

文章编号: 1000-0240(2000)02-0121-07

121-127

天山西部伊犁地区 314 a 降水的重建与分析

袁玉江¹, 叶玮², 董光荣³

p 426.6

1. 新疆气象科学研究所, 新疆 乌鲁木齐 830002, 2 中国科学院 新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011;
3. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000

摘要: 单相关普查表明, 天山西部伊犁地区的 10 个树轮年表与该区上年 6 月至当年 5 月的年度降水相关显著, 最高相关系数为 0.584($\alpha=0.005$)。使用 5 个年表序列较好地重建了伊犁地区 314 a 的降水长序列, 解释方差达 75%。经多方面验证, 表明其具有较好的可信性。314 a 来, 伊犁地区降水经历了 4 个偏湿及 4 个偏干期, 其偏湿期与北疆年降水的偏湿期, 原苏联、我国华北与华东 祁连山敦德冰芯所揭示的偏冷期具有一定对应关系。伊犁地区降水与中亚哈萨克斯坦东南部大范围干湿年份的对应率约为 68%。伊犁地区的降水长序列具有 150、29、17、23 及 60 a 的显著变化周期, 且在 1757、1778、1892 和 1927 年发生过降水突变, 其后两次突变与北半球或全球的温度突变年份比较一致。相关分析指出, 伊犁地区重建降水序列对北疆及中亚哈萨克斯坦东南部的降水变化具有较好的代表性。

关键词: 伊犁地区; 树木年轮; 降水重建; 对全球温度变化的响应

天山

中图分类号: P426.6 **文献标识码:** A

1 引言

全球变化研究(IGBP)是当前科学研究的热点之一, 它具有从数秒到几亿年的不同时间尺度, 其中又以数十至数百年尺度的全球变化研究最为薄弱, 因而成了当前研究的重点^[1], 而对环境影响重大的气候变化又是该研究的“重中之重”。位于天山西部的伊犁地区, 与世界著名的中亚干旱区相比邻, 由于实测气候资料短, 历史气候记载残缺不全, 使得定年准、分辨率高、连续性好的树木年轮序列成了研究该区几百年来气候与环境变化的主要手段。在新疆气象科研所等单位进行该区年轮研究以前, 伊犁地区几百年来气候、环境的研究几乎为空白。前几年笔者曾依据该区的树轮年表做过一些工作^[2~5], 但没有把结果与中亚及北半球或全球的气候变化相对比, 从全球变化的角度加以分析研究, 本文则在这方面做了新的工作。

2 资料

伊犁地区(42° 12' ~ 44° 48' N, 80° 10' ~ 85° 02' E)具有“三山夹一谷一盆”的地形特点(图 1), 属于温带大陆性半干旱气候。在海拔 1500~2800 m 之间的中山带生长着原始森林, 树种以天山雪岭云杉(*Picea schrenkiana*)为主, 土壤为灰褐色森林土。该区的年轮采样点分布如图 1(图中年表代号最后一个字母, U 代表森林上限; L 代表下限; M 代表林中)所示, 所采树种为天山雪岭云杉。除作为对比分析用的林中采点外, 一般采点处土壤瘠薄, 坡度较大, 采点布局照顾到各种大地形, 并在空间上大致分布均匀, 以期能从年轮场揭示出伊犁地区气候的总体特征。年轮标本采集, 1982 年为圆盘, 1991 年是钻芯, 经对样本预处理、测量轮宽, 折线图对比交叉定年后, 用美国亚利桑那大学年轮实验室年表研制程序(RWLIST, INDEXHE

收稿日期: 1999-03-12, 修订日期: 1999-08-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(49671009), “气候变化对北疆流量的影响与评估”, 980103002, 国家基础研究发展规划(G1999043501)课题共同资助

作者简介: 袁玉江(1955~), 男, 山东菏泽人, 副研究员。1982年毕业于新疆大学地理系, 现从事气候、年轮气候及年轮水文学研究。

表 1 伊犁地区上年 6 月至当年 5 月降水量与树轮年表的单相关系数

Table 1 The single correlation coefficients between tree-ring chronologies and precipitation from June in the last year to May in the current year in the Yili Prefecture

