

乌鲁木齐河山区树木年轮-积温关系 及 $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ 积温的重建

袁玉江¹, 邵雪梅², 魏文寿¹, 何 清¹, 喻树龙¹

(1. 中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所, 乌鲁木齐 830002; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 为了研究云杉树木年轮生长与环境温度的关系, 计算出天山乌鲁木齐河山区大西沟气象站 9 种类型的 369 个积温因子序列和 9 个差值树轮年表的 27 个年轮指数序列, 用逐步回归方法建立积温与年轮指数序列间的关系。结果表明大西沟气象站 $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ 积温与树木生长的关系最为密切。对 $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ 的积温进行对数变换, 使用提取主分量在回归方法建立其与年轮场的 4 个主分量间的转换函数, 该转换函数可解释 1962~1992 年大西沟气象站 $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ 积温方差的 55%。交叉检验表明该转换函数是稳定的。由此重建出了 1796~1991 年 $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ 积温长序列。 $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ 积温长序列完整地经历了 7 个偏多及 7 个偏少阶段, 存在着 3.32、3.4、3.84、9.4、3.6 及 6.53a 的变化准周期。 $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ 积温变化具有两个基本特征: 一是偏冷年出现的频率大于偏暖年, 二是暖年出现的频率多于冷年。两个最暖年出现在 1917 年及 1944 年, 其 $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ 积温分别为 415.6°C 和 386.0°C , 两个最冷年出现在 1803 年及 1961 年, $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ 积温分别是 26.5°C 和 26.9°C 。最显著的 $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ 积温减少趋势出现在 1806~1852 年, 减少率为 $15.2^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 显著水平为 0.0003。最显著的 $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ 积温增加趋势出现在 1958~1987, 积温增多率是 $16.6^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 显著水平达到 0.003。Mann-Kendall 突变检测指出 $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ 积温在 1835 年发生由暖向冷的突变。 $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ 积温重建序列对天山山区积温变化的代表性以中段为最佳。

关键词: 天山乌鲁木齐河山区; 树木年轮; 重建; $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ 积温

On the relationship between tree-ring and cumulative temperature in mountainous area of Urumqi River and reconstruction of $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ cumulative temperature

YUAN Yu-Jiang¹, SHAO Xue-Mei², WEI Wen-Shou¹, HE Qing¹, YU Shu-Long¹ (1. Institute of Desert Meteorology, CMA, Urumqi 830002, China; 2. Institute of Geographical Sciences and Resources, CAS, Beijing 100101, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(4): 756~762.

Abstract: To study the relationship between tree-ring growth of spruce (*Picea Schrenkinna* var. *Tianschanica*) and the its environmental temperature, 369 cumulative temperature series of 9 cumulative temperature types and 27 tree-ring index series of 9 residual chronologies were made at the Daxigou meteorological station located within a mountainous area in Urumqi River watershed. A stepwise regression method was used in the analysis and the results indicated there is a good correlation between tree-ring growth and the cumulative temperature. A regression model were then built using the natural logarithm of $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ cumulative temperature ($\geq 5.7^{\circ}\text{CCT}$) and the four principal components of tree ring data, which can explain 55% of the total variance of the $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ CT from 1962~1992. Cross-verification analysis indicated that the regression model is stable. The regression model was further used to reconstruct the $\geq 5.7^{\circ}\text{CCT}$ from 1796 to 1991. The reconstructed data showed seven

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40265002); 国家科技部资助项目(2002CCA04600); 国家自然科学基金资助项目(90302012)

收稿日期: 2004-01-24; **修订日期:** 2004-10-09

作者简介: 袁玉江(1955~), 男, 山东省菏泽县人, 研究员, 主要从事树轮气候、树轮水文及气候与环境研究。E-mail: yuanyuj5502@sina.com

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (No. 40265002); The Project (No. 2002CCA04600) of Department of Sciences and Technology of China; National Natural Science Foundation of China (No. 90302012)

Received date: 2004-01-24; **Accepted date:** 2004-10-09

Biography: YUAN Yu-Jiang, Professor, mainly engaged in dendrolimatology, dendrohydrology, climate and environment. E-mail: yuanyuj5502@sina.com

above and seven below the mean temperature, and there were six temperature cycles (3.32a, 3.4a, 3.84a, 9a, 4.36a and 6.53a). There were two features that characterize the $\geq 5.7^{\circ}\text{CCT}$: ①the frequency of partially cold year is higher than that of partially warm year, and ② the frequency of warm year is higher than that of cold year. The two warmest years occurred in 1917 and 1944, with the $\geq 5.7^{\circ}\text{CCT}$ of 415.6°C and 386.0°C respectively. The two coldest years occurred in 1803 and 1961, having $\geq 5.7^{\circ}\text{CCT}$ of 26.5°C and 26.9°C respectively. The most rapid reducing trend occurred during 1806~1852, with a reducing rate of 1.52°C/a (at 0.0003 significance), while the most rapid increasing trend happened from 1958 to 1987, with a rate of 1.66°C/a (at 0.003 significance). Mann-Kendall abrupt-test suggested an abrupt change from warm to cold in 1835. Further analysis showed that the reconstructed $\geq 5.7^{\circ}\text{CCT}$ data best represented the environment in the middle range of Tianshan mountains.

Key words: mountainous area of Urumqi River; tree ring; reconstruction; $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ cumulative temperature

文章编号:1000-0933(2005)04-0756-07 中图分类号:S718.512.2, S718.45, P467 文献标识码:A

热量是影响树木年轮生长的重要气候因子之一,林业科研工作者常用 $\geq 5.0^{\circ}\text{C}$ 积温作为林业区划的重要热量指标^[1]。国内外已有的树木年轮气候研究成果主要分析月或旬的平均温度与年轮生长的关系^[2~8],作为热量重要表现形式的积温却采用得比较少,个别的研究也仅限于对几个常见界限温度的积温资料($\geq 0.0^{\circ}\text{C}$, $\geq 5.0^{\circ}\text{C}$, $\geq 10.0^{\circ}\text{C}$, $\geq 15.0^{\circ}\text{C}$, $\geq 20.0^{\circ}\text{C}$, $\geq 25.0^{\circ}\text{C}$ 等)与树木年轮生长关系的分析^[9],到目前为止,国内外还没有人分析过非常见界限温度的积温与树木年轮生长的关系及重建其变化的长序列。本研究考虑如下问题:(1)积温有不同的类型,主要分为气候积温、活动积温及有效积温,哪种类型与树木年轮生长的相关最好?(2)积温也会随着温度界限值的不同而构成一个连续变化的变量集,那么,对一个具体的树种和地区而言,与树木年轮生长相关最佳的温度界限值应该为多少?(3)一般积温是针对日平均温度而言的,如对日最高、日最低温度也计算积温,在3种日温度的积温中,又以哪一种积温与树木年轮的相关系数最佳呢?利用新疆天山北坡乌鲁木齐河山区的天山云杉树轮年表与大西沟气象站的日温度资料,针对上述3个方面进行分析,以期能得出一些新认识,为分析树木年轮生长与热量条件的关系提供一种新的思路,为树木年轮气候学科的进展做出贡献。

