

天山乌鲁木齐河源 450 a 冬季温度序列 的重建与分析^①

袁玉江 李江凤

(新疆气象科学研究所, 乌鲁木齐 830002)

摘 要 相关计算表明, 乌鲁木齐河树轮年表与大西沟气象站冬季(上年12月至当年3月)平均最低温度相关显著, 最高单相关系数为0.61($\alpha=0.001$), 给出了其在树木生理学方面的解释. 使用7个年表序列构成的5个主分量可较好地重建乌鲁木齐河源大西沟气象站冬季平均最低温度长序列, 解释方差达66.64%. 通过探讨来自不同年表的同一气候要素的两个重建序列的合并条件, 得到了453 a的乌鲁木齐河源冬季平均最低温度长序列. 对该序列的特征分析表明: 1) 乌鲁木齐河源冬季平均最低温度经历了5个偏冷及5个偏暖期; 2) 453 a来, 以14世纪50年代为最暖, 比现今(1960~1993年均值)偏暖1.3℃; 本世纪20年代最冷, 比现今偏冷1.9℃. 5个极端冷冬的平均最低温度平均比现今偏冷4.3℃, 4个极端暖冬的平均值比现今偏暖3.8℃; 3) 453 a的重建冬季温度长序列具有102 a, 29 a及52 a的变化准周期, 且存在5次温度突变, 在1691~1694年和1900~1906年发生过冬温由高向低的突变, 而在1718~1725年, 1831~1835年和1934~1935年出现过自低温向高温的突变.

关键词 树轮年表 冬温 突变

中图法分类号 P463.22

第一作者简介 袁玉江, 男, 43岁, 副研究员, 1982年毕业于新疆大学地理系. 现主要从事年轮气候、年轮水文学研究工作.

乌鲁木齐河流域位于天山山脉天格尔山北坡, 西接头屯河流域, 东邻板房沟流域, 是我国冰川气候观测研究最深入的地方. 早期在该区的树木年轮工作, 因样本量难以达到国际树木年轮数据库(ITRDB)对“复本”的基本要求, 研究精度受到一定影响. 在中国科学院兰州冰川冻土研究所天山冰川观测试验站的支持下, 1993年以来, 我们在该地开展了深入的年轮气候研究, 建立了乌鲁木齐河源区9个采点上的树轮年表. 本文依据它们重建了乌鲁木齐河源大西沟气象站453 a的冬季平均最低温度序列. 由于全球气候变暖是目前的研究热点之一, 而其又主要出现在冬季, 因此, 本文对冬季温度序列的重建与分析是很有意义的.

1 采样及年表建立

1993年7~8月, 我们在乌鲁木齐河的8条支

流上, 布设9个年轮采点(图1), 取样190株树, 每棵树2个钻芯, 合计380个样本; 树种为天山云杉(*Picea Schrenkiana* Var *Tianclanica*). 各采样点均土层薄, 坡度大, 受人类活动影响小.

依据树木年轮分析的基本程序(Fritts, 1976), 先对钻芯进行预处理和初步定年, 然后测量轮宽, 并用计算机程序COFECHA进行交叉定年的质量检验. 在年表研制过程中, 剔除了奇异点过多或者与主序列相关较差的年轮指数序列, 最终共取280个样本, 用以建立树轮年表.

采用ARSTAN树轮年表研制程序, 由样条函数进行生长量订正, 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9个采点上的标准化树轮年表(STD)、差值年表(RES)及自回归标准化树轮年表(ARS)共27个. 这3种年表各有特色, 差值年表只含有群体共有的高

^① 本文于1998-03-09收到/属中国气象局气候中心开放试验室基金及中国科学院兰州冰川冻土研究所天山冰川观测试验站基金共同资助项目.

频变化; 自回归标准化年表, 除含有差值年表的信息外, 还含有群体共有的低频变化; 而标准化树轮年表比自回归年表还多含有少量的树木个体生长持续性造成的低频变化分量. 这 3 种树轮年表的建立, 可为气候重建提供更大的年表选择灵活性.

从表 1 可见, 乌鲁木齐河树轮年表的平均敏感度和树木间的平均相关系数均较高, 具有典型的半干旱区树轮年表特征, 是进行气候重建的良好树轮资料.