年表代号	ZU	ZL	TU	TL	XNAU	XM	CU	NACU	GM	HU
相关系数	0.584	0.490	0.524	0.504	0.490	0.415	0.485	0.395	0.418	0.398
年表长度 a	301	307	301	403	319	422	376	243	308	205

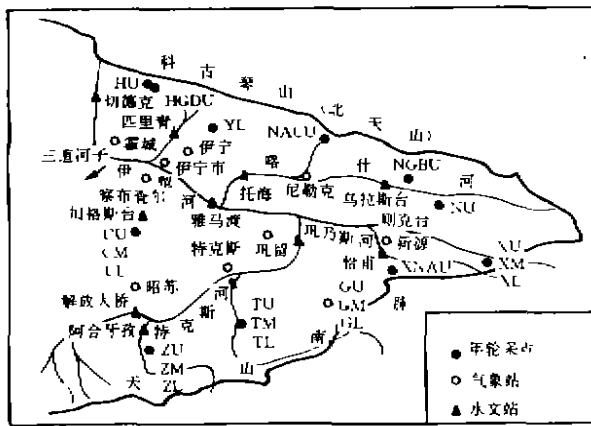


图 1 伊犁地区树轮采点分布示意图

Fig.1 A sketch map showing the tree-ring sampling sites in the Yili Prefecture

和 SUMAC 3 个分程序), 将轮宽序列标准化为年轮指数序列, 剔除奇异轮过多或与多数序列相关性差的指数序列, 最终建立了伊犁地区 22 个采点上的标准化树轮年表, 其主要采点特征及基本统计量参见文献〔3〕。

所用气候资料是伊犁地区 9 个气象站及 6 个水文站自建站至 1995 年的各月降水量, 气象站是: 霍尔果斯、霍城、伊犁、尼勒克、新源、巩留、特克斯、昭苏和察布查尔, 水文站为: 且得克、匹里青、托海、乌拉斯台、雅玛渡和卡甫其海。

3 降水的重建与检验

3.1 区域平均降水的计算

由于伊犁地形复杂, 降水地区差异大, 本文取 15 个气象、水文站的降水平均, 作为该区域平均降水状况。

3.2 伊犁树轮年表与区域降水的相关性及生理意义

考虑到树木年轮生长一般与上年及当年的气候条件有关, 在 1960~1983 年时段上, 将上年 4 月至当年 9 月所有顺序组合的降水量与 22 个树轮年表进行单相关普查, 发现相关较好的降水时段为上年 6

月至当年 5 月, 其降水和伊犁地区 10 个树轮年表的单相关系数达到了 0.05 的显著水平(表 1)。

根据美国树木年轮学家 Schulman 等对北美西部树木年轮的研究发现, 干旱和半干旱地区针叶树年轮宽度同生长季以前的春季、冬季、秋季和夏季的气候状况有密切关系〔5〕。本文所得伊犁半干旱区针叶树天山雪岭云杉与区域平均降水的相关结果与其完全一致。从树木生理角度讲, 这是因为“生长季中树木体内营养物质的减少, 是由于生长季以前长时间维持少雨, 光合作用速度降低或者呼吸作用速度增高造成的, 此外前期不良的气候条件会限制新芽、叶片和根系的形成, 从而影响到水分和无机物的吸收及光合效率”〔6〕, 这样将导致在翌年形成偏窄的年轮, 因此, 影响伊犁天山雪岭云杉年轮生长的区域降水时段是有其树木生理学意义的。

3.3 伊犁地区降水重建

为获得更长一些的校准期资料, 用伊犁气象站延长区域平均降水序列, 在 1960~1995 年的时段上, 两者的直线回归方程为: $P_{区域} = 159.75 + 0.547P_{伊犁}$, 相关系数是 0.504, 达到了 0.002 的极显著水平, 由该方程, 延长了伊犁 1953~1960 年的区域平均降水值。