1 资料与方法

1.1 树轮资料

乌鲁木齐河山区流域位于天山山脉之天格尔山北坡,西接头屯河流域,东邻板房沟流域,西白杨沟口以上山区流域面积 1070km^2 。乌鲁木齐河山区的原始森林主要生长在海拔 $1800\sim 2600\text{m}$ 。树木年轮样本于1993年8~9月采集,树种为天山云杉(*Picea Schrenkiana* Var *Tianschhanica*),9个树轮采点的分布如图1所示,重要的采点特征参数见表1。

树轮宽度年表的研制经过了以下步骤:(1)按照样本处理的基本程序^[10],对钻芯进行磨平、打光、交叉定年及轮宽测量;(2)用国际年轮库的COFECHA定年质量控制计算程序进行交叉定年的检验^[11],以保证定年与轮宽测量的准确;(3)由国际年轮库ARSTAN年表研制程序^[12],制做出3种树轮年表(即:标准化年表(STD)、差值年表(RES)及自回归年表(ARS),以增加在气候重建时的年表可选择性。这3种年表各具特色^[13]:标准化年表是通过轮宽的标准化剔除与树龄有关的生长趋势,得到年轮指数,再根据指数序列与主序列间的相关系数,剔除相关差的标本,最后采用双权重平均法合并得到的,它是常规意义上的树轮年表。差值年表则是在标准化年表的基础上,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而建立的一种新年表,它只含有群体共有的高频变化。自回归年表则是估计采样点树木群体所共有的持续性造成的生长量,再将其加回到差值年表上得到的,因此它既含有群体共有的高频变化,又含有群体共有的低频变化。而常规标准化年表除此之外,还含有少量的树木个体持续性变化造成的低频分量。

年表研制共得到了9个采点上的3种树轮年表,表1给出了本文所用到的差值年表的主要特征参数。

1.2 积温资料

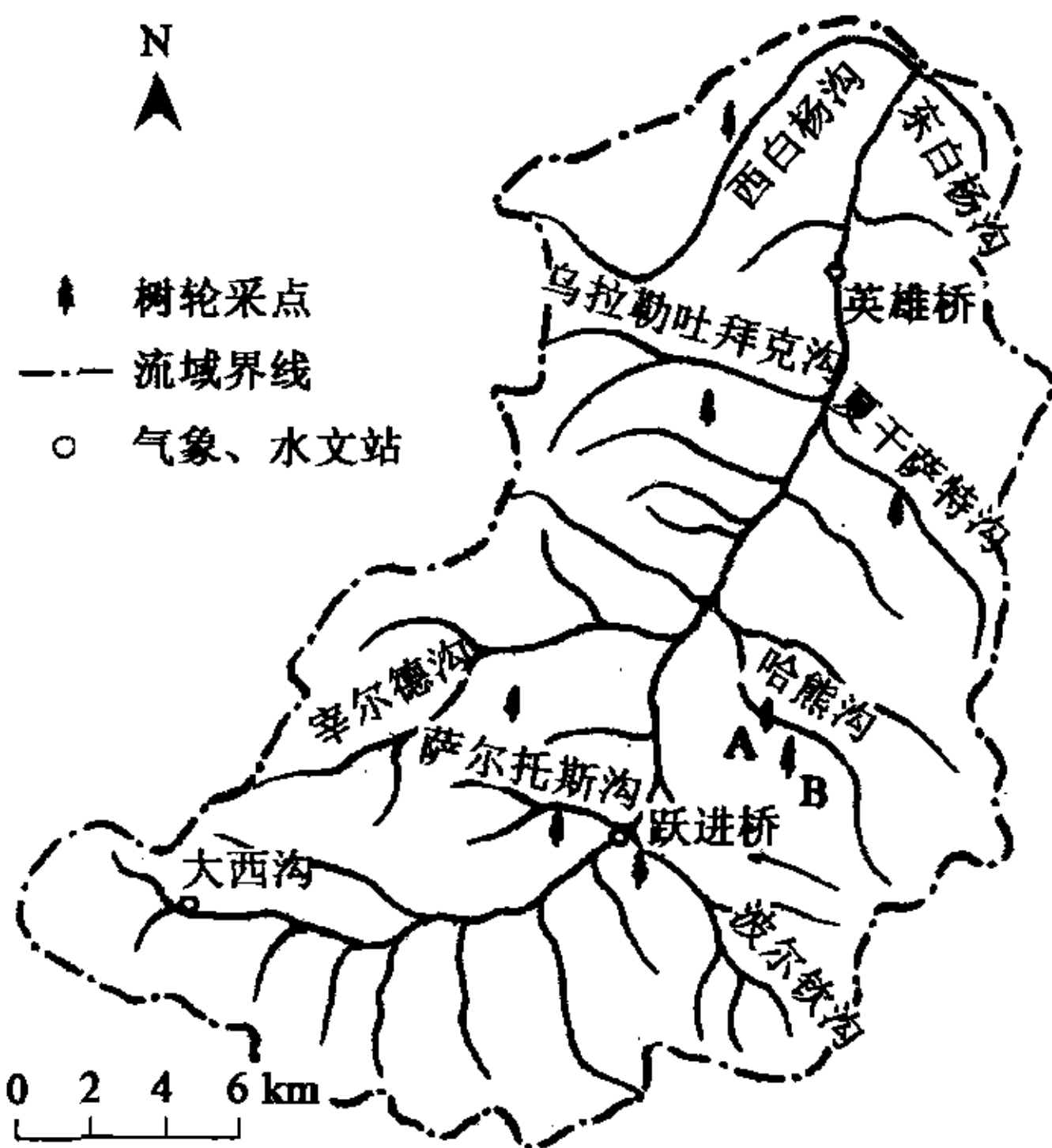


图1 乌鲁木齐河山区流域树木年轮采点示意图

Fig. 1 Map of the mountainous basin of the Urumqi River showing locations of tree-ring sampling sites