2 冬季温度的重建

2.1 温度与树轮年表的相关分析

为正确识别树轮年表中所包含的温度信息类型, 针对大西沟气象站 1960~1993 年的月平均温度、月平均最低温度及月平均最高温度, 取上年 1 月至当年 9 月的各种顺序组合与乌鲁木齐河的 27 个树轮年表进行相关普查计算, 3 种温度的最佳相关时段、最佳相关年表及最佳相关系数见表 2.

计算表明, 在所有温度顺序组合中, 以上年 12 月至当年 3 月的温度对当年年轮生长的相关最好. 由表 2 可见, 在 3 种温度类型中, 以平均最低温度对树木轮宽生长的限制作用最强. 此外, 从表 1 可见, 表 2 中与温度具有较好相关性的年表所在的 5 个采点, 除乌拉勒吐拜克沟(WLL)海拔略偏低外, 其余 4 个点海拔均较高, 接近森林上限.

2.2 森林上限附近树木生长与冬季平均最低温度相关的生理学意义

2.2.1 冬季低温对年轮生长影响的实在性

冬季气温与年轮生长具有很好的正相关性, 在

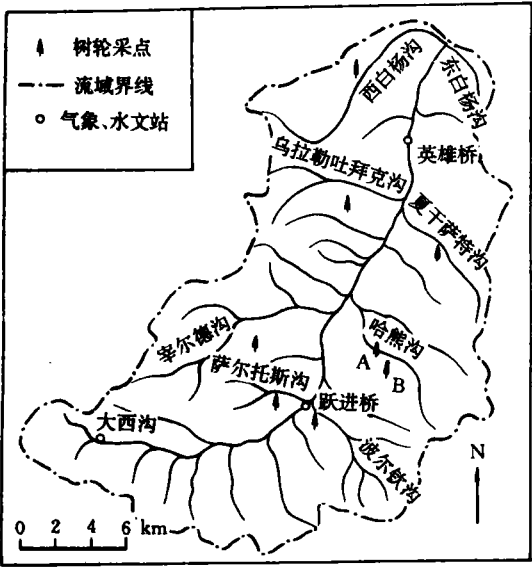


图 1 乌鲁木齐河山区流域树木年轮采点示意图

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

表 1 乌鲁木齐河山区树轮采点概况、树轮年表主要特征参数及共同区间分析结果

Table 1 General situation of sampling sites, main feature coefficients and analysis results of common fields of tree-ring chronologies in the mountainous basin of the Urumqi River

采样点代号	DBY	XBY	XGS	WLL	HXA	HXB	ZED	BEQ	SET
地 点	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	波尔钦沟	萨尔托斯沟
北纬 (N)	43° 26′ 06″	43° 24′ 10″	43° 16′ 35″	43° 18′ 35″	43° 11′ 50″	43° 11′ 05″	43° 12′ 50″	43° 08′ 20″	43° 09′ 12″
东经 (E)	87° 19′ 05″	87° 07′ 02″	87° 14′ 05″	87° 09′ 20″	87° 09′ 45″	87° 10′ 55″	87° 02′ 30″	87° 07′ 12″	87° 03′ 50″
海拔 / m	2 160	2 325	2 070	2 250	2 345	2 430	2 390	2 440	2 480
坡向	北西-西	北东-东	北-北东	北-北西	北东	北西-西	北西-西	北东	北西
坡度 / °	30~50	30~70	25~35	20~38	30~60	25~40	30~35	30~60	20~45
样本量 / 株	20	17	25	16	16	11	21	17	14
年表长度 / a	195	242	327	200	258	458	373	364	260
一阶自相关系数	0.032	0.069	0.008	0.108	0.033	0.025	0.021	-0.010	0.016
平均敏感度	0.204	0.314	0.435	0.302	0.263	0.260	0.235	0.325	0.289
标准差	0.181	0.281	0.368	0.293	0.233	0.246	0.205	0.295	0.277
共同区间 / 年	1875~1993	1892~1993	1876~1993	1906~1993	1882~1993	1782~1993	1835~1993	1898~1993	1905~1993
树间平均相关系数	0.436	0.358	0.519	0.419	0.492	0.350	0.414	0.308	0.378
信噪比	15.448	8.373	24.843	11.550	7.745	4.844	11.282	7.558	7.911
样本对总体的解释量 / %	93.90	89.30	96.10	92.00	88.60	82.90	91.90	88.30	88.80