考虑上年 6 月至当年 5 月降水对云杉年轮当年(t)、次年($t+1$)及再次年($t+2$)的可能影响, 采用表 1 中长度大于 300 a 的 8 个树轮年表, 由逐步回归方法, 经取不同校准期的多次计算, 最终得到了在 1956~1981 年校准期上的最佳转换函数:

$$P_{区域t} = \text{EXP}(4.587 + 0.236ZL_t + 0.858TU_t - 1.017TU_{t+1} + 1.171TL_{t+1})$$

该转换函数的复相关系数为 0.866, F 检验值为 $F_{4,21} = 15.700$, 经 F 检验计算, 达到了 0.000 005 的极显著水平, 其重建值可解释伊犁地区上年 6 月至当年 5 月实际降水量总方差的 75%, 效果令人满意。

3.4 重建降水的检验

3.4.1 统计检验

转换函数的稳定性检验是决定重建值在校准期

以外是否可信的重要一环。由于校准期长度仅为 26 a, 难以采用独立检验的方法, 故采用国际年轮研究中常用的逐一剔除法(Leave-one-out)^[7], 从以下几个方面对转换函数的稳定性进行检验。

(1) 误差缩减(RE): 它是普遍应用的精确检验气候重建值可靠性的统计量, 一般认为, $RE \geq 0.3$ 为通过该检验。用逐一剔除法所得的 RE 值为 0.583, 表明该转换函数是稳定的, 其重建值是可信的。

(2) 符号检验: 此为一种非参数检验法^[8], 它分两种: 1) 一阶差符号检验, 可检查重建与实际两序列的高频变化一致性。本文的一阶差符号检验为 22/25, 达到了 0.01 的显著水平, 表明重建降水在高频变化上与实际值较为相似。2) 原始值的符号检验: 旨在查明两个序列的低频变化一致性。本文的原始值符号检验为 22/26, 也达到了 0.01 的显著水平, 说明降水重建值与实际值在低频变化上具有较好相似性。

(3) 此外, 检验所得的降水重建值与实际值的相关系数为 0.773, 一阶差相关系数为 0.775, 也均证实了转换函数是稳定的, 重建值是可靠的。

3.4.2 历史记载对照

查阅《新疆维吾尔自治区气候历史史料》^[1] 中的记载, 并与伊犁地区重建降水值相对比, 发现两者比较吻合。1) 史料记载, 1766 年伊犁为干旱, 重建降水偏少 14.6%, 由于重建降水时段为上年 6 月至当年 5 月, 故 1766 年的干旱在 1767 年重建值上也有反应, 降水偏少 25.5%; 2) 1843 年大旱, 伊犁的特克斯、巩留、伊宁田苗干枯成灾或全部旱死, 相应该年重建降水偏少 20.9%; 3) 1917 年伊

犁, “此地上年歉收, 今年又久旱不雨, 粮价奇昂, 且无余处, 贫民恒不得食”, 与之相关的 1916~1918 年 3 a 的重建降水分别偏少 27.4%、31.3% 及 31.6%; 4) 1936 年, “伊犁地区蒙、哈冬窝草场, 本年落雪甚深, 并落雨一次, 以致遍地凝成冰, 牲畜无法吃草”, 相应 1937 年的重建降水量偏多 30.1%; 5) 1941 年伊宁, “银塔木村计五户地亩于 7 月间地中涌出泉水”, 这说明地下水位升高了, 应和前几年山区降水多有关, 对应 1939~1941 年的降水重建值分别偏多 33.4%、42.9% 及 30.9%。校准期外重建降水与历史记载的吻合, 说明重建值是比较可信的。

3.4.3 与北疆重建年降水量的比较

将校准期外 1852~1955 年的伊犁区域上年 6 月至当年 5 月的重建降水量, 和北疆年降水重建序列(没有使用伊犁地区的气候及树轮资料)^[9] 计算单相关, 在 $N=104$ 的大样本下, 尽管两者的降水时段不同, 单相关系数仍高达 0.47, 经 T 检验计算, 其显著水平高达到 0.000 000 48, 如对两序列进行 3 a 滑动平均, 则相关系数为 0.61, 表明伊犁地区重建降水与北疆重建年降水具有较好的同步性变化, 这与北疆和伊犁地区具有较为相似的大气环流背景有关, 也说明伊犁地区的降水重建结果是可信的。

