

文章编号:1000-694X(2008)05-0803-06

# 中国天山山区 235 a 气候变化及降水趋势预测

魏文寿<sup>1,2</sup>, 袁玉江<sup>1,2</sup>, 喻树龙<sup>1,2</sup>, 张瑞波<sup>1,2</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开放实验室, 新疆 乌鲁木齐 830002)

**摘 要:** 利用 4 个降水重建序列与天山山区 10 个气象站降水变化的响应关系, 重建了天山山区近 235 a 来气候变化的年降水序列, 重建序列的方差解释量达到 47.7%。对过去 235 a 天山山区气候变化中降水变化的特征分析发现: 降水大致经历了 7 干 7 湿的变化阶段, 其中偏湿年份为 124 a, 多于偏干年份; 天山山区的降水量以 2.1 a、3.0 a、5.8 a、6.0 a 的高频变化和 24~25 a 的低频变化周期最为显著。研究表明, 近百年天山山区气候变化中的降水变化分为两个阶段, 20 世纪初到 80 年代, 降水量逐渐减少, 导致冰川退缩、河流径流量减少、湖泊萎缩、沙漠面积增大、植被覆盖率减少; 80 年代后期至今, 降水量迅速增加, 导致河川径流量增加、湖泊面积增大和沙尘暴日数减少, 生态环境趋于好转, 但同时造成洪水和地质灾害频繁。采用基于方差分析的周期叠加方法对天山山区未来 23 a 气候变化中降水的演变趋势进行预测, 结果表明: 未来 23 a 气候变化中天山山区以湿润为主, 期间有部分年份可能较常年干旱。

**关键词:** 天山山区; 气候变化; 树木年轮; 降水; 趋势预测

**中图分类号:** P467

**文献标识码:** A

天山山系是亚洲中部最大的山系, 呈纬向分布, 位于中国境内的天山处于整个山系的东部, 即称东天山, 西起中国与吉尔吉斯斯坦边界, 东至哈密市以东的星星峡戈壁, 全长 1 700 km, 占山系总长度的 2/3, 宽度一般为 250~350 km, 山脊平均高度为 4 000 m, 是南北疆气候的分水岭。作为气候过渡带的天山山区, 被称为干旱区的“湿岛”, 无论降雨形成径流, 还是冰川和积雪的积累与融化, 都为天山南北提供着水资源, 天山山区的降水变化对新疆的环境有重要影响, 其温度低, 降水量大, 局地变化强的特点明显不同于位于平原的南北疆地区。另外, 天山山区远离人类活动密集区, 观测环境的变化相对较小, 其气候变化反映了全球气候背景变化的区域响应<sup>[1]</sup>。因此, 建立新疆天山山区气候变化序列对于正确、客观的认识新疆现代气候变化的特征, 进一步研究全球变化的区域响应具有一定的科学意义。由于观测资料年代短(绝大部分站从 20 世纪 60 年代开始), 对天山山区未来的干湿变化不能进行有效地模拟和预测。一些学者利用树木年轮建立了天山山区部分地区较长的降水序列<sup>[2-5]</sup>, 但对整个天山山区近几百年的降水序列综合研究很少, 也没有进行降水的趋势预测。笔者利用天山山区不同点的树木年轮资料, 重建了 235 a 来天山

山区的年降水序列, 并对气候变化的降水特征进行了分析, 进而对未来 23 a 中国天山山区气候变化中年降水量的变化趋势进行了预测。

## 1 数据资料

采用尼勒克、新源、昭苏、天池、小渠子、大西沟、巴里坤、伊吾、巴仑台、巴音布鲁克共 10 个站的年降水量平均值代表天山山区年降水量, 其可利用的时段为 1959—2007 年。

