已经发展为树木年代学研究的一种基础方法<sup>[10]</sup>。树轮密度分析的方法可以提取早材宽度、晚材宽度、早材平均密度、晚材平均密度、树轮最大密度和树轮最小密度 6 个指标,其中树轮最大密度,被证明能很好地反应树木生长季内的温度,已用来在高纬度、高海拔地区恢复过去气候变化尤其是温度变化<sup>[11-12]</sup>。国内一些研究人员与国外研究机构合作,利用树轮密度重建了若干地区的温度变化<sup>[1-4,13-14]</sup>。在新疆的伊犁、吉木萨尔等地区,研究人员利用这一方法对云杉树轮密度进行了研究<sup>[1,3,13]</sup>。西伯利亚落叶松作为新疆境内最主要的针叶树种之一,广泛分布于阿勒泰、哈密、塔城等地区。作为长龄树种,西伯利亚落叶松在树轮气候研究中具有很大潜力。国内尚未有西伯利亚落叶松树轮密度研究的例子,利用西伯利亚落叶松树轮密度研究过去的温度变化,对研究天山山区的气候变化具有重要的意义。

### 1 采样及树轮密度年表的建立

树轮样本采自塔城和布克赛尔的铁布克山(46°57′12.2″N,85°06′31.4″E),采集时间为 2008 年 8 月。在采样布局上,除遵循树木树轮气候学采样点选择基本原理外,还考虑到空间和坡向分布等因素(表 1)。树种为西伯利亚落叶松(*Larix sibirica*),共采集了 21 棵树 42 个细样芯和 21 个粗样芯。

表 1 树轮采点特征  
Table 1 Characteristics of the tree-ring site used to reconstruct temperature

采点 Site	北纬 N Longitude	东经 E Latitude	采树/棵 Series	海拔/m Elevation	坡向 Slope direction	坡度/(°) Slope
铁布克山二号沟(TBK)Tebuke	46°57′12.2″	85°06′31.4″	27	2190—2280	N	30—45

依照树轮样本处理的基本程序,首先对所采细样芯进行干燥、固定、磨光和交叉定年,以 0.001 mm 精度的轮宽量测仪进行轮宽测量。利用 COFECHA 程序对定年和量测结果进行了检验<sup>[15]</sup>。完成细芯宽度定年后,对粗样本进行脱糖脱脂、分段、固定、切片、拍 X 光片等密度数据的常规处理,用 Dendro2003 树轮密度分析系统获得逐年树轮宽度(TRW)、早材宽度(EWW)、晚材宽度(LWW)、早材平均密度(EWD)、晚材平均密度(LWD)、最小密度(MID)和最大密度(MXD)共 7 种树轮指数,并利用 SELTOTUC 程序对数据进行分类提取,逐一打印树轮宽度曲线和最大密度曲线。使用树轮宽度和最大密度曲线对比,结合 COFECHA 程序交叉定年质量检验<sup>[1]</sup>,利用 Dendro2003 树轮密度分析系统对密度数据进行定年校正,对由于切割等原因造成的树轮最大密度值异常减小的区间进行删除处理。密度树轮年表的建立是利用 ARSTAN 程序完成的<sup>[16]</sup>。通过对打印出来的树轮最大密度曲线的观察,发现西伯利亚落叶松最大密度曲线围绕着均值小幅度波动,没有表现出与树龄相关的生长趋势,同时为了更好地保留低频气候信息,对树轮密度采用区域生长函数(RCS)<sup>[17-20]</sup>进行生长趋势拟合,以双权重平均法(RobustBiweight)将上述生长趋势后的序列合并成树轮宽度及密度指数序列,最终建立了树轮密度的标准化年表(STD)、差值年表(RES)和自回归年表(ARS)<sup>[21]</sup>。样本总解释量(EPS)<sup>[22]</sup>大于 0.85 的起始年为 1795 年(图 1)。