3.4.4 与中亚地区哈萨克斯坦东南部降水的比较

采用位于中亚地区哈萨克斯坦东南部的 5 个气象站(阿拉木图、潘菲洛夫、塔尔迪库尔干、乌什托别、切力克)1930~1985 年上年 6 月至当年 5 月的降水距平百分率, 与伊犁地区重建降水距平百分

表 2 中亚哈萨克斯坦东南部大范围干湿年降水距平百分率与伊犁地区的比较

Table 2 Comparison of precipitation abnormal percentage between the Yili Prefecture and the Southeastern Kazakhstan for wet-dry years in a large extent

年 份	1938	1939	1942	1943	1944	1945	1950	1951	1952	1953	1955			
伊 犁	-3	-33	+41	-19	-23	-28	+12	+10	-5	-4	-19			
中 亚	-33	-10	+27	-27	-28	-39	-23	-32	+26	-12	+10			
吻 合	、	、	、	、	、	、	、	、	、	、	、			
年 份	1957	1959	1960	1962	1964	1965	1969	1971	1973	1975	1980	1982	1983	1984
伊 犁	-15	-3	-7	-18	+4	-13	+14	-13	+15	-20	+10	-5	-8	-11
中 亚	-34	+30	+24	-9	+25	-25	+34	-23	+30	-27	+37	-16	-7	-12
吻 合	、	、	、	、	、	、	、	、	、	、	、	、	、	、

注: 表中上部 11 个年份为独立检验期, 下部 14 个年份为资料段

^[1]新疆维吾尔自治区气象局科学研究所, 新疆维吾尔自治区气候历史史料 1981

率相对比, 考虑到降水的局地差异大, 取中亚 5 站距平符号相同的较大范围干湿年份与伊犁地区相比较, 结果见表 2. 从表 2 可见:

(1) 在 1956~1985 年包括校准期在内的 30 a 实测资料段上, 中亚哈萨克斯坦东南部共发生大范围干湿 14 a, 伊犁地区相对应出现干湿 10 a, 对应率为 71.4%, 这说明当中亚哈萨克斯坦东南部出现大范围干湿年时, 伊犁地区大多能与之对应, 但也有约 1/3 年份不吻合的情况, 它与大气环流及两地地形的差异有关.

(2) 在 1936~1955 共 20 年的独立资料段上, 中亚哈萨克斯坦东南部共发生大范围的干湿 11 a, 伊犁地区重建降水量相对应的出现干湿 7 a, 对应率为 63.6%, 比 30 a 的实测资料段降低约 7.8%, 这和降水重建值的精度较实测资料低有关.

(3) 在 1936~1985 年的半个世纪, 伊犁对中亚哈萨克斯坦东南部大范围干湿的对应率约为 68% (17/25), 这些对应关系, 特别是在独立资料段上的对应关系与校准期比较接近, 进一步证实了伊犁地区降水重建值的可信性.

4 伊犁地区上年 6 月至当年 5 月降水长期变化特征

4.1 干湿阶段及与其它地区气候阶段的对比

从图 2 中滤去了小于 8 a 的高频波动后的降水曲线可见: 伊犁地区上年 6 月至当年 5 月降水近 300 多年来, 大体经历了 4 个偏干及 4 个偏湿阶段: 1700~1694 年偏干, 1695~1755 年偏湿, 1756~1777 年偏干, 1778~1817 年偏湿, 1818~1860 年偏干, 1861~1892 年偏湿, 1893~1928 年偏干,

1929~1943 年偏湿, 1944~1985 年偏干.

伊犁地区降水的偏湿阶段与北疆年降水偏湿期^[10]有一定对应关系, 但也有区别. 北疆 1721~1760 年的偏湿期与伊犁地区 1695~1755 年偏湿期对应, 北疆 1780~1805 年和伊犁地区 1778~1817 年偏湿期相吻合. 如前所述, 在 1852~1955 年两者的对应关系更好, 这说明, 伊犁地区降水的干湿阶段是可信的.