表 2 大西沟气象站上年 12 月至当年 3 月平均最低温度(°C)与树轮年表的相关系数

Table 2 Correlation coefficients between December to March mean minimum temperature of Daxigou Meteorological Station and tree-ring chronologies

树轮年表	WLL			HXA			HXB			ZED			SET		
年表类型	STD	RES	ARS	STD	RES	ARS	STD	RES	ARS	STD	RES	ARS	STD	RES	ARS
平均温度	0.39	0.43	0.38	0.50	0.54	0.52	0.58	0.54	0.59	0.49	0.50	0.50	0.49	0.51	0.50
平均最高温度	0.36	0.38	0.35	0.45	0.48	0.47	0.51	0.48	0.51	0.44	0.45	0.44	0.46	0.47	0.48
平均最低温度	0.40	0.45	0.40	0.50	0.54	0.52	0.60	0.54	0.61	0.50	0.50	0.51	0.44	0.46	0.46

70 年代我们做单株树木年轮生长与温度的相关分析时,就曾发现过,因为当时认为年轮生长与冬季温度无关而没有采用。

国外年轮气候专家所作的欧洲西部欧洲枞树种的多个树轮年表,对气候的概要响应函数表明(吴祥定等,1990),在上年 6 月至当年 7 月 14 个月的气温及降水中,只有上年 8 月及当年 2 月的气温超出 0.01 水平的检验,这两个月的气温变化对欧洲枞树木年轮生长的影响是极为重要的,上年 8 月的气温与年轮呈负相关,而当年 2 月的气温与年轮呈正相关,后者显示了冬季气温偏低,不利于欧洲枞树年轮的生长,会形成偏窄的年轮。

原苏联在 1939~1940 年冬季气温特别低,特卡钦柯(1959)对列宁格勒州的云杉林做了调查研究后发现,受害的云杉针叶,在来年早春大量变红而后凋落,也出现了顶枝或小枝顶端冻伤的现象,1940 年的云杉年轮宽度比 1939 年的窄 1/2 至 4/5,绝大多数树木的高生长量不是减少了,就是干脆不长,有些树木一连 2 a 都没有高生长量,凋落针叶达 60% 的云杉,在受害后当年的夏天或 1 a 后就死亡了,而凋落针叶不到 1/3 的云杉,却仍能恢复生长。

新疆乌鲁木齐天山北坡云杉林由于处于逆温带中,冬季气温偏高,近几十年来,新疆林业部门的云杉专家没有观测到类似前苏联云杉冻死的情况,顶枝冻死现象也未见到,但我们利用采自森林上限附近的云杉年轮与大西沟气象站的气温进行单相关分析时(表 2),却揭示了冬季(上年 12 月至当年 3 月)温度与年轮宽度指数的良好正相关性,为了进一步证实冬季低温对云杉年轮生长的限制作用,这里选取采自较高海拔的哈熊沟上限年表(HXB,ARS),其单株采集的最高海拔达到 2 600 m 以上,并利用乌鲁木齐市的气温资料,将大西沟的上年 12 月至当年 3 月平均最低温度延长到 1942 年(两者的相关系数达到 0.05 的显著水平),大西沟

1942~1993 年共 52 a 的冬季平均最低温度的均值为 -18.0 °C,将大西沟冬季平均最低温度低于 -18.5 °C 的年份的温度与所选的年表的年轮宽度指数的距平百分率对比列于表 3。从表 3 可见,取 -18.5 °C 作

表 3 大西沟冬季平均最低温度与哈熊沟上限年表(HXB)年轮指数距平百分率的比较

Table 3 Comparison of winter mean minimum temperature at Daxigou and percentage of tree-ring anomaly at HXB site