### 2 温度序列建立

#### 2.1 树轮最大密度对气候变化的响应

选取采点邻近的额敏、吉木乃、和布克赛尔气象站的月平均温度、月平均最高温度、月平均最低温度资料。将密度年表与 3 站的月平均温度、月平均最高温度、月平均最低温度分别做 Pearson 相关分析,发现树轮最大密度差值年表与月平均最高温度有较高的相关性。从图 2 中可以看出,树轮最大密度差值年表与月平均最高温度多呈现正相关,并在 5—8 月份期间的相关均较高,这与陈津等人的研究结果<sup>[3]</sup>一致,值得注意的是相关

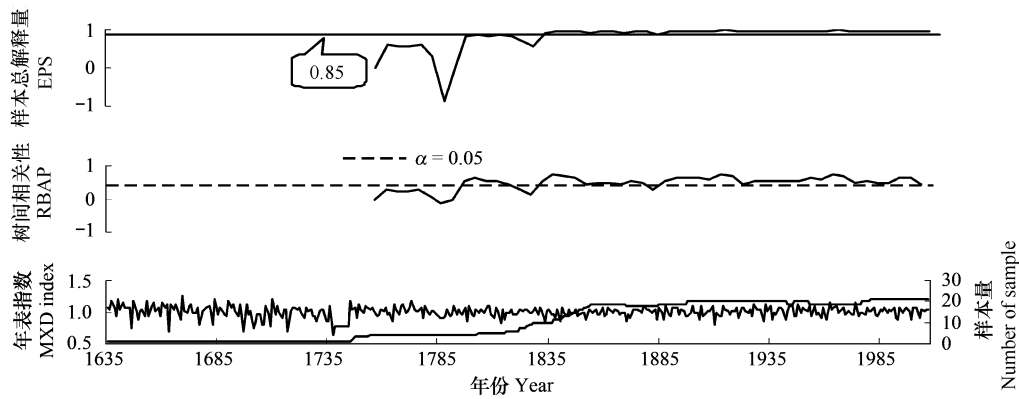


图1 树轮最大密度差值年表,样本量,样本总解释量和树间相关性

Fig.1 The MXD residual chronology (AD1795—2007), number of samples, *EPS* and *Rbar* statistics

性呈现出双峰型,以5月与7月份为最高。同时树轮最大密度差值年表与月平均温度也有良好的相关性,而与月平均最低温度无明显相关。

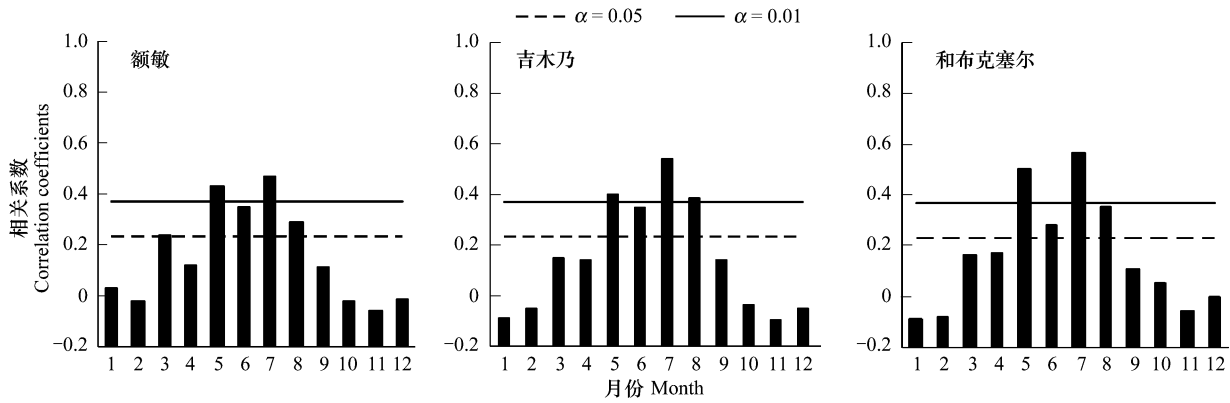


图2 最大密度差值年表与三站平均最高温度相关

Fig.2 Correlations of tree-ring date( RES) with monthly maximum temperature records