原苏联的 Klimanov 收集了冰川、湖水位、史料、年轮、孢粉及地衣等资料, 特别对孢粉做了系统的研究分析范围包括了除远东沿岸以外的大部分原苏联领土, 发现近千年来有 3 次冷期, 分别出现在 1250 年、1450 年及 1700~1750 年, 此外, 1850 年还有一次弱冷期^[11]. 施雅风指出^[12]: “小冰期至本世纪, 亚洲中部百年级的气候波动经常是冷湿暖干交替”. 研究发现^[10], 其中又以冷与湿的对应较好, 利用 1961~1995 年的实测资料计算表明, 伊犁地区上年 6 月至当年 5 月平均降水与北疆(除伊犁地区外)29 站同时段的温度的单相关系数为 -0.377, 显著水平达 0.05, 和伊犁本地的同时段温度也为负相关, 如进行滑动平均, 负相关就更明显. 这都说明, 在低温期, 伊犁一般降水偏多, 将伊犁地区降水和原苏联的 1700~1750 年的低温期相对照, 发现在 1695~1755 年伊犁地区恰好为一偏湿期, 这表明本文的结果是可信的. 但有原苏联 1850 年的弱冷期, 与伊犁偏湿期的对应不好, 可能与其冷的程度小有关.

姚檀栋等从祁连山敦德冰芯得出小冰期以来有 3 个冷期^[13], 即 1420~1520 年, 1570~1680 年, 1770~1890 年, 其最后一个冷期和王绍武利

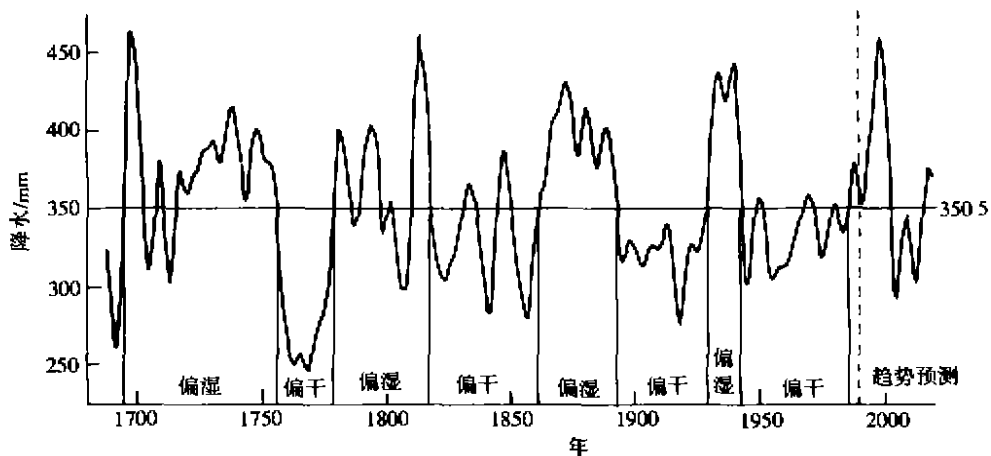


图 2 伊犁地区上年 6 月至当年 5 月重建降水低通滤波曲线

Fig. 2 The low-pass filtering curve of precipitation from June in last year to May in current year in the Yili Prefecture

表3 伊犁地区314 a降水重建序列的突变年份

Table 3 Abrupt change years in the 314 precipitation series reconstructed in the Yili Prefecture

均值时段长度	10	15	20	25	30	确定的突变年份
突变年份	1757	1757	1757	1753	1752	1757
突变年份	1776	1778	1778	1779	1778	1778
突变年份	1892	1894	1893	1892	1892	1892
突变年份	1932	1927	1922	1927	1923	1927

注:表中突变年份的显著水平均远高于0.001。

用史料重建中国华北及华东14世纪以来的10 a平均气温得出的第3个冷期^[11]大体相吻合,后者第三冷期的1790s~1810s、1830s~1890s两个寒冷阶段,和本文所揭示的伊犁地区降水1778~1817年,1860~1892年的两个偏湿期具有一定的对应性,但由于降水比温度更易受到地形的影响,故其阶段始终年和温度存在着一定差别不足为奇。