年 份	上年 12 至当年 3 月	年轮指数距	降水量距平 / mm	
	平均最低温度 / °C	平百分率 / %	时段 / 月	距平
1945	-19.5	-34.5		
1947	-18.6	-12.1		
1951	-19.5	-21.3		
1953	-18.5	-13.0		
1954	-18.7	+4.7	5~7	+21.9
1955	-19.3	+4.1	3~5	+24.4
1956	-18.5	+22.9	4~6	+45.0
1957	-18.5	-13.3		
1961	-18.5	+1.8	2~4	+15.1
1967	-18.6	-3.6		
1969	-19.1	+1.2	5~7	+115.8
1970	-19.2	+6.3	5~7	+30.1
1974	-19.4	-41.4		
1975	-18.9	-14.1		
1977	-19.3	-16.5		
1984	-19.4	-10.4		
1985	-19.3	-19.5		

为冬季偏冷的标准,17 a 中有 11 a 年轮宽度偏窄,占 65%;若取 -18.9 °C 为寒冷冬季的标准,10 a 中有 7 a 偏窄,占 70%;如用 -19.3 °C 作为极端寒冷冬季年,7 a 中有 6 a 对应偏窄轮,占 86%;而低于 -19.4 °C 的 4 a,则 100% 对应偏窄轮。显然,冬季温度越低,对年轮生长的限制作用越强,下面分析 6 个冬季温度偏低,而没有形成偏窄轮年份的气候原因。由表 3 可见,6 a 中有 5 a 形成的是轮宽距平在 10% 以内的正常年轮(只有 1956 年是偏宽 22.9%

的年轮), 且它们多是由于冬季低温的影响, 被其后 3~7 月中的某几个月份的降水偏多的有利作用所抵消而造成的。如 1969 年, 冬季平均最低温度为 -19.1°C , 比 52 a 均值偏低 1.1°C , 树木受害程度较大, 尽管其 5~7 月降水偏多, 高达 115.8 mm, 但年轮仅偏宽 1.2%, 属于正常年轮。如此看来, 在冬季低温影响了年轮生长, 而后期的有利条件使其损失得以弥补, 形成一个偏宽不到 10% 的正常年轮的情况也可以视为包含着冬季低温的限制作用的话, 则在冬季平均最低温度偏低 0.5°C 的情况下, 云杉年轮生长受到其限制的年份, 在 17 a 中出现 16 a, 高达 94.1%, 这更进一步说明了冬季低温限制年轮生长的真实性。而 1956 年冬季温度偏低 0.5°C , 对树木的伤害较小。又因其 4~6 月降水偏多 45 mm, 形成偏宽轮, 在 52 a 中属于主导气候因子暂时失去限制作用的特殊情况。

2.2.2 冬季低温影响年轮生长的树木生理学意义

马克西莫夫院士的研究表明(特卡钦柯, 1959), 温度越低, 植物组织细胞内变成固态的水分便越多, 尚未冻结的原生质的脱水也越多, 并被冰晶所挤压。当原生质因水分冻结而受的挤压超过一定范围时, 便引起活细胞的死亡。这可能是当冬季温度偏低时, 使得云杉针叶死亡, 造成来年光合作用减弱, 从而形成偏窄轮的原因之一。

据国外研究, 在冬季土壤冻结会导致树木的根被冻死。在北方地区, 土壤冻结通常很深, 分布在地表面的根, 每年冬天都冻死很多(克累默尔和考兹洛夫斯基, 1963)。在冬季温度偏低, 积雪偏少的年份, 这种情况可能会更严重些。云杉属于浅根性树种, 绝大多数的根集中在 0~60 cm 深的土层内, 而用于年轮气候学研究的树木, 又多采自迎风坡且坡陡土薄的地方, 其积雪薄、温度低, 加上土薄, 根系受冻就更加难免。根系死亡又会使得来年树木吸收的营养物质减少, 树木枝叶发育不良, 以致光合作用减弱, 导致形成偏窄轮, 这是冬季低温影响来年年轮生长的另一个原因。

从气候意义上讲, 若冬季温度偏低, 冻土深度一般较深, 当春季来临时, 热量多被用来融化冻土, 地温回升慢, 根系生长开始晚, 造成树木生长期缩短, 形成偏窄轮。此外, 相关计算表明, 大西沟上年 12 月至当年 3 月平均最低气温与去冬至生长季末(12 月至翌年 9 月)的平均气温的相关系数高达 0.739, 显著水平达 0.001。它表明当去冬温度偏低时, 当年生长季的温度一般也偏低, 这显然不利