树木年轮资料代表性区域选择在博尔塔拉河流域、伊犁地区、呼图壁河流域和乌苏, 采样点均位于天山山区的原始森林中(表 1), 树种为天山云杉(*Picea Schrenkiana* Fisch. et Mey.)或雪岭云杉(*Picea schrenkiana* Fisch et C. A. Mey.)。

树木年轮年表的研制遵循以下过程<sup>[6-7]</sup>: ①按照样本的基本处理程序, 对树轮样本进行干燥、固定、打磨、交叉定年, 用精度为 0.001 mm 的轮宽测量仪和 MeasureJ2X 程序进行轮宽测量; ②用国际年轮库的 COFECHA 定年质量控制程序进行交叉定年的检验确保每一生长年轮具有准确的日历年龄; ③采用 ARSTAN 年表研制程序完成树轮宽度年表的建立。

收稿日期: 2007-10-25; 改回日期: 2007-12-10

基金项目: 公益性行业(气象)科研专项(GYHY200706008); 科技部科研院所社会公益研究专项(2005DIB6J113); 科技基础性工作专项(2007FY220200); 中国气象局重点实验室开放研究项目“新疆天山北坡树木年轮气候研究”共同资助

作者简介: 魏文寿(1954—), 男, 汉族, 甘肃武威人, 博士, 研究员, 主要从事气候变化与环境研究。Email: weiwsh@idm.cn

表 1 树木年轮资料的基本概况  
Table 1 The general situation of tree-ring data

代表性区域	采点海拔/m	采点纬度	采点经度	采样年份	年表数
博尔塔拉河流域	2 280—2 590	44°19′—44°52′N	80°45′—82°05′E	2004	15
伊犁南天山	2 415—2 833	42°31′—42°54′N	80°46′—82°09′E	2006	6
呼图壁河流域	2 065—2 690	43°07′—45°20′N	86°05′—87°08′E	2003	6
乌苏	2 510—2 680	44°01′12″N	84°47′06″E	2003	1

将建立的年表与当地气象站的上年 1 月到当年 12 月降水的各种顺序组合进行相关分析,找出相关较好时段,进行逐步回归分析,得到最佳转换函数,然后利用转化函数重建各区域几百年来降水,并进行稳定性检验,最终得到博尔塔拉河流域年降水量、伊犁南天山上年 7 月到当年 5 月降水量、呼图壁河流域上年 8 月到当年 7 月降水量和乌苏年降水量四条重建序列。

2 年降水量重建

将天山山区 1959—2007 年实测的年降水量与博尔塔拉河流域年降水量、伊犁南天山上年 7 月到当年 5 月降水量、呼图壁河流域上年 8 月到当年 7 月降水量、乌苏年降水量四条重建序列进行相关分

析,其相关系数分别为:0.608 ( $P>0.000\ 01$ )、0.453 ( $P>0.001$ )、0.251 ( $P>0.05$ )和 0.453 ( $P>0.001$ )。利用相关较好的博州年降水量和伊犁南天山上年 7 月到当年 5 月降水量重建序列与天山山区 1959—2007 年降水量进行逐步回归分析,得到天山山区年降水量转换方程:

$$P_t = 62.500 + 1.048 P_b + 0.350 P_i,$$

式中: $P_t$ 为天山山区年降水量; $P_b$ 为博州重建年降水(由沙尔陶勒盖和阿合侠特 2 个年表重建); $P_i$ 为伊犁上年 7 月到当年 5 月重建降水量(由库尔克尔也灭、小白代和琼库什太 3 个年表重建)。该转换方程相关系数为 0.691,方差解释量为 47.7%, $F$ 检验值为 18.725,达到 0.0001 的极显著水平,重建序列和 46 a 实测序列相关系数高达 0.7(图 1)。由该方