表 1 乌鲁木齐河山区树木年轮采点特征及差值年表主要统计特征

Table 1 The features of tree-ring sampling sites and the main statistical characteristics of residual chronologies in the mountainous area of the Urumqi River

年表代号 Code name	DBY	XBY	XGS	WLL	HXA	HXB	ZED	SET	BEQ
沟名 Gully name	东白杨沟	西白杨沟	夏干萨特沟	乌拉勒吐拜克沟	哈熊沟 A 点	哈熊沟 B 点	宰尔德沟	萨尔托斯沟	波尔钦沟
东经 Longitude (E)	87°19'05"	87°07'02"	87°14'05"	87°09'20"	87°09'45"	87°10'55"	87°02'30"	87°03'50"	87°07'12"
北纬 Latitude (N)	43°26'06"	43°24'10"	43°16'35"	43°18'35"	43°11'50"	43°11'05"	43°12'50"	43°09'12"	43°08'20"
海拔 Altitude(m)	2160	2325	2070	2250	2345	2430	2390	2480	2440
坡向 Slope direction	NW-N	NE-E	N-NE	N-NW	NE-W	NW-W	NW-W	NW	NE
坡度 Slope(°)	30~50	30~70	25~35	20~38	30~60	25~40	30~35	20~40	30~60
长度 Length(a)	195	242	327	200	258	458	373	260	364
序列数 Sample number	33	30	47	28	30	18	37	19	28
平均敏感度 Mean sensitivity	0.204	0.314	0.436	0.302	0.263	0.260	0.235	0.289	0.325
标准差 Standard deviation	0.181	0.281	0.367	0.293	0.233	0.246	0.205	0.277	0.295
一阶自相关 First-order autocorrelation	0.032	0.069	0.008	0.108	0.033	0.025	0.021	0.016	0.010

一般而言,气候积温是稳定通过界限温度初终期间(包括初日、终日在内)的各日平均气温的总和。活动积温是植物某一正常发育期或全部生长季中高于或等于生物学最低温度的日平均气温的累计值。活动温度与生物学最低温度的差为有效温度,有效温度的累积被称为有效积温^[14]。

本文在 3 种积温定义的基础上,结合天山北坡乌鲁木齐河山区大西沟气象站的日温度资料的具体情况(不要出现太多积温为零的年份),做了以下处理:(1)对这 3 种积温都采用 5 日滑动平均法确定其稳定通过其某一温度界限值的初终期,然后再求积温。(2)树木年轮生长是形成层活动的结果,而形成层的活动程度主要与光合作用有关,树木光合作用的下限温度一般为 5.0℃^[15],日平均温度的 3 种积温的计算均以 5.0℃作为其初始生物学下限温度,然后每隔 0.1℃为下一生物学下限温度,这样一直计算到 7.0℃。日最低温度的 3 种积温计算均采用生长期內可以对树木造成冻害的 0.0℃作为其初始生物学下限温度^[15],然后每隔 0.1℃为下一生物学下限温度,这样一直计算到 3.0℃。日最高温度的 3 种积温均以 5.0℃作为其初始生物学下限温度,然后每隔 0.1℃为下一生物学下限温度,这样一直计算到 12.0℃。最终构成了天山北坡乌鲁木齐河源大西沟气象站的 9 种积温类型的 369 个积温序列。

1.3 分析方法

采用逐步回归方法分析积温与差值年表年轮指数间的关系,一般关系式为: $\sum T_t = I(t, t + 1, t + 2)$ 。其中: $\sum T_t$ 为第 t 年的积温序列, $I(t, t + 1, t + 2)$ 为年轮指数第 $t, t + 1, t + 2$ 年的年轮指数序列。入选的年轮指数序列与积温序列的单相关系数应超过 0.10 的显著性水平,且所得转换函数的复相关系数应达到 0.7 以上。以此标准分别做乌鲁木齐河山区大西沟气象站 369 个积温序列与 9 个差值年表的 27 个年轮指数序列间的逐步回归分析。结果发现以大西沟气象站 $\geq 5.7^\circ\text{C}$ 的日平均温度的气候积温(即 $\geq 5.7^\circ\text{C}$ 的积温)与树轮年表的关系最为密切。

如表 2 所示,与大西沟气象站 $\geq 5.7^\circ\text{C}$ 的积温相关较好的年轮指数序列共有 8 个,它们与 $\geq 5.7^\circ\text{C}$ 的积温的单相关系数均达到了 0.10 的显著水平,复相关系数达 0.798。但在利用这一转化函数进行 $\geq 5.7^\circ\text{C}$ 的积温重建时,在 1941~1942 年,积温重建值却出现了负值,显然不符合实际情况。这可能与 8 个年表指数序列间具有一定的相关性,所选年表指数序列个数偏多,及 $\geq 5.7^\circ\text{C}$ 的日平均温度的气候积温序列年际变差较大(相邻年份 $\geq 5.7^\circ\text{C}$ 的积温最大相差 3.5 倍,1976 年为 26℃,1977 年为 116℃;年际间 $\geq 5.7^\circ\text{C}$ 的积温最大与最小值相差 5.1 倍,1974 年为 158.2℃,1976 年为 26℃。)所造成的转换函数不稳定有关。为克服上述问题,先对 $\geq 5.7^\circ\text{C}$ 的积温进行对数变换,再使用提取主分量再回归的方法建立 8 个年轮指数序列构成的年轮场

表 2 与大西沟气象站 $\geq 5.7^\circ\text{C}$ 的积温相关较好的差值年表指数序列

Table 2 The series of residual chronological index having better correlation with $\geq 5.7^\circ\text{C}$ cumulative temperature of Daxigou meteorological station