于生长在森林上限附近的树木的年轮生长。它可能是冬季温度偏低, 来年轮宽偏窄的第 3 个原因。

2.3 校准方程的建立

取与上年 12 月至当年 3 月大西沟气象站平均最低温度相关较好的乌拉勒吐拜克沟(WLL)、宰尔德沟(ZED)、哈熊沟 A 点(HXA)、哈熊沟 B 点(HXB)及萨尔托斯沟(SET)5 个采点上的 3 种类型的 15 个树轮年表, 进一步考虑第 $t-1$ a 冬季温度对第 t , $t+1$, $t+2$ a 树轮生长的持续性影响, 共 45 个年轮序列因子, 依据 1960~1991 年的冬季平均最低温度资料, 首先由逐步回归筛选出 7 个年表序列。由于它们之间仍存在着一定的互相关性, 如 HXB.ARS_t 与 ZED.STD_t 及 ZED.STD_{t+2} 的相关系数为 0.610 和 0.535, HXB.ARS_{t+1} 与 HXA.STD_{t+1} 的互相关系数为 0.632。为此, 又用提取主分量再回归方法进一步“缩维”, 选取占年轮场总方差 92.6% 的 5 个主分量, 再还原为年轮序列原始变量后的校准方程为:

$$\begin{aligned} T_{t-1} = & -29.948 + 1.258 \text{WLL.RES}_{t+2} \\ & + 5.382 \text{HXA.STD}_{t+1} + 3.102 \text{HXB.ARS}_t \\ & + 1.865 \text{HXB.ARS}_{t+1} + 2.722 \text{ZED.STD}_t \\ & - 21.263 \text{ZED.STD}_{t+2} + 18.754 \text{ZED.RES}_{t+2} \end{aligned}$$

式中: T_{t-1} 为大西沟气象站上年 12 月至当年 3 月平均最低温度; 年表代号由沟名(如 WLL)、年表类型名(STD 为标准化年表, RES 表示差值年表, ARS 代表自回归年表), 及年代序号(如 t , $t+1$, $t+2$ 分别代表当年, 第 2 年, 第 3 年)组成。

该校准方程的复相关系数为 0.81633, 解释方差为 66.64%, 其 $F_{5,26} = 10.387$, 经 F 检验达到了 0.000 015 的极显著水平。从图 2 可见, 重建值与实际值具有较好的同步性。

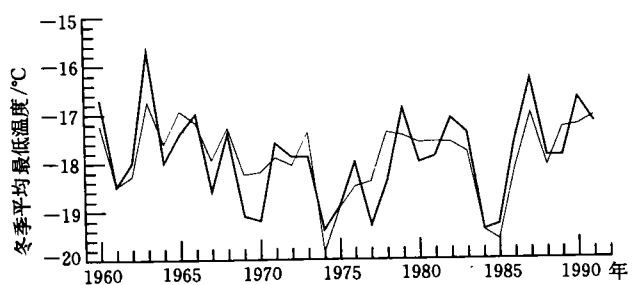


图 2 大西沟冬季平均最低温度重建(细线)

与实际值(粗线)对比曲线

Fig. 2 Observed (thick line) and reconstructed (thin line) curves of winter mean minimum temperature of Daxigou Meteorological Station

2.4 校准方程的稳定性检验

用逐一剔除法对校准方程做交叉检验, 发现其 32 个复相关系数最大为 0.840 69, 最小为 0.797 35, 仅相差 0.043 34, 变化甚小. 交叉检验所得的相关系数为 0.719, 一阶差相关系数为 0.648, 均达到了 0.001 的极显著水平. 交叉检验所得的误差缩减值 $Re=0.489$, 大于一般认为 $Re \geq 0.3$ 就算较好地通过检验的标准, 其原序列及一阶差符号检验分别为 23/32 及 22/31, 均达到了 0.05 的显著水平. 从以上检验参数可见, 此校准方程具有较好的稳定性, 由此方程所进行的温度重建结果是可靠的. 依据该方程, 本文重建了大西沟气象站 1796~1991 年上年 12 月至当年 3 月平均最低温度序列.