为进一步了解树轮最大密度与气候要素之间的响应关系,取上年10月至当年9月份各种顺序组合计算均值,与树轮最大差值密度年表进行了相关普查,发现树轮最大密度差值年表与4—8月份、5—7月份、5—8月份、5—9月份、7—8月份的月平均最高温度和月平均温度均有显著的正相关性,而月平均最高温度与年表的相关性要好于月平均温度,其中相关性最好的是和布克赛尔5—8月份平均最高温度,为0.660。和布克赛尔5—8月份温度与其他两站的相关为0.92、0.94,具有很高的区域代表性(表2)。

表2 最大密度年表与3站5—8月份平均最高温度相关

Table 2 Correlations of tree-ring date with the maximum temperature (from May to August)

	额敏 Emin	吉木乃 Jimunai	和布克赛尔 Hoboksar	最大密度指数 MXD index
额敏 Emin	1			
吉木乃 Jimunai	0.92	1		
和布克赛尔 Hoboksar	0.92	0.94	1	
最大密度指数 MXD index	0.55	0.59	0.66	1

2.2 重建方程的建立

取和布克赛尔气象站5—8月份的平均最高温度距平,由回归分析方法建模,构建重建方程如下:

$$T_t = 9.452TBK - 9.535 \tag{1}$$

式中,  $T_t$  为和布克赛尔气象站 5—8 月份的平均最高温度距平; TBK 是铁布克山二号沟的最大密度差值年表序列。

重建方程的相关系数  $R$  为 0.660, 在校准期内, 47a 的重建值对实测值的解释方差  $R^2$  为 43.5%, 调整自由度后解释方差  $R_{adj2}$  为 42.3%,  $F=34.679$ 。从统计特征来说, 方程(1)具有很好的稳定性和精确性, 从图 3 可见重建值与实测值有较好的同步性。

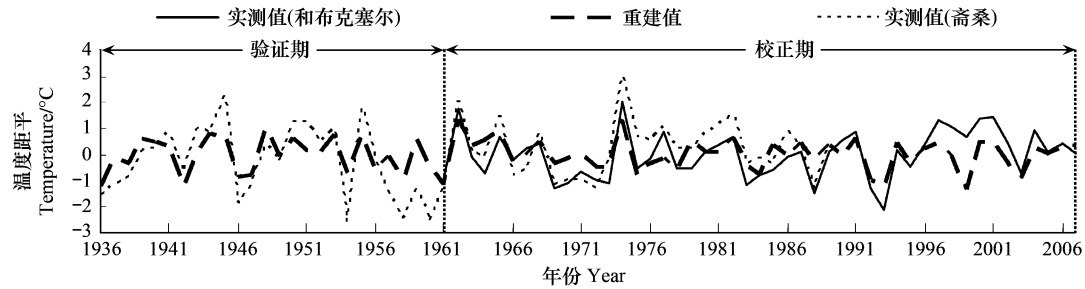


图 3 温度实测数据与重建值比较  
Fig.3 Comparison of recorded and estimated temperature

对重建结果进行交叉检验<sup>[23]</sup>发现, 重建方程交叉检验所得的误差缩减值  $Re=0.347$  (一般认为  $Re>0.0$  就算通过检验); 乘积平均数检验值  $t$  为 4.940, 其显著性水平平均达到 0.0005; 交叉检验所得的相关系数分别为 0.605, 显著性水平分别为 0.0001; 一阶差相关系数分别为 0.766, 显著水平为 0.001。另外在符号检验方面, 低频符号  $S_1$  和高频符号  $S_2$  检验都达到了 0.01 的显著性水平(表 3)。

表 3 转换方程的统计量和交叉检验的统计量

Table 3 Leave-one-out cross-validation statistics for reconstruction of temperature

解释量调整值/% Adjustment explained variance	$F$	一阶差符号检验 Sign test for first- order differential	符号检验 Sign test	乘积平均值 $t$ Product means test	误差缩减值 Reduction of error	相关系数 Correlation coefficients
42.3	34.679	9/38	9/38	4.940	0.347	0.660