年表代号 Code name	XBY	XGS	WLL	HXA	ZED	BEQ	SET	SET
指数序列 Tree-ring index series	t	t	t	$t+1$	$t+1$	t	$t+1$	$t+2$
相关系数 Correlation coefficient	-0.36	-0.38	-0.40	-0.44	-0.42	-0.40	-0.33	-0.31

与≥5.7℃的积温的转换函数。

2 结果及讨论

2.1 ≥5.7℃积温与树轮年表呈负相关的树木生理学意义

树木年轮的生长是光合作用的结果,而树木光合作用的下限温度一般为 5.0℃,但该值随不同的树种和地区还会发生一些变化^[15]。图 2 表明在≥0.0~7.0℃积温的范围内,以≥5.7℃的积温与树轮指数序列间的负相关最显著,此外从表 2 可见,7 个天山云杉树轮年表的树轮指数与≥5.7℃的积温具有良好的负相关性,8 个单相关系数中有 6 个达到了 0.05 的显著水平,2 个达到了 0.10 的显著水平,这说明乌鲁木齐河山区天山云杉开始光合作用的下限温度一般应在 5.7℃左右。由于乌鲁木齐河山区属于半干旱区,树木年轮生长主要受土壤水分条件制约,而土壤水分又主要来自大气降水,在天山云杉进行光合作用的年轮生长期中,≥5.7℃的积温越多,树木蒸发所消耗的水量就越大,在降水条件一定的情况下,可用于年轮生长的水分就越少,就越不利于树木年轮的生长。因此,乌鲁木齐河山区天山云杉年轮生长表现出了与≥5.7℃的积温的良好负相关性。

2.2 ≥5.7℃积温的重建

使用提取主分量再回归方法建立的 8 个年轮指数序列构成的年轮场与大西沟气象站≥5.7℃积温之间的转换函数为:

$$\sum T = EXP(4.411 - 0.230 T_1 - 0.109 T_3 + 0.230 T_6 - 0.265 T_7)$$
 (1)

式中,∑T 为大西沟气象站≥5.7℃积温;T₁、T₃、T₆、T₇ 分别为表 2 中 8 个年轮指数序列构成的年轮场的第 1、3、6、7 主分量。转换函数的复相关系数为 0.741,经 F 检验,其远远超过了 0.001 的极显著水平。转换函数可解释 1961~1991 年大西沟气象站≥5.7℃积温总方差的 55%,重建结果较好(见图 3)。由(1)式,重建出了 1796~1991 年乌鲁木齐河山区大西沟气象站 196a ≥5.7℃积温长序列。

由于 1961~1991 年的时段太短,无法使用分裂样本的独立检验方法,这里使用交叉检验方法^[8]来检验转换函数的稳定性。结果表明:方程(1)的交叉检验误差缩减值为 0.483,相关系数为 0.715,一阶差相关系数为 0.540,原序列及一阶差符号检验值分别为 26/31 及 25/30,均达到 0.01 的显著水平。这些说明转换函数是稳定的。

2.3 196a≥5.7℃积温的变化

从图 4 中滤去了小于 8a 的高频波动后的大西沟气象站 196a≥5.7℃积温曲线(粗实线)可见:乌鲁木齐河山区≥5.7℃积温近 180 多年来,完整地经历了 7 个偏多及 7 个偏少阶段,偏多阶段为:1806~1812 年,1817~1829 年,1853~1864 年,1876~1886 年,1906~1920 年,1942~1958 年,1972~1976 年;偏少阶段有:1813~1816 年,1830~1852 年,1865~1875 年,1887~

1905 年,1921~1941 年,1959~1971 年,1977~1983 年。其中持续年数最多的偏多期为 1942~1958 年(17a),持续年数最多的偏少期为 1830~1852 年(23a)。≥5.7℃积温偏多最大的两个阶段为 1806~1812 及 1942~1958,距平百分率分别为+29.1%,+28.7%。≥5.7℃积温偏少最多的时段为 1959~1971 年,距平百分率为-28.5%。

取≥5.7℃积温距平百分率-20%~+20%为正常年,>+60%为暖年,<-60%为冷年,期间分别为偏暖年及偏冷年。近 196 年来,大西沟气象站≥5.7℃积温出现暖年 22 个,占 11.2%;冷年 7 个,占 3.6%;偏暖年 25 个,占 12.7%;偏冷年 75 个,占 38.3%;正常年 67 个,占 34.2%。这表明天山乌鲁木齐河山区≥5.7℃积温变化具有两个基本特征:一是偏冷年出现的频率大于偏暖年,二是暖年出现的频率多于冷年。1961~1991 年天山乌鲁木齐河山区≥5.7℃积温实测值也出现了前一特征,31a 中偏冷年出现 6 个,而偏暖年仅出现 3 个,说明这一特征是客观存在的,而后一特征目前用实测资料还无法证实。

近 196a 来,两个最暖的年份分别为 1917 年及 1944 年,≥5.7℃积温分别为 415.6℃和 386.0℃,两个最冷的年份为 1803 年及 1961 年,≥5.7℃积温分别是 26.5℃和 26.9℃。