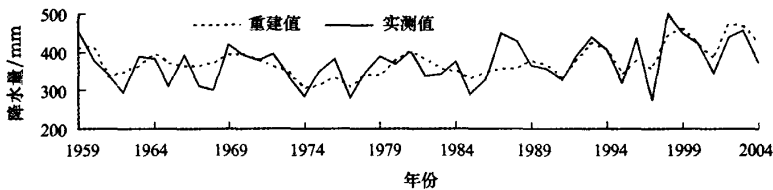


图 1 天山山区年降水量实测值与重建值比较

Fig. 1 Comparison between reconstructed precipitation series and observed data in Tianshan mountainous area

程可以重建出天山山区 1770—2004 年的年降水量。

3 降水重建序列的特征分析

3.1 干湿阶段变化

从重建序列的 11 a 滑动平均曲线上看(图 2),

近 235 a 来的气候变化中降水大致经历了 7 个偏干阶段和 7 个偏湿阶段,其中偏湿年份为 124 a,多于偏干年份(表 2)。最长的偏干阶段是 1969—1992 年,偏少 4.6%;最干旱年份是 1944 年,偏少 34.4%;最长的偏湿阶段是 1866—1911 年,偏多 4.8%;最湿润年份是 1783 年,偏多 27.1%;最湿润



图 2 天山山区年降水量重建值的 11 a 滑动平均  
(平均值为 1971—2000 年实测数据的平均值)

Fig. 2 11 years moving average curve of precipitation reconstruction

阶段为 1993—2007 年,降水偏多 10.5%;最干旱年份为 1821—1836 年,降水偏少 7.1%。重建序列分析表明:天山山区 20 世纪 50 年代的年平均降水量偏多 2.4%,60 年代偏少 0.3%,70 年代偏少 8.1%,80 年代偏少 2.4%,90 年代偏多 4.3%。这与新疆河流 50 年代丰水、60 年代平水和 70 年代枯水,80 年代开始降水增加,90 年代是天山山区气候最暖湿的年代等研究结果完全一致<sup>[8]</sup>。

表 2 天山山区 1770—2004 年降水量干湿阶段变化

Table 2 Change of wet-dry precipitation phases in 1770—2004					
偏干阶段	年数	平均值	偏湿阶段	年数	平均值
1770—1777	8	323.7	1778—1793	16	395.3
1794—1811	8	351.7	1812—1820	9	392.2
1821—1836	16	345.1	1837—1842	6	388.1
1843—1865	23	359.7	1866—1911	46	389.5
1912—1918	7	354.2	1919—1938	20	381.9
1939—1953	15	362.4	1954—1968	15	377.1
1969—1992	24	354.4	1993—2004	12	413.3

与前人对该区域降水重建的干旱阶段对比发现(图 3),天山山区 235 a 来的干湿变化与前人研究具有较好的一致性,特别是 20 世纪七八十年代前后 20 多年的气候干旱期在各重建序列中普遍存在。

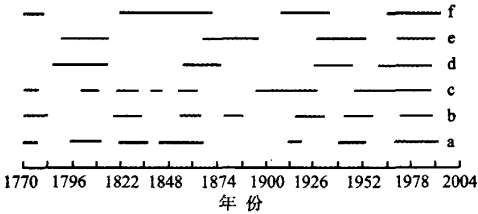


图 3 天山山区干旱阶段对比  
(a. 本文重建的天山山区偏干阶段; b. 乌鲁木齐河 4—5 月偏干阶段(崔宇)<sup>[9]</sup>; c. 天山地区干旱阶段(魏文寿)<sup>[8]</sup>; d. 艾比湖偏干阶段(韩淑妮)<sup>[10]</sup>; e. 巴里坤湖偏干阶段(韩淑妮); f. 天山中西部 7—8 月偏干阶段(喻树龙)<sup>[11]</sup>)