利用哈萨克斯坦斋桑气象站数据(1936—1989 年)对重建序列进行验证, 两者全时段(1936—1989 年)的相关系数达到了 0.710, 验证期(1936—1960 年)的相关系数达到了 0.745。

3 温度重建序列特征分析

3.1 冷暖阶段变化

和布克赛尔 1795—2007 年间, 5—8 月份平均最高温度距平平均约为  $-0.08^{\circ}\text{C}$ 。为了解布克赛尔近 213 年温度变化的低频变化趋势, 对重建序列做步长为 10a 低通滤波处理。从图 4 可以明显看到 20 世纪的温度要高于 20 世纪以前的温度, 并且在 20 世纪末期开始出现明显的升温。以 1900 年为界, 1900 年以前的温度距平平均为  $-0.15^{\circ}\text{C}$ , 1900 年以后的温度距平平均为  $0^{\circ}\text{C}$ 。最长的冷期为 1831—1874 年, 最长的暖期为 1915—1970 年。

图 5 的阶梯图中可以看到重建序列温度变化的趋势, 并比较出温度年代变化。1831—1840 年为温度最低的 10a, 平均最高温度距平平均为  $-0.36^{\circ}\text{C}$ , 1951—1960 年为温度最高的 10a, 平均最高温度距平平均为  $0.17^{\circ}\text{C}$ , 1831—1870 年为近百年里持续低温时间最长的 40a。1911—1970 年成为持续高温时间最长的 60a。

3.2 干湿频率与极值

从重建序列的年际变化看, 其变化的范围为  $-1.91^{\circ}\text{C} - 1.33^{\circ}\text{C}$ 。设  $-0.50 - 0.50$  为正常温度范围, 将其按每  $0.50^{\circ}\text{C}$  分类, 可以得到每半个世纪平均最高温度距平分布的频率。平均温度距平小于  $-0.50$  的年份多于大于  $0.50$ 。极端高温年份都出现在 20 世纪, 而极端低温年份大部分出现在 19 世纪。温度最高的年份是

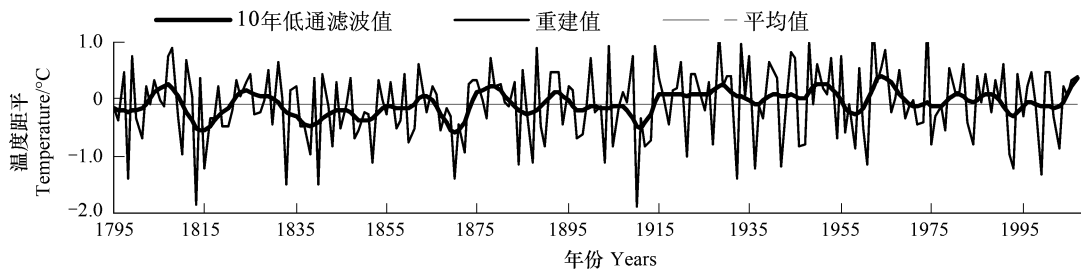


图4 和布克塞尔5—8月平均最高温度距平逐年变化曲线(细折线)和其10年低通滤波曲线(粗曲线)

Fig. 4 Comparison between unfiltered (thin) and 10-year low-pass filtered (thick) May-August maximum temperature from Hoboksar