2.5 冬温重建序列的再延长

如表 2 所示, 在与大西沟气象站上年 12 月至当年 3 月平均最低温度相关较好的树轮年表中, 以哈熊沟 B 点的自回归树轮年表相关系数为最大 (0.613), 经检验达到了 0.000 12 的极显著水平, 校准方程为:

$$T_{t-1} = -22.230\ 4 + 0.004\ 429\ \text{HXB.ARS}_t$$

利用逐一剔除法进行交叉检验, 其单相关系数为 0.563, 超过了 0.000 53 的极显著水平; 误差缩减值 $Re=0.313$, 大于一般认为可算通过检验的 0.3 的标准, 说明该方程也具有较好的稳定性, 由它重建的 1543~1993 年大西沟气象站上年 12 月至当年 3 月平均最低温度序列具有一定的可信性.

本文试图合并这 2 个大西沟上年 12 月至当年 3 月平均最低温度重建序列, 我们认为, 由于它们来自不同的年表, 在精度上存在一定的差异, 因此, 对其进行合并应满足以下条件: 1) 2 个重建序列在重叠期上应具有达到较高信度水平的相关系数, 即具有较好的同步变化, 表明用于重建 2 个序列的树轮年表受相同的气候因子制约; 2) 2 个重建序列在重叠期上的均值没有明显的差异, 这表明 2 个重建序列没有因为所用年表的不同或精度上的差异而造成重建要素的长期均值发生变动, 合并后的重建序列满足均一性要求.

将 2 个大西沟上年 12 月至当年 3 月平均最低温度重建序列在 196 a 的重叠期 (1796~1991) 上进行单相关, 发现两者的单相关系数为 0.643, 考虑到 2 个序列都具有较高的自相关, 难以直接用 t 检验确定其显著水平, 故根据高自相关变量间的相关

系数及其统计检验的方法计算了其有效自由度:

$$DF = N / \left[\sum_{\tau=0}^{N/2} R_{xx}(\tau) R_{yy}(\tau) \right]$$

式中: N 为样本数; $R_{xx}(\tau)$, $R_{yy}(\tau)$ 为 2 个重建序列的自相关系数; τ 为时间滞后, 通常取到 N 的一半. 经计算 2 个温度重建序列在重叠期上的有效自由度为 $DF=99$, 用此自由度对相关系数进行 t 检验, 发现显著水平高达 0.000 000 1. 表明这 2 个冬季温度重建序列具有较好的同步性变化, 影响用于重建的树轮年表的主要气候因子是一致的.

计算重叠期上 2 个冬温重建序列均值, 发现由 7 个年表序列重建的序列均值为 $-18.2\ ^\circ\text{C}$, 而由哈熊沟 B 点的自回归树轮年表 (HXB.ARS) 重建序列的均值是 $-17.8\ ^\circ\text{C}$, 两者相差 $0.4\ ^\circ\text{C}$. 对近 200 a 的冬温均值来说, 相差这么多也不是一个可以忽视的小量, 它表明, 因使用树轮年表的不同, 造成了重建温度序列长期均值的一定偏差, 必须进行一定的订正后, 才能进行序列的合并. 由于对应于 7 个年表序列的重建序列具有较高的精度, 我们将单年表重建序列的重建值向其进行换算, 根据 $T_7 = -1.050 + 0.965 T_1$, 换算后的重建温度序列在 196 a 重叠期上的均值为 $-18.2\ ^\circ\text{C}$, 与 7 个年表序列对应的重建温度序列完全相同. 在此基础上, 将由哈熊沟 B 点的自回归树轮年表 (HXB.ARS) 重建的冬温序列 1543~1795 年的接在 7 个年表重建序列之前, 再将 1992~1995 年的实际值接在重建序列之后, 最终得到了 1543~1995 年共 453 a 的大西沟气象站上年 12 月至当年 3 月平均最低温度序列. 为了使年份与冬季温度相一致, 将重建温度序列的年份变为 1542~1994 年, 即为大西沟当年冬季 12 月至翌年 3 月平均最低温度序列, 这样便于温度变化特征的分析.

此外, 由于树木年轮指数序列一般具有较强的自相关特点, 因此, 本文所采用的对高自相关序列间的相关系数进行检验的方法, 也可应用到树轮年表研制过程中年轮序列的剔除的互相关标准值的确定上.