Fig. 3 Comparison of drought stages in Tianshan mountainous area

3.2 周期分析

揭示气候变化的周期特征是深入理解气候变化过程与规律,进行气候预测的基础科学问题之一,也是当今全球气候变化研究的热点和难点。近年来,在国际全球变化研究核心交叉计划——过去全球变化与气候可预报性计划(PAGES/CLIVAR Inter-

section)的推动下,利用古气候记录,特别是定量化的历史气候记录来分析气候变化周期性 with 突变特征的工作得到了国际学术界的高度重视<sup>[12]</sup>。首先,利用功率谱分析方法对天山山区年降水重建序列进行周期分析,以了解过去 235 a 的降水变化的周期性,取最大滞后  $M=78$ ,相当于序列长度的三分之一,当功率谱大于一定置信水平所对应的临界值,则认为相应周期显著。结果表明,天山山区的降水量以 2.1 a、3.0 a、5.8 a、6.0 a 的周期最为显著,均超过了 0.05 的显著性水平。

小波分析是近年来气候变化研究中为揭示气候变化周期特征而广为采用的一种数学手段。它不但可以揭示气候变化在各种时间尺度上的周期变化特征,而且还能显示出各种周期信号随时间的变化。为进一步了解天山山区降水的时域变化,对天山山区 235 a 降水量进行 Morlet 小波变换,采用对称延伸法<sup>[13]</sup>消除小波变换的边界效应。图 4 表明,过去 235 a 天山山区降水量周期的 20~30 a 的低频变化随时间变化逐渐减弱,30 a 以上的震荡周期前期不明显,进入 20 世纪中期,40 a 左右的低频震荡明显加强。结合小波方差分析结果可以看出,24~25 a 的低频震荡最强,9 a 的周期次之。

4 近百年降水变化对新疆生态环境的影响

对天山山区降水重建序列进行分析表明,近百年天山山区降水可分为两个时段,即从 20 世纪初到 80 年代天山山区年降水量呈减少趋势阶段和 80 年代后期至今降水迅速增加阶段。20 世纪初至 80 年代降水的减少直接导致了小冰期的结束(目前一般认为小冰期结束于 40 年代末 50 年代初),并给环境带来很大影响。据 1960 年中国科学院冰雪测量队的调查证明,自 1910—1960 年的 50 a,天山雪线上升 40~50 m,西部天山冰舌后退 500~1 000 m,东部天山冰川后退 200~400 m,同时森林上线也升高了一些<sup>[14]</sup>。特别是 50—70 年代,降水的不断减少,使得天山山区环境出现了明显的干旱化趋势,对新疆生态环境恶化主要表现在:①冰川退缩:自 1962—1980 年,乌鲁木齐河源 1 号冰川末端后退了 105 m<sup>[15]</sup>;②河流径流量减少:天山以北河流流量 50 年代偏丰,60 年代平水,70 年代偏枯;③湖泊萎缩:艾比湖和赛里木湖 70 年代后期较 50 年代分别缩小了 51.2%和 6.7%<sup>[16]</sup>;④沙漠化:古尔班通古特沙漠 50 年代末 60 年代初流沙只占 3%,70 年代