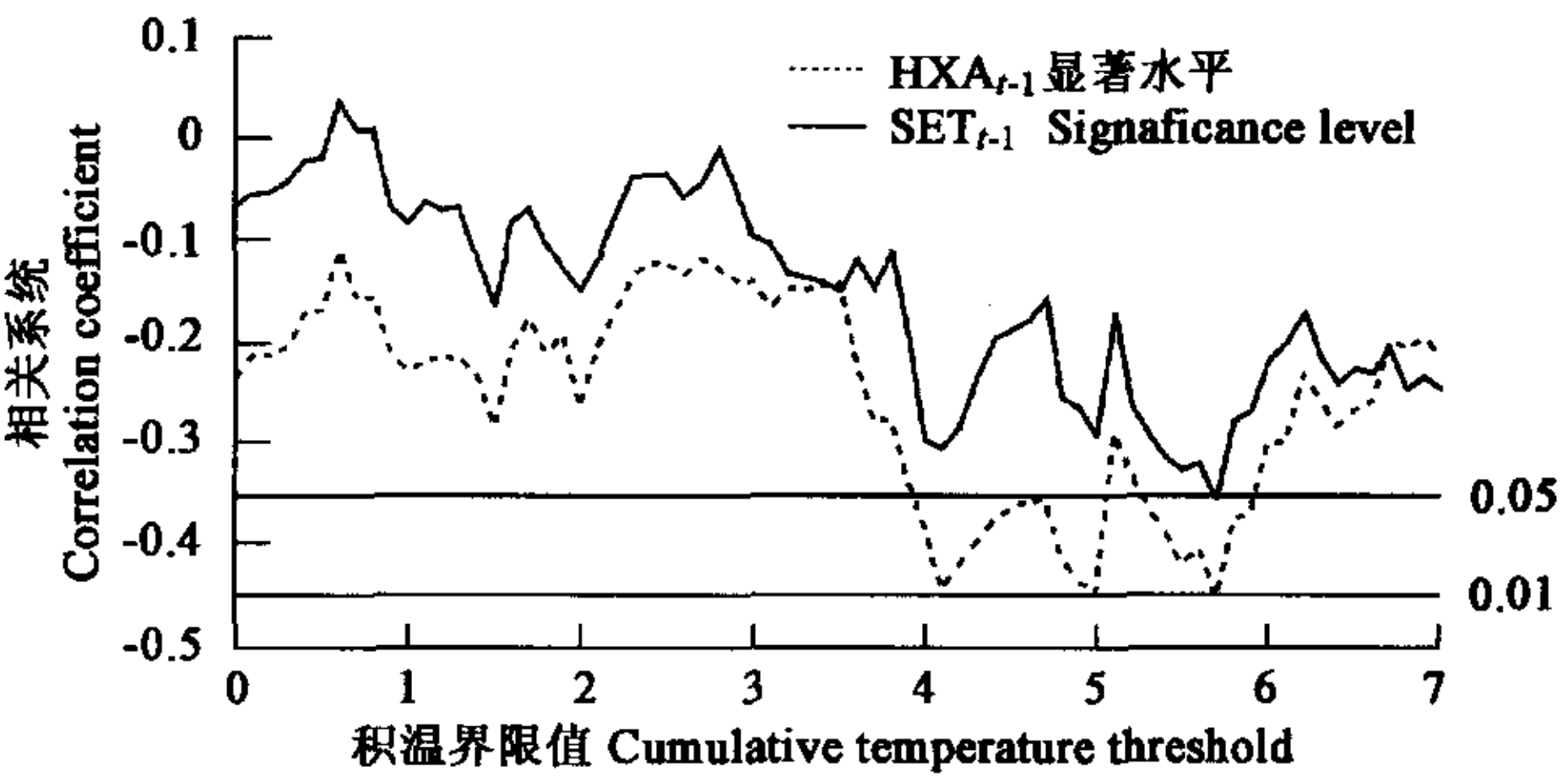


图 2 积温与年表序列的单相关系数
Fig. 2 The single correlation coefficients between cumulative temperature and tree-ring chronological series

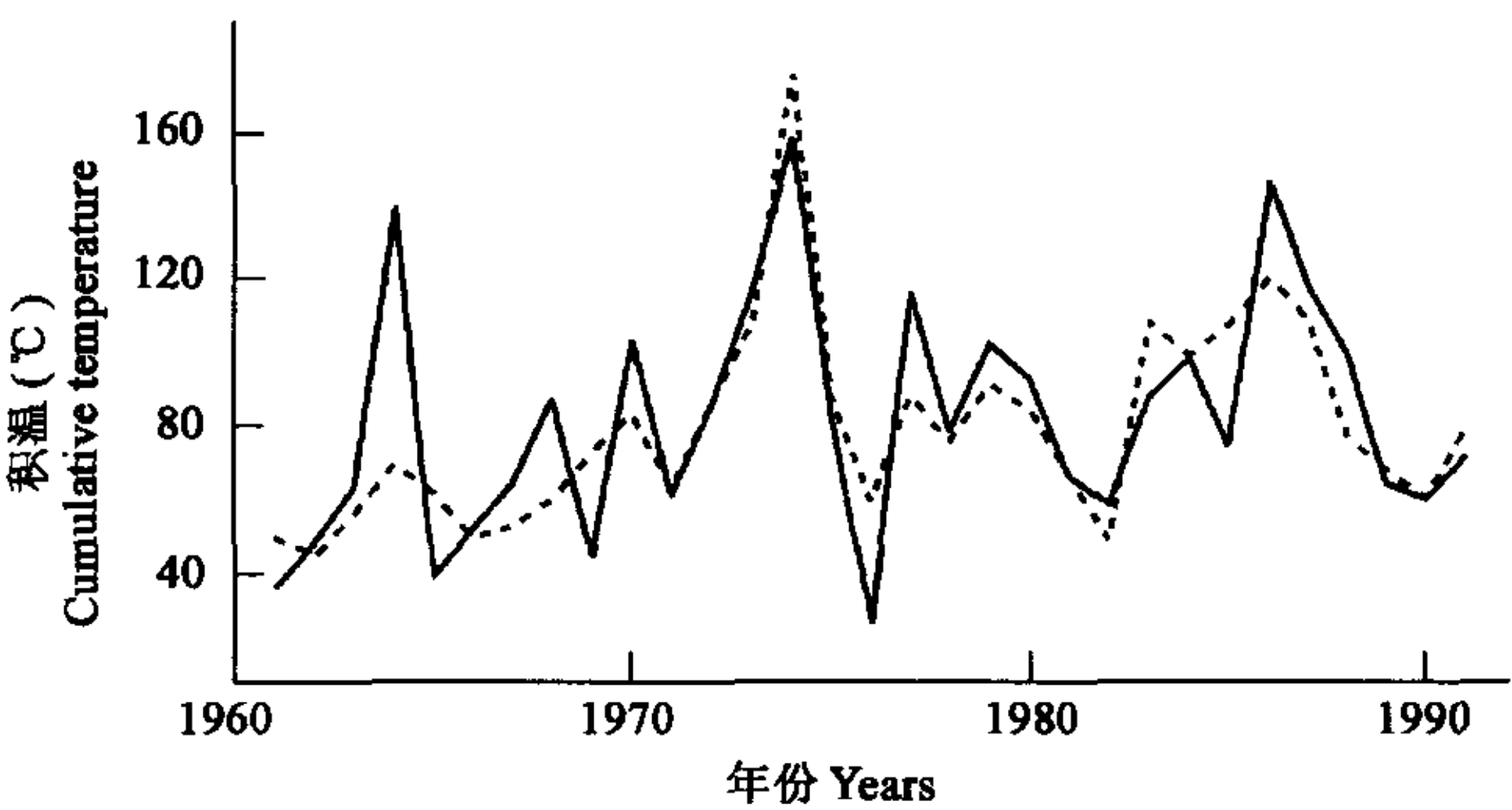


图 3 ≥5.7℃积温实测值(实线)与重建值(虚线)的对比图
Fig. 3 Comparison of curves between ≥5.7℃ cumulative temperature observation and reconstruction (dashed line)