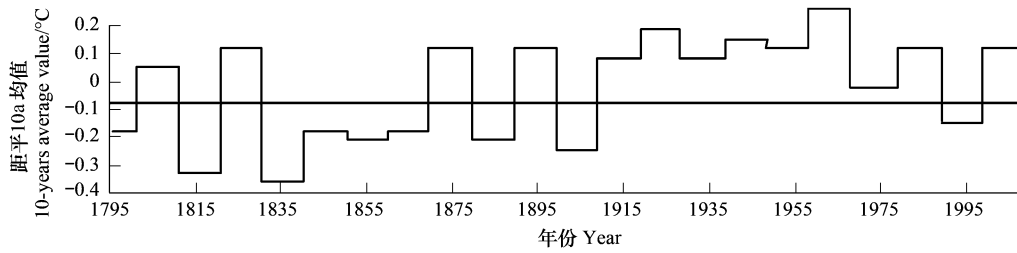


图5 重建平均最高温度距平序列每10a平均(5—8月份),横线为平均最高温度距平重建序列(1795—2007年)平均值

Fig. 5 10-year average of reconstructed temperature

1974年,为1.33℃,。温度最低的年份是1910年,为-1.94℃。从极端高温年份的分布上看,多发生在干旱年份,如1974年全疆大旱(表4)。

#### 4 讨论

从单月相关的角度看,铁布克山的西伯利亚落叶松轮最大密度与5月、7月份的相关性最好,在生长季内呈现出一种双峰形态。从月份组合的角度看,西伯利亚落叶松的树轮最大密度与5—8月份的平均最高温度和平均温度均有很好的相关关系,而与最低温的相关较差。这说明在树木树轮生长的过程中,生长季的高温对树轮密度最大密度有很重要的作用,尤其在生长季中后期(7—8月份),树轮最大密度与平均最高温度表现出很高的相关。树木树轮的形成主要是依靠形成层木质细胞的拉伸和加厚。5月份是树木生长季前期,在这个时段,木质细胞的拉伸生长占据主导,形成树轮的主要部分——早材,较高的

温度条件下,树木结束休眠的状态,从而使生长季提前,从而为营养物质积累提供更长的时间,延长整个树木生长季。而生长季中后期(7—8月份),树轮生长主要体现在木质细胞的加厚上<sup>[2,24]</sup>,而晚材细胞的厚度决定了树轮最大密度值的大小。在木质细胞加厚生长占据主导的同时,对树轮密度值起反作用的木质细胞拉伸生长却逐步下降,较高的温度能够有效延长这一过程,使加厚生长在对拉伸生长上取得更大优势,从而获得更大的树轮最大密度。此外,平均最高温度实际上是白天午后这段时间的温度,是树木一天中新陈代谢最旺盛的时段,过高的温度会增强树木的蒸腾作用,加剧干旱胁迫,从而抑制树木的生长,使树轮密度值提前进入上升阶段,进而影响树轮的最大密度值。因此,生长季春夏季平均最高温度对树轮最大密度都有显著影响。5—8月份为和布克塞尔地区的春夏季节,也是西伯利亚落叶松的生长季节,用最大密度重建5—8月份平均最

表4 和布克塞尔春夏季平均最高温度冷、暖发生频率及某些极端值对应年份

Table 4 The cold years, and warm years of reconstruction of maximum temperature from Hoboksar

范围/℃ Range/℃	年数 Years	对应年份 Warm and cold year	合计 Total
<1.50	4		
-1.50—-1.00	14	1813,1833,1840,1910	48
-1.00—-0.50	30		
-0.50—0.50	130		130
0.50—1.00	31		35
1.00—1.50	4	1928,1948,1962,1974	

高温度符合树木年轮生长的生理学特征。

近 213a, 和布克赛尔地区 20 世纪的春夏季平均温度距平要高于 19 世纪  $0.15^{\circ}\text{C}$ , 并在 20 世纪表现出明显上升趋势, 特别是在 20 世纪前中期的 1915—1950 年这一时段, 这一时段温度升高与相关研究<sup>[4, 25-28]</sup>中的升温大致相对应。这种西北多个地区同时出现升温现象, 可能是由于小冰期结束, 西北地区气候发生转型所致。

比对邻近的伊犁西天山春夏温度研究<sup>[3]</sup>, 并没有发现明显的升温效应, 这可能是由于伊犁地区特殊地形造成的。伊犁西天山西高东低, 呈现一个喇叭口的形态, 西风带来的冷湿气流带来了充足的水汽, 年平均降水都在 400mm 以上, 而和布克赛尔地区的年平均降水量仅 143.1mm。同时伊犁地区的降水主要集中在春夏季和冬季, 使得降水对春夏温度有很大影响。最近 10 多年天山山区降水量有所增加<sup>[29-30]</sup>, 这对伊犁地区与全球升温效应的响应起到了抵消作用, 所以这种区别是正常。