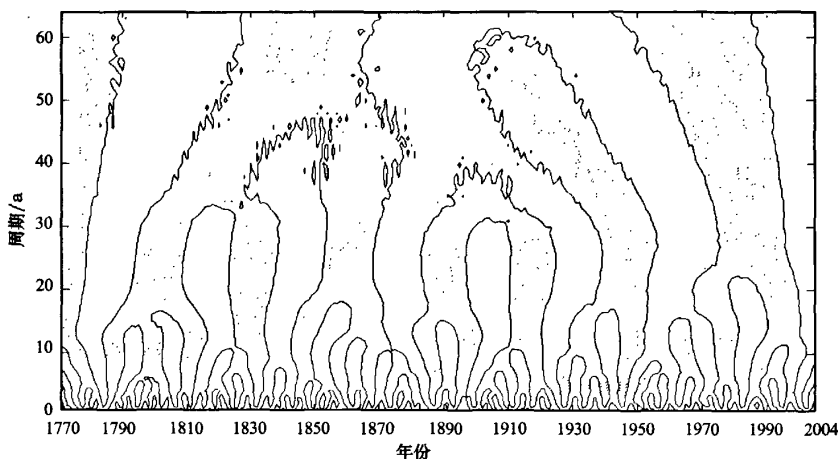


图4 重建序列的小波变换

Fig. 4 Wavelet transform of reconstructed precipitation series

末已上升到15%，奇台、沙湾和莫索湾等地的流动沙丘南进的速度达 $1.25 \sim 2.60 \text{ m} \cdot \text{a}^{-1}$ ；⑤植被减少：解放以来，北疆沙漠区的植被覆盖率由25%下降到10%左右。当然，人类活动<sup>[17]</sup>和缺乏有效的保护也是造成荒漠环境的另一个原因。

重建天山山区降水变化过程表明，20世纪80年代后期至今，天山山区降水量迅速增加。这一结论与国内其他研究结果一致<sup>[18-19]</sup>：根据新疆气象站的降水观测资料分析，自20世纪70年代中期以后，新疆地区降水普遍有增加的趋势，到80年代中期，不但增加趋势明显，而且降水变率增大显著，新疆气候和生态环境从80年代后期至今均在不断好转。据研究艾比湖水域面积由1957年的 $1\,070 \text{ km}^2$ 缩至1987年的 $499 \text{ km}^2$ 。随后入湖水量大增，至2002年6月湖泊的面积扩展到 $1\,064 \text{ km}^2$ ，即恢复到1957年水平。新疆面积最大的高山湖泊赛里木湖，由于海拔高湖面蒸发较弱，故湖面面积变化较少，而近年来也出现了水位上升，湖泊水域面积扩大的显著趋势。研究还发现，北疆的西部、北部地区沙尘暴出现较多的年份是1961—1969年和1973—1990年，1990年以后，沙尘暴出现日数明显减少。南疆沙尘暴出现日数从1961—1980年东部和北部地区有上升趋势，1980年以后沙尘暴日数下降趋势明显。新疆气候环境在天山山区降水增加和生态植被好转的同时，也带来了诸如洪水灾害和极端天气频繁发生等负面作用：新疆洪水受灾面积在20世纪50—70年代仅为 $4.28 \times 10^4 \sim 5.22 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ，1987年急剧上升为 $36.47 \times 10^4 \text{ hm}^2$ <sup>[20]</sup>，吴素芬等<sup>[21]</sup>统计发现，1956—2000年的45 a间发生大洪水共36次，

1987年后的14 a间出现27次占75%。由此可以看出，1987年以来大洪水，特大洪水频繁发生。

## 5 年降水量的趋势预测

采用基于方差分析的周期叠加方法<sup>[22]</sup>对天山山区年降水量进行预测，共选用了置信度达到90%以上的5个年降水变化准周期（分别为11 a、20 a、30 a、47 a和109 a）进行周期叠加外推，其拟合百分率为78.61%，预测年份为2008—2030。

从图5可见，预测未来23 a气候变化中，天山山区以湿润为主，期间有部分年份较常年干旱，偏湿年份共14 a，占近61%，偏干年份共9 a，仅仅占39%。2008—2010年的3 a间降水将偏少，而2011—2015年降水将偏多，2016—2019年总体偏少，2020—2025年降水偏多，2026—2028年偏少，2029—2030年偏多。其中2023—2024年将是天山山区最为湿润的两年，而2019年将可能是未来23 a最为干旱的一年。从以上可以推测，未来23 a新疆气候和生态环境总体趋于好转。

## 6 结论

1) 过去235 a天山山区气候变化中降水量大致经历了7个偏干阶段和7个偏湿阶段，其中偏湿年份为124 a，多于偏干年份。20世纪70—80年代前后的20 a间的干旱期在天山山区各重建序列中普遍存在，天山山区降水量偏少，处于相对干旱时期，进入80年代，天山山区降水增加，同时温度升高，气候趋于暖湿化。