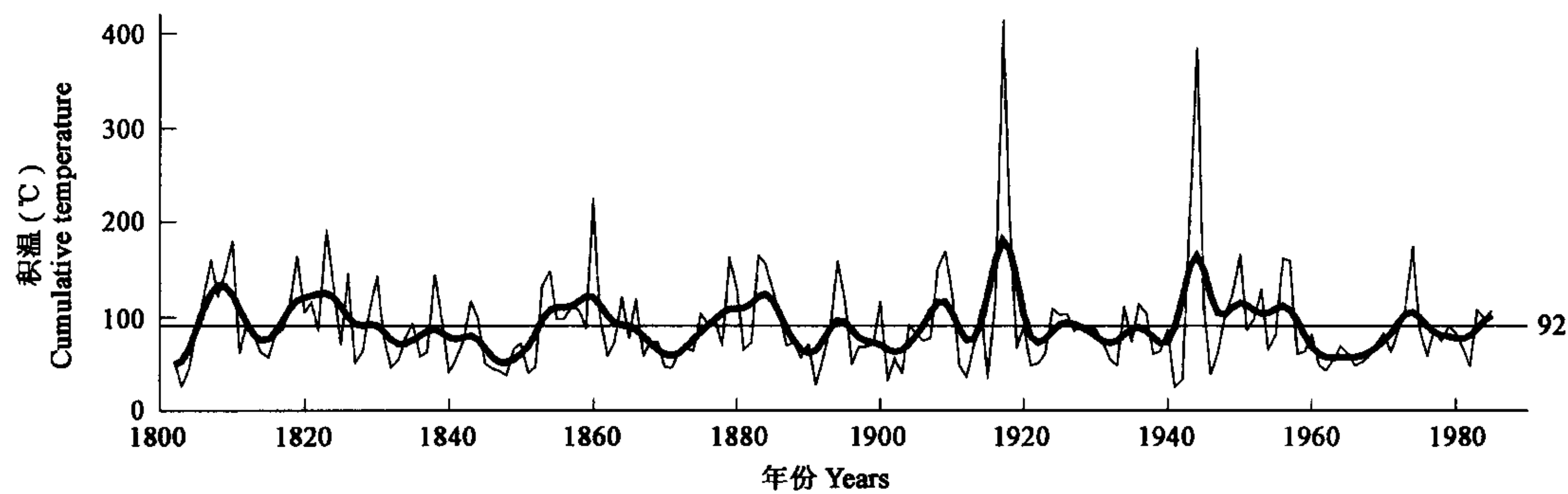
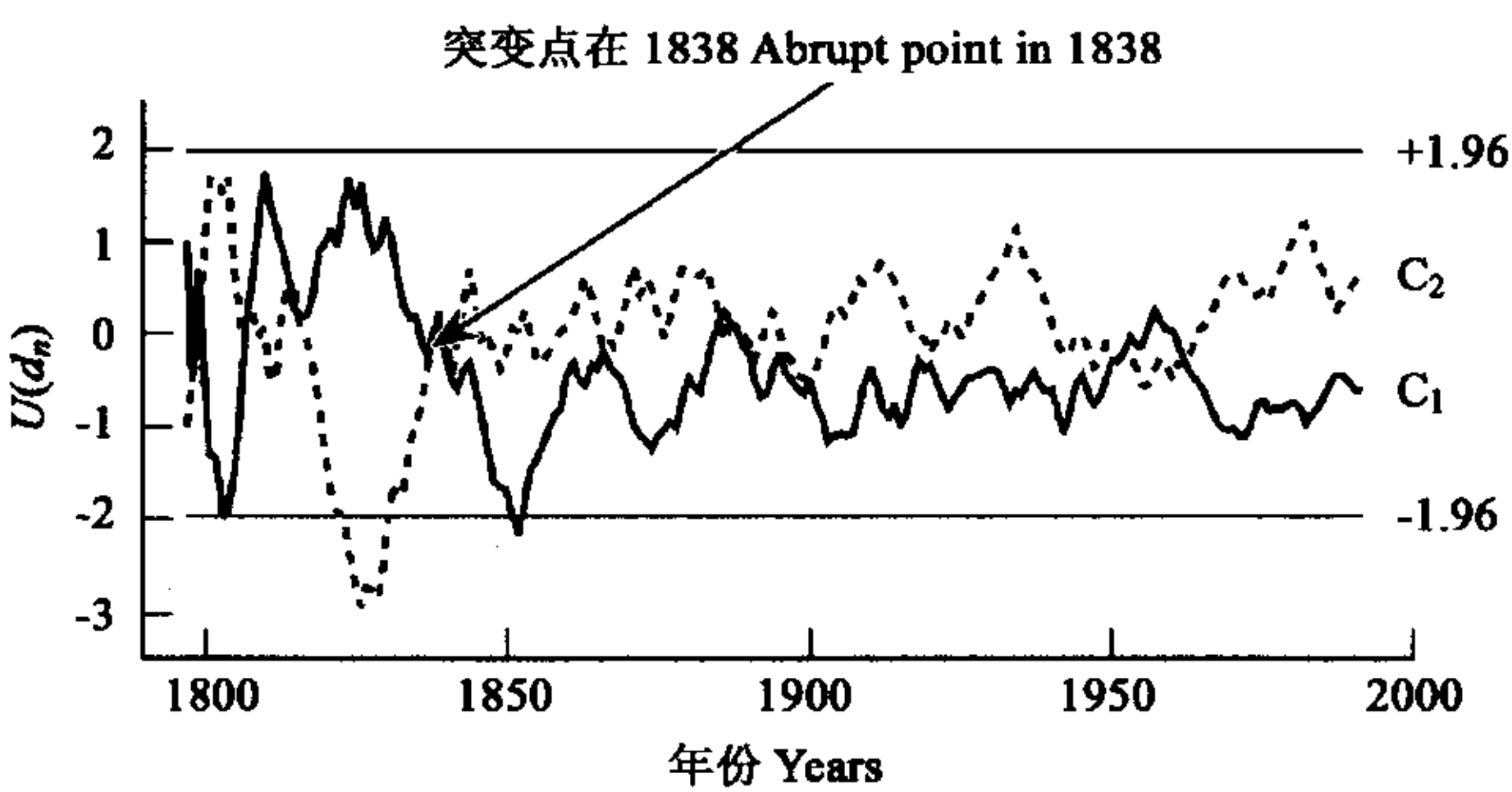