3 大西沟 450 a 重建冬季温度的变化特征

3.1 冷暖阶段

在多数重建研究中, 一般认为在重建逐年值基础上所得出的低频变化较重建的逐年值本身要可靠得多 (Fritts, 1991). 滤去了 $< 8\ \text{a}$ 波动的低通滤波曲

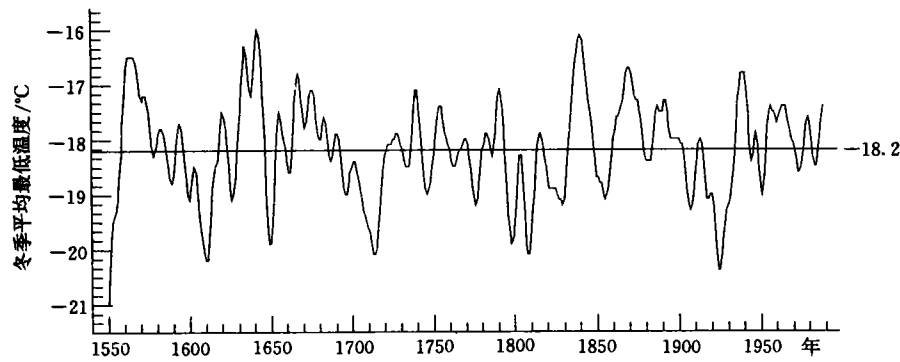


图3 大西沟气象站冬季平均最低温度低通滤波曲线

Fig. 3 Low-pass filtering curve of winter mean minimum temperature of Daxigou Meteorological Station

线可揭示出冬季温度多年高于或低于长期均值的阶段性变化特征。

从图3可见,近450 a来,冬温大致有5个偏冷期及5个偏暖期。偏冷期为1548~1558年,1597~1629年,1693~1720年,1794~1832年和1903~1933年;期间的年份及1934~1988年为偏暖期。

3.2 冬季温度的年代特征

经计算,450 a来,以14世纪50年代为最暖,冬季平均最低温度为 -16.5°C ,比近34 a(1960~1993年,平均最低温度 -17.8°C)偏暖 1.3°C ;在本世纪20年代最冷,冬季平均最低温度为 -19.7°C ,比近34 a偏冷 1.9°C 。

3.3 冷暖冬气候频率

冷暖冬发生的气候频率,可反映出不同冷暖程度的冬季在过去几百年出现频繁程度,它是气候变化的一个重要特征量。如果以冬季最低温度距平百分率 $-10\%\sim+10\%$ 为正常年份, $+10\%\sim+20\%$ 之间为暖冬, $-10\%\sim-20\%$ 之间为冷冬, $>+20\%$ 为极端暖冬, $<-20\%$ 为极端冷冬,则453 a中正常的冬季出现380 a,占83.9%;冷冬出现34 a,占7.5%,平均温度为 -20.7°C ,比近34 a(1960~1993年,平均最低温度 -17.8°C)偏低 2.9°C ;极端冷冬出现5 a,占1.1%,分别为:1547年(-22.5°C)、1549年(-22.1°C)、1808年(-21.9°C)和1924年(-21.9°C),平均比近34 a偏低 4.3°C ;暖冬出现30 a,占6.6%,平均温度为 -15.8°C ,比近34 a偏高 2°C ;极端暖冬出现4次,占0.9%,它们是1562年(-13.2°C)、1644年(-13.9°C)、1840年(-14.5°C)和1573年(-14.5°C),平均比近34 a偏高 3.8°C 。

3.4 变化准周期

最大熵谱分析指出,453 a来,乌鲁木齐河源

大西沟气象站冬季平均最低温度存在着102 a, 29 a, 52 a的变化准周期。

3.5 温度突变

气候突变是指气候在较短时期内,由一种相对稳定的气候状态过渡到另一种状态的变化,它是气候系统非线性性质的一种表现。一般在气候突变点附近,常伴随有较多的气候异常事件发生,因此,对气候突变的研究就很有意义。采用滑动平均 t 检验的方法(魏凤英和曹鸿兴,1995),取滑动步长分别为20 a, 25 a, 30 a和35 a,以 $\alpha=0.01$ 作为判别突变的显著水平,选出其发生年份较为接近的最强的突变点(表4),当多个突变点连在一起就构成一