通过本次研究和其他树轮密度研究<sup>[3-4, 11-12, 31-32]</sup>发现, 树轮最大密度对于树木生长季中春夏季节的温度有良好的反映, 能够对不同地区同一时段的温度进行比对, 这对于进行大范围气候空间场的建立有极其重要的意义。

## 5 结论

(1) 和布克赛尔地区西伯利亚落叶松树轮最大密度对 5—8 月份平均温度和平均最高温度有很好的响应, 用树轮最大密度年表来重建和布克赛尔地区 1795—2007 年 5—8 月份平均最高温度, 能够获得稳定可靠的重建结果。

(2) 和布克赛尔 1795—2007 年, 5—8 月份平均最高温度距平平均约为  $-0.08^{\circ}\text{C}$ 。20 世纪的温度要高于 20 世纪以前的温度, 并且在 20 世纪末期开始出现升温趋势。

**致谢:**实验过程中得到中国科学院地理科学与资源研究所王丽丽研究员和瑞士联邦森林、雪、景观研究院 Daniel Nievergelt、Ulf Büntgen 的指导, 特表谢忱。

## References:

- [1] Yuan Y J, ESPER J, Wei W S, Nievergelt D, Verstege A, Yu S L, Zhang R B. 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. *Arid Land Geography*, 2008, 31(4): 560-566.
- [2] Wang L L, Shao X M, Huang L, Liang E Y. Tree-ring characteristic of *Larix gmelinii* and *Pinus Sylvestris* Var. *Mongolica* and their response to climate in Mohe, China. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(3): 380-385.
- [3] Chen J, Wang L L, Zhu H F, Wu P. Reconstructing mean maximum temperature of growing season from the maximum density of the *Schrenk Spruce* in Yili, Xinjiang, China. *China Science Bulletin*, 2009, 54(1): 1-9.
- [4] Wu P, Wang L L, Shao X M. Reconstruction of summer temperature from maximum latewood density of *Pinus densata* in West Sichuan. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(6): 998-1006.
- [5] Liu Y, Ma L M, Leavitt S W, Cai Q F, Liu W G. Seasonal Precipitation reconstruction from tree-ring stable carbon isotope for Mt. Helan, China since AD 1800. *Global and Planetary Change*, 2004, 41: 229-239.
- [6] Liu X H, Qin D H, Shao X M, Zhao L J, Chen T, Ren J W. Variation and abrupt change of precipitation in Nyingchi prefecture of Tibet Autonomous Region in past 350 years. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2003, 25(4): 375-379.
- [7] Liu Y, Cai Q F, Liu W G, Yang Y K, Sun J Y, Song H M, Liu X X. Monsoon precipitation variation recorded by tree-ring  $\delta^{18}\text{O}$  in arid Northwest China since 1878 AD. *Chemical Geology*, 2008, 252: 56-61.
- [8] Chen F, Yuan Y J, Wei W S, Yu S L, Zhang R B. Reconstruction of early summer temperature from tree-ring grey value in West of Northern slope of South Tianshan Mountains. *Journal of Desert Research*, 2008, 28(5): 842-847.
- [9] Zhang R B, Yuan Y J, Wei W S, Yu S L, Chen F. Mean minimum temperature series of April to May reconstructed by tree-ring gray chronology in Northern Slope of Wusun Mountains, North Xinjiang. *Journal of Desert Research*, 2008, 28(5): 848-854.
- [10] Cook E R, Kairiukstis L A. *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Science*. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 1990. 55-63.
- [11] Büntgen U, Frank D C, Nievergelt D, Esper J. Summer temperature variations in the European Alps, AD755-2004. *Journal of Climate*, 2006, 19: 5606-5623.
- [12] Wilson R J S, Luckman B H. Dendroclimatic reconstruction of maximum summer temperatures from upper tree-line sites in interior British Columbia. *The Holocene*, 2003, 13: 853-863.
- [13] Zhang Z H, Li J, Graumlich J L, Sheppard P R. Precipitation and average monthly high temperature in the Jimusare, Xinjiang as reconstructed