图 4 $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ 积温重建值(细实线)及其低通滤波(粗实线)曲线

Fig. 4 The curves of low-pass filtering (thick line) and reconstruction (thin line) of $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ cumulative temperature

为发现 196a 大西沟气象站 $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ 积温序列中几十年尺度的长期增多或减少趋势,依次向后滑动一年,取最小时段为 30a,时段增量为 1a,计算所有可能的 $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ 积温与年份代号的单相关系数,发现最显著的 $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ 积温减少趋势出现在 1806~1852 年(47a),减少率为 $15.2^{\circ}\text{C}/10$ 年,其单相关系数达 -0.515 ,显著水平为 0.0003 。最显著的 $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ 积温增加趋势出现在 1958~1987(30a),积温增多率是 $16.6^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,相关系数为 0.527 ,显著水平达到 0.003 。

目前检测突变的方法有多种,这里采用多数人认为理论基础和应用效果较好的 Mann-Kendall 法,对大西沟气象站 $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ 积温序列进行突变检测。在图 5 中,如果 C_1 和 C_2 在临界值 1.96 ($\alpha=0.05$ 之间有一个显著的交点,且 C_1 上升超过 $+1.96$ 或下降低于 -1.96 ,则可以认为 $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ 积温在 0.05 的显著水平上产生了突变,前者表示由低温向高温突变,后者指示从高温向低温突变,并且这个交点就是突变的开端。从图 5 可见,大西沟气象站 196 年的 $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ 积温在 1835 年发生过由暖向冷的突变。



最大熵谱分析指出,近 196 年大西沟气象站 $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ 积温重建序列,依重要程度排列,存在着 3.32、34、3.84、9、4.36 及 6.53 年的变化准周期,显然高频周期略占优势,这和近 196 年 $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ 积温重建序列高频变化(小于 8a 的波动)约占总方差的 59.2% 的事实相吻合。

2.4 $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ 积温重建序列的代表性

天山山区至今尚无百年的积温长序列资料,利用 1961~1991 年天山山区仅有的资料序列完整的 8 个气象站的日平均温度资料计算气候积温,再与大西沟气象站 $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ 积温重建值求单相关系数。从表 3 可见:大西沟 $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ 积温重建序列对天山山

图 5 $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ 重建积温的 Mann-Kendall 突变检测

Fig. 5 The Mann-Kendall abrupt change test of reconstructed $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ cumulative temperature

5.7°C 积温重建序列高频变化(小于 8a 的波动)约占总方差的 59.2% 的事实相吻合。

表 3 大西沟气象站 $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ 积温重建值与天山山区 8 个气象站气候积温的最佳单相关系数

Table 3 The best single correlation coefficients between the reconstructions of $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ cumulative temperature for Daxigou meteorological station and the climatic cumulative temperature values for 8 meteorological stations in Tianshan mountainous area

地理部位 Geographical position	气象站 Meteorological station	界限温度范围 Range of limit temperature	相关积温($^{\circ}\text{C}$) Correlation cumulative temperature	相关系数 Correlation coefficient	显著水平 Significance level
天山西段 West part of Tianshan mountain	昭苏	0.0~19.0	15.8	0.635	0.00012
	新源	0.0~25.0	23.3	0.543	0.00016
天山中段 Middle part of Tianshan mountain	巴音布鲁克	0.0~14.0	11.6	0.727	0.00000
	小渠子	0.0~19.0	17.1	0.757	0.00000
	大西沟	0.0~7.0	5.7	0.741	0.00000
	巴伦台	0.0~22.0	21.5	0.812	0.00000
天山东段 East part of Tianshan mountain	天池	0.0~20.0	17.5	0.714	0.00001
	巴里坤	0.0~20.0	17.3	0.519	0.00276

* 在不能使过多年份积温值为零的前提下,最高界限温度值由试算确定 Maximum limit temperature could be confirmed by means of calculation under the condition that too many cumulative temperature values were not equal to 0°C

区中段气象站的积温变化代表性最佳,对天山山区东、西段气象站的积温变化代表性较好。此外,值得说明的是,各气象站与大西沟 $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ 积温重建序列的最佳相关积温不同与这些气象站的位置及海拔差异有一定关系。

2.5 讨论

通过大量深入细致的计算发现,生长在天山北坡乌鲁木齐河山区的天山云杉树木年轮生长,与大西沟气象站基于日平均温度的 $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ 的气候积温的关系为最佳。首先,这表明在日平均、日最高、日最低温度的3种积温中,以基于日平均温度的一般积温与树轮生长的关系密切,这可能与日平均温度比日最高、日最低温度更能较全面地反映出一天中温度的平均状况有关;其次在一般积温的3种类型(气候积温、活动积温及有效积温)中天山云杉的年轮生长又和气候积温关系最好,其原因可能在于气候积温对积温的实际情况反映得更好些,因为气候积温是稳定通过界限温度初终期间的各日平均气温的总和,期间即使有低于界限温度的情况也要如实累加,而活动积温是指植物某一正常发育期或全部生长季中高于或等于生物学最低温度的日平均气温的累计,有效积温是在活动积温的基础上日平均温度减去生物学最低温度后累加的结果。第3在 $5.0\sim 7.0^{\circ}\text{C}$ 的每隔 0.1°C 的21个气候积温序列中,以 $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ 的气候积温与天山云杉年轮生长的关系为最佳,这说明在分析树木年轮生长与热量条件的关系时,采用基于3种日温度资料、3种积温类型的9种较常见积温更为精细的以 0.1°C 为间隔的非常见积温,可以更为准确的确定树木年轮中所包含的相邻气象站的积温信息,有助于在积温重建时获得更好的效果。此外,本文的工作旨在为分析树木年轮生长与热量状况的关系,提供一种新的分析思路,具体到一个特定的地区和树种,与其年轮生长相关最佳的日温度种类、积温类型和界限温度常常会有很大的不同,这与该地区的大气候特点、树木的生态学特性、相关气象站与林区的三维距离差异所造成的局地气候差别等因素往往都具有很大的关系。