2) 天山山区的降水量以2.1 a、3.0 a、5.8 a、

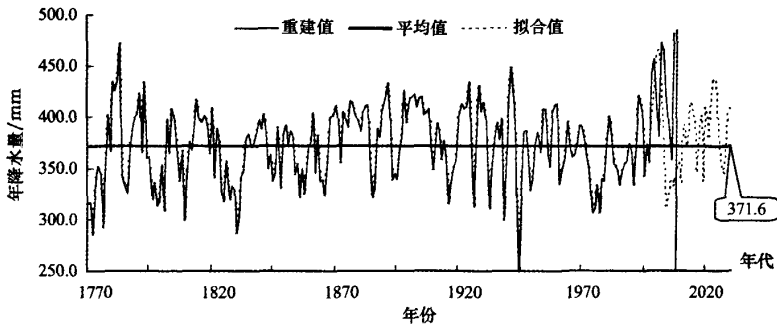


图5 天山山区年降水量趋势预测

Fig. 5 Trend prediction of precipitation in Tianshan mountainous area

6.0 a 的高频变化和 24~25 a 的低频变化周期最显著,过去 235 a 天山山区降水量周期的 20~30 a 的低频变化随时间变化逐渐减弱,30 a 以上的震荡周期前期不明显,进入 20 世纪中期,40 a 左右的低频震荡明显加强。

3) 近百年天山山区降水变化分为两个阶段,20 世纪初到 80 年代,降水量逐渐减少,导致冰川退缩、河流径流量减少、湖泊萎缩、沙漠面积增大和植被覆盖率减少等新疆气候与生态环境恶化现象出现;80 年代后期至今,降水量迅速增加,气候向暖湿化发展,使河川径流量增加、湖泊面积增大和沙尘暴日数减少,生态环境好转,但同时也造成洪水和地质灾害频繁。