表4 大西沟冬季平均最低温度的
突变年份及突变区域

Table 4 Abrupt year and abrupt range of winter mean minimum temperature of Daxigou Meteorological Station

滑动步长/a	突 变 年 份/年				
20	1694	1721	1831	1905	1935
25	1692	1718	1831	1906	1934
30	1694	1725	1835	1903	1934
35	1691	1720	1832	1900	1934
突变区域	1691~	1718~	1831~	1900~	1934~
	1694	1725	1835	1906	1935

个突变区域。从表4并结合计算的详细结果可见,大致存在5个突变区域,分别为1691~1694年,1718~1725年,1831~1835年,1900~1906后和1934~1935年。其中在1691~1694年,1900~1906年前后为冬温由高向低突变,而在1718~1725年,1831~1835年和1934~1935年前后是自低温向高温突变。其前3次冬温突变(1691~1694年,1718~1725年和1831~1835年)分别与北疆

地表水资源(袁玉江等, 1997)发生在 1690 年, 1733 年和 1840 年的突变较为接近。由于气候会影响到地表水资源的变化, 这也可间接说明本文重建的冬温序列及所揭示的冬季温度突变年份的可信性。

致谢: 邵雪梅、徐德炎、梁远强等同志在冬季低温影响云杉年轮生长的可能生理机制方面给予大力帮助; 王承义、胡汝骥、马虹等同志参加过采轮等工作; 吴祥定、邵雪梅、张志华先生在交叉定年、年轮测量方面给予指导, 特此致谢。

参 考 文 献

吴祥定等著, 1990. 树木年轮与气候变化. 北京: 气象出版社, 205

~ 206

- 克累默尔, 考兹洛夫斯基著, 1963. 树木生理学(汪振儒等译). 北京: 农业出版社, 552
- 特卡钦柯著, 1959. 森林学(北京林学院翻译室译). 北京: 农业出版社, 107~112
- 袁玉江, 胡列群, 李江凤, 1997. 新疆北疆地表水资源时空分布及变化特征初探. 冰川冻土, 19(3): 223~230
- 魏凤英, 曹鸿兴, 1995. 中国、北半球和全球的气温突变分析及趋势预测研究. 大气科学, 19(2): 140~147
- Fritts H C, 1976. Tree rings and climate. London: Academic Press, 1~300
- Fritts H C, 1991. Reconstructing large-scale climate patterns from Tree-Ring Data. Tucson & London: the University of Arizona Press, 286

Reconstruction and Analysis of 450 Years' Winter Temperature Series in the Ürümqi River Source of Tianshan Mountains

YUAN Yujiang LI Jiangfeng

(Xinjiang Institute of Meteorology, Ürümqi 830002)

Abstract Correlation calculation indicates that the tree-ring chronologies significantly positively correlates with winter (December to March) mean minimum temperature of Daxigou Meteorological Station, with the greatest single correlation coefficient of 0.61 (Significant at the 99.9 percent level). An explanation of its tree physiology is firstly given in China. Using 5 principal components of 7 tree-ring chronology series, the long-term sequence of winter mean minimum temperature was reconstructed, with an explained variance of 66.64%. By studying the combine conditions of two reconstructed series for the same climate element from different tree-ring chronologies, 453 years' winter mean minimum temperature series was obtained in the Ürümqi River source. Analyzing the reconstructed series show that, 1) The winter mean minimum temperature in the Ürümqi River

source experienced 5 warmer periods and 5 colder periods. 2) In the 453 years, the winter mean minimum temperature in the 1550s was warmest, with mean temperature 1.3 °C higher than that of recent 34 years (1960~1993), the winter temperature in the 1920s was coldest, 1.9 °C colder than that of the recent 34 years. The mean temperature of 5 extra-cold winter was 4.3 °C colder and the mean of 4 extra-warm winter was 3.8 °C warmer than that of the recent 34 years. 3) The reconstructed long-term winter mean minimum temperature sequence had 102, 29, and 52 a changing periods. There were 5 temperature abrupt changes, of which winter temperature abruptly change from high to low occurred in 1691~1694 and 1900~1906, while abruptly change from low to high occurred in 1718~1725, 1831~1835 and 1934~1935.

Key words tree-ring chronology, winter temperature reconstruction, abrupt change