- from tree density and tree widths. *Acta Meteorologica Sinica*, 1998, 56(1): 77-86.
- [14] Yang Y K, Liu Y, Shi J F, Cai Q F, Sun J Y, Yi L, Li Q, Song H M. Experimental method of density for tree-ring research and its application in research of tree ring data from Zhungeer County, Inner Mongolia. *Arid Land Geography*, 2006, 29(5): 639-645.
- [15] Holmes R L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-ring Bulletin*, 1983, 43: 69-78.
- [16] Cook E R. A Time Series Analysis Approach to Tree-ring Standardization. Tucson: The University of Arizona, 1985.
- [17] Esper J, Cook E R, Krusic P J, Peters K, Schweingruber F H. Tests of the RCS method for preserving low-frequency variability in long tree-ring chronologies. *Tree-Ring Research*, 2003, 59: 81-98.
- [18] Briffa K R, Jones P D, Bartholin T S, Eckstein D, Schweingruber F H, Karlén W, Zetterberg P, Eronen M. Fennoscandian summers from AD 500: temperature changes on short and long timescales. *Climate Dynamics*, 1992, 7: 111-119.
- [19] Briffa K R, Jones P D, Schweingruber F H, Shiyatov S, Cook E R. Unusual twentieth-century summer warmth in a 1000-year temperature record from Siberia. *Nature*, 1995, 376: 156-159.
- [20] Cook E R, Briffa K R, Meko D M, Graybill D A, Funkhouser G. The "segment length curse" in long tree-ring chronology development for palaeoclimatic change. *The Holocene*, 1995, 5: 229-237.
- [21] Shao X M, Wu X D. Tree-ring chronologies for *Pinus Armandi Franch* from Huashan, China. *Acta Geographica Sinica*, 1994, 49(2): 174-181.
- [22] Wigley T M L, Briffa K R, Jones P D. On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 1984, 23: 201-213.
- [23] Li J F, Yuan Y J, You X Y. *Dendrohydrology Research and Application*. Beijing: Science Press, 2000: 51-158.
- [24] Creber G T, Chaloner W G. Influence of environmental factors on the wood structure of living and fossil trees. *The Botanical Review*, 1984, 50(4): 361-370.
- [25] Chen F, Yuan Y J, Wei W S, Yu S L, Zhang R B. Spring mean maximum temperature series and its variation properties in Hutubi river basin during the last 313 years. *Journal of Desert Research*, 2009, 29(1): 162-167.
- [26] Wang S W, Ye J L, Gong D Y, Zhu J H, Yao T D. Construction of mean annual temperature series for the last one hundred years in China. *Quarterly Journal of Applied Meteorology*, 1998, 9(4): 392-401.
- [27] Jin L Y, Qin N S, Gou X H, Chen F H, Li J. Series of spring maximum temperature in Southern Qinghai Plateau and analysis of its variations during the last 450 years. *Quaternary Sciences*, 2005, 25(2): 193-201.
- [28] Hou Y, Wang N A, Li G, Zhang F. Reconstruction of summer average temperature from tree-ring proxy data during 1751—2005 in Mt. Kongtong. *Advances in Climate Change*, 2007, 3(3): 172-176.
- [29] Yuan Y J, He Q, Yu S L. Features of annual precipitation change in Tianshan Mountainous area for the recent 40 years and comparison with those in the Southern and Northern Xinjiang. *Scientia Meteorologica Sinica*, 2004, 24(2): 220-226.
- [30] Yuan Q X, Wei W S. Annual climate change in the Tianshan Mountainous since recent 40 years. *Arid Zone Research*, 2006, 23(1): 115-118.
- [31] Davi N, D'Arrigo R D, Jacoby G C, Buckley B, Kobayashi O. Warm-season annual to decadal temperature variability for Hokkaido, Japan, inferred from maximum latewood density (AD 1557—1990) and ring width data (AD 1532—1990). *Climatic Change*, 2002, 52(1): 201-217.
- [32] Bntgen U, Frank D C, Grudd H, Esper J. Long-term summer temperature variations in the Pyrenees, *Climate Dynamics*, 2008, 31: 615-631.