4) 中国天山山区气候变化未来 23 a 中,山区以湿润为主,生态环境总体趋于好转,期间有部分年份可能出现较常年干旱现象。

#### 参考文献 (References):

- [1] 胡汝骥. 中国天山自然地理[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2004.
- [2] 袁玉江, 叶玮, 董光荣. 天山西部伊犁地区 314 a 降水的重建与分析[J]. 冰川冻土, 2000, 22(2): 121-127.
- [3] Yuan Yujiang, Jin Liya, Shao Xuemei, et al. Variations of the spring precipitation day numbers reconstructed from tree rings in the Urumqi River drainage, Tianshan Mts. over the last 370 years[J]. Chinese Science Bulletin, 2003, 48(14): 1507-1510.
- [4] 张志华, 李骥, Lisa J, 等. 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[J]. 气象学报, 1998, 56(1): 77-86.
- [5] Yuan Yujiang, Li Jiangfeng, Zhang Jiabao. 348 year precipitation reconstruction from tree-rings for the north slope of the middle Tianshan Mountains[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2001, 15(1): 95-104.
- [6] 潘娅婷, 袁玉江, 喻树龙. 博尔塔拉河流域过去 461 a 夏季温度的重建与分析[J]. 中国沙漠, 2007, 27(1): 159-164.
- [7] 张同文, 魏文寿, 袁玉江, 等. 阿勒泰西部树轮年表特征分析[J]. 中国沙漠, 2007, 27(6): 1040-1047.
- [8] 魏文寿, 袁玉江. 中国天山地区 300 a 来降水变化及其对环境的影响[J]. 中国沙漠, 2005, 25(增): 3-7.
- [9] 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): 497-500.
- [10] 韩淑妮, 王成义, 袁玉江. 北疆艾比湖、巴里坤湖 200 年来环境变化若干特征[J]. 新疆大学学报: 自然科学版, 1994, 11(1): 77-83.
- [11] 喻树龙, 袁玉江, 金海龙, 等. 用树木年轮重建天山北坡中西部 7-8 月 379 a 的降水量[J]. 冰川冻土, 2005, 27(3): 404-410.
- [12] Urban F E, Cole J E, Overpeck J T. Influence of mean climate change on climate variability from a 155-year tropical Pacific coral record [J]. Nature, 2000, 407: 989-993.
- [13] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999: 106-113, 201-205.
- [14] 竺可桢. 中国近五千年来气候的初步研究[J]. 中国科学, 1973 (2): 184.
- [15] 施雅风. 山地冰川与湖泊萎缩指示的亚洲中部气候干暖化趋势[J]. 地理学报, 1990(1): 8.
- [16] 中国自然资源研究会等编. 中国干旱半干旱地区自然资源研究[J]. 北京: 科学出版社, 1988: 84, 171-172.
- [17] 袁玉江, 韩淑妮. 北疆 500 年干湿变化特征[J]. 冰川冻土, 1991, 15(4): 315-322.
- [18] 张国威, 吴素芬, 王克杰. 西北气候环境转型信号在新疆河川径流变化中的反应[J]. 冰川冻土, 2003, 25(2): 183-187.
- [19] 郭锐, 张杰, 梁芸. 西北近年来内陆湖泊变化反映的气候问题[J]. 冰川冻土, 2003, 25(2): 211-214.
- [20] 姜遂清, 朱诚, 穆桂金, 等. 新疆干旱灾害扩大——人类活动影响分析[J]. 地理学报, 2002, 52(1): 57-66.
- [21] 吴素芬, 张国威. 新疆河流洪水与洪灾的变化趋势[J]. 冰川冻土, 2003, 25(2): 199-203.
- [22] 李江风, 袁玉江, 由希尧, 等. 树木年轮水文学研究与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 115, 186-245.

## Climate Change in Recent 235 Years and Trend Prediction in Tianshan Mountainous Area

WEI Wen-shou<sup>1,2</sup>, YUAN Yu-jiang<sup>1,2</sup>, YU Shu-long<sup>1,2</sup>, ZHANG Rui-bo<sup>1,2</sup>

(1. *Institute of Desert and Meteorology, China Meteorological Administration, Urumqi 830002, China*; 2. *Key Laboratory of Tree-ring Physical and Chemical Research of China Meteorological Administration, Urumqi 830002, China*)

**Abstract:** Four reconstructed precipitation sequences and their relations responding to precipitation variation of ten weather stations in Tianshan mountainous area are applied to reconstruct the precipitation sequence in recent 235 years in Tianshan mountainous area. The explained variance of reconstructed sequence can reach up to 47.7%. The analyses on the precipitation change characters in recent 235 years in Tianshan mountainous area disclose that the 235-year precipitation process can be interpreted as 7 wet periods and 7 dry periods, totaling up to 124 years wet-year and 111 years dry-year. The reconstructed precipitation sequence shows remarkable high-frequency change cycles of 2.1 years, 3.0 years, 5.8 years, and 6.0 years, also a low-frequency change cycle of 24 to 25 years. Over the past one hundred years, the precipitation change in Tianshan mountainous area can be divided into two stages: from early 1900's to 1980's, precipitation gradually reduced, glaciers retreated, river runoff decreased, lake shrank, desert area increased and vegetation cover reduced; from late 1980's on, precipitation rapidly increased, consequently river runoff and lake area increased, sandstorm frequency reduced, the ecological environment improved, but simultaneously floods and geologic disasters frequently broke out. By the cycle superposition method that based on the variance analysis it is predicted that the climate change in future 23 years in Tianshan mountains area will be characterized by humid feature, totaling 14 years or 61 percent, possibly there will be several more drought years than the normal.

**Keywords:** Tianshan mountainous area; climate change; tree-ring; precipitation; trend prediction