3 结论

综上所述,可得以下4点主要结论:

(1)天山乌鲁木齐河山区的天山云杉树轮年表的树轮指数与 $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ 的积温具有良好的负相关性, $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ 的积温越多,树木蒸发所消耗的水量就越大,在降水条件一定的情况下,可用于年轮生长的水分就越少,就越不利于树木年轮的生长。

(2)天山乌鲁木齐河山区大西沟气象站196年 $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ 积温长序列完整地经历了7个偏多及7个偏少阶段,存在着3.32、34、3.84、9、4.36及6.53年的变化准周期; $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ 积温变化具有两个基本特征:一是偏冷年出现的频率大于偏暖年,二是暖年出现的频率多于冷年。两个最暖的年份分别为1917年及1944年, $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ 积温分别为 415.6°C 和 386.0°C ,两个最冷的年份为1803年及1961年, $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ 积温分别是 26.5°C 和 26.9°C ;最显著的 $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ 积温减少趋势出现在1806~1852年,减少率为 $15.2^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,最显著的 $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ 积温增加趋势出现在1958~1987年,积温增多率是 $16.6^{\circ}\text{C}/10\text{a}$; $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ 积温在1835年发生过由暖向冷的突变。

(3) $\geq 5.7^{\circ}\text{C}$ 积温重建序列对天山山区积温变化的代表性以中段为最佳,东、西段较好。

(4)在分析树木年轮生长-热量条件的关系并进行积温重建时,采用基于3种日温度资料、3种积温类型的9种较常见积温更为精细的以 0.1°C 为间隔的非常见积温,可以更为准确的确定树木年轮中所包含的相邻气象站的积温信息,有助于在积温重建时获得更好的效果。

References:

- [1] Xu D Y, Guo Q H, Yan H, et al. *The study of influence of climate change on Chinese forests*. Beijing: Science Press, 1977.
- [2] Xiong L, Palmer JG. Reconstruction of New Zealand temperatures back to AD 1720 using *Libocedrus bidwillii* tree-rings. *Climatic change*, 2000, (2) 339~359.
- [3] Jacoby G C, Lovelius N V, Shumilov O I, et al. Long-term temperature trends and tree growth in the Taymir region of northern Siberia. *Quaternary Res.*, 2000, **53**(3): 312~318.
- [4] Naurzbaev M M, Vaganov E A. Variation of early summer and annual temperature in east Taymir and Putoran (Siberia) over the last two millennia inferred from tree rings. *J. Geophys Res-amos*, 2000, **105**: (D6) 7317~7326.
- [5] Vaganov E A, Hughes M K and Kirilyanov A V, et al.. Influence of snowfall and melt timing on tree growth in subarctic Eurasia, *Nature*, 1999, **400**:149~151
- [6] Liang E Y, Shao X M, Hu Y X, et al. A dendroclimatic study of relic picea meyeri in Inner Mongolian Steppe. *Acta Botanica Sinica*, 2001, **43**(3): 288~294.
- [7] Shao X M, Fan J M. Past climate on west Sichuan plateau as reconstructed from ring-widths of dragon spruce. *Quaternary sciences*, 1999, (1):82~89.
- [8] Yuan Y J, Li J F. Reconstruction and analysis of 450 years' winter temperature series in the Urumqi river source of Tianshan Mountains. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1999, **21**(3): 64~70.

- [9] Liu H B, Shao X M. Reconstructions of early-spring temperature at Zhenan from 1755 using tree ring chronology. *Acta Meteorologica Sinica*, 2000, **58**(2): 223~233.
- [10] Stokes M A and Smiley T L. *An introduction to tree-ring dating*. Chicago: The University of Chicago Press, 1968.
- [11] Holmes R L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin*, 1983, **43**: 69~75.
- [12] Holmes R L, Program ARSTAN (Version B-1992). *Laboratory of Tree-Ring Research*. University of Arizona. Tucson, 1992.
- [13] Shao X M, Wu X D. Tree-ring chronologies for *Pinus armandi franch* from Huashan, china. *Acta Geographica Sinica*, 1994, **49**(2): 174~178.
- [14] Wang S T, Wang B M. *Clear up meteorological data and statistical method*. Beijing: China meteorological press, 1984.
- [15] Forestry school of Sichuan, Forestry school of Jilin and Agriculture and forestry school of Shanxi. *Forestry*. Beijing: Chese Forestry Press, 1982.

参考文献:

- [1] 徐德应, 郭泉水, 阎洪, 等著. 气候变化对中国森林影响研究. 北京: 科学出版社, 1997.
- [6] 梁尔源, 邵雪梅, 胡玉熹, 等. 内蒙古草原残遗白杆的树木年轮气候学研究. *植物学报*, 2001, **43**(3): 288~294.
- [7] 邵雪梅, 范金梅. 树轮宽资料所指示的川西过去气候变化. *第四纪研究*, 1999, (1): 82~89.
- [8] 袁玉江, 李江风. 天山乌鲁木齐河源 450a 冬季温度序列的重建与分析. *冰川冻土*, 1999, **21**(3): 64~70.
- [9] 刘洪滨, 邵雪梅. 采用秦岭冷杉年轮宽度重建陕西镇安 1755 年以来的初春温度. *气象学报*, 2000, **58**(2): 223~233.
- [13] 邵雪梅, 吴祥定. 华山树木年轮年表的建立. *地理学报*, 1994, **49**(2): 174~178.
- [14] 王树廷, 王伯民, 等编著. 气象资料的整理及统计方法. 北京: 气象出版社, 1984.
- [15] 吉林林业学校, 四川林业学校, 陕西农林学校编. 森林学. 北京: 中国林业出版社, 1982.