#### 参考文献:

- [1] 袁玉江, Esper J, 魏文寿, Nievergelt D, Verstege A, 喻树龙, 张瑞波. 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. *干旱区地理*, 2008, 31(4): 560-566.
- [2] 王丽丽, 邵雪梅, 黄磊, 梁尔源. 黑龙江漠河兴安落叶松与樟子松树轮生长特性及其对气候的响应. *植物生态学报*, 2005, 29(3): 380-385.
- [3] 陈津, 王丽丽, 朱海峰, 吴普. 用天山雪岭云杉年轮最大密度重建新疆伊犁地区春夏季平均最高温度变化. *科学通报*, 2009, 54(1): 1-8.
- [4] 吴普, 王丽丽, 邵雪梅. 采用高山松最大密度重建川西高原近百年夏季温度. *地理学报*, 2005, 60(6): 998-1006.
- [6] 刘晓宏, 秦大河, 邵雪梅, 赵良菊, 陈拓, 任贾文. 西藏林芝地区近 350a 来降水变化及突变分析. *冰川冻土*, 2003, 25(4): 375-379.
- [8] 陈峰, 袁玉江, 魏文寿, 喻树龙, 张瑞波. 利用树轮图像灰度重建南天山北坡西部初夏温度序列. *中国沙漠*, 2008, 28(5): 842-847.
- [9] 张瑞波, 袁玉江, 魏文寿, 喻树龙, 陈峰. 用树轮灰度重建乌孙山北坡 4—5 月平均最低温度. *中国沙漠*, 2008, 28(5): 848-854.
- [13] 张志华, 李骥, Graumlich J L, Sheppard P R. 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. *气象学报*, 1998, 56(1): 77-86.
- [14] 杨银科, 刘禹, 史江峰, 蔡秋芳, 孙军艳, 易亮, 李强, 宋慧明. 树木年轮密度实验方法及其在内蒙古准格尔旗树轮研究中的应用. *干旱区地理*, 2006, 29(5): 639-645.
- [21] 邵雪梅, 吴祥定. 华山树木年轮年表的建立. *地理学报*, 1994, 49(2): 174-181.
- [23] 李江风, 袁玉江, 由希尧. 树木年轮水文学研究与应用. 北京: 科学出版社, 2000: 1-158.
- [25] 陈峰, 袁玉江, 魏文寿, 喻树龙, 丁雷, 尚华明. 呼图壁河流域过去 313 a 春季平均最高温度序列及其特征分析. *中国沙漠*, 2009, 29(1): 162-167.
- [26] 王绍武, 叶瑾琳, 龚道溢, 朱锦红, 姚檀栋. 近百年中国年温度序列的建立. *应用气象学报*, 1998, 9(4): 392-401.
- [27] 靳立亚, 秦宇生, 勾晓华, 陈发虎, 李静. 青海南部高原近 450 年来春季最高温度序列及其时变特征. *第四纪研究*, 2005, 25(2): 193-201.
- [28] 侯迎, 王乃昂, 李钢, 郑芳. 利用树轮资料重建 1751-2005 年崆峒山地区夏季温度变化. *气候变化研究进展*, 2007, 3(3): 172-176.
- [29] 袁玉江, 何清, 喻树龙. 天山山区近 40 年降水特征变化与南、北疆比较. *气象科学*, 2004, 24(2): 220-226.
- [30] 袁晴雪, 魏文寿. 中国天山山区近 40 年来的年气候变化. *干旱区研究*, 2006, 23(1): 115-118.