以上对比表明:伊犁地区降水偏湿期有的和位于其西北部的原苏联的强冷期相对应,有的则与位于其东南部的我国其他地区的冷期相吻合,这恰恰反应了伊犁降水鲜明的区域特征,即伊犁降水受到其相邻地区温度变化的双重影响,这与其位于中亚和我国东部之间的地理位置相符合。

4.2 伊犁地区降水的突变事实

气候突变可理解为气候要素从一种分布状态到另一种分布状态突然而持久的变动,检测气候突变的方法有许多种,最常用的有滑动均值差异 T 检验法及Mann-kendall检验法,本文采用前一种方法来检测伊犁地区314 a重建降水序列中的突变事实,其基本原理为,若一序列某一时段的平均值与另一时段的平均值之间的差异具有充分的统计显著性,则认为在给定的信度范围内,该系统在选定的时间点上出现了突变现象^[14],为解决此法突变点随平均值时段长度(M)漂移的不足,参照文献[14]的做法,本文取 $M=10, 15, 20, 25, 30$ a 5种时段进行计算,取出现多的突变点作为突变年份,判定突变年点的临界显著水平定为0.01。

从表3可见,伊犁地区近314 a来重建降水出现了4次突变,分别发生在1757、1778、1892及1927年,其中1757年和1892年是从多向少发生突变,而1778年和1927年为从少向多突变,那么,这种降水突变与更大范围的气候突变是否有联系呢?魏凤英等在研究北半球和全球的温度突变时^[14],利用1860~1990年的气温资料,发现北半球气温在1893~1894年和1925~1926年发生由低向高的突变,全球气温与之类似,突变出现

在1895~1896年及1925~1926年,不难看出,伊犁地区降水在1892年及1927年的突变年份与全球,特别是北半球的温度突变极为相似,表明伊犁地区降水对全球温度突变具有较好的响应,但是,这种响应又是复杂的,1893~1894年北半球温度由低向高突变时,伊犁地区降水由多向少突变,反应了全球变暖的背景下伊犁变干,而当1925~1926年北半球气温再次由低向高突变时,伊犁地区降水却是由少向多突变,反应了全球变暖的背景下伊犁地区变湿,那么,这是否意味着本世纪20年代的全球温度突变是更高一个层次气候突变,它将导致伊犁地区出现和我国东南部类似的暖湿气候型,有待深入的研究及事实的验证。

4.3 干湿变化频率与极值

取降水距平百分率 $-10\% \sim +10\%$ 为正常年, $< +30\%$ 为湿润年, $> -30\%$ 为干旱年,期间分别为偏湿年及偏干年,近314 a来,伊犁地区上年6月至当年5月降水出现湿润年30个,占9.6%;干旱年19个,占6.0%;偏湿年62个,占19.7%;偏干年92个,占29.3%;正常年111个,占35.4%,这反映了干旱、半干旱地区降水的基本特征,偏干旱年出现的频率大于偏湿润年,而干旱、半干旱地区降水极大值出现的突发性(降水极大值不出现则已,一出现就多是破历史纪录性的),使得湿润年出现的频率反而略多于干旱年,1961~1995年伊犁区域上年6月至当年5月降水实际值也出现了这一情况,35 a中湿润年出现2个,而干旱年却没有出现,说明这一现象是客观存在的。

近314 a来,最湿润年为1813年,伊犁地区上年6月至当年5月降水达585.1 mm,比多年均值偏多66.9%,最干旱年为1693年,降水177.3 mm,比多年均值偏少49.4%。

4.4 降水周期及未来趋势预测

利用1682~1985年伊犁地区上年6月至当年5月降水重建值与部分实际值进行方差分析,留下

表 4 伊犁地区上年 6 月至当年 5 月降水与其它地区的相关性
Table 4 Correlation of precipitation from June in the last year to May in the current year between the Yili Prefecture and other regions

地区	中 亚	北 疆	南 疆	东 疆	甘 肃	青 海
站 数	5	33	33	16	34	38
年 代	1961~1985	1961~1995	1961~1995	1961~1995	1961~1990	1961~1990
相关系数	0.740	0.766	0.414	0.243	-0.220	-0.276
显著水平	<0.001	<0.001	0.013			

1986~1995 年共 10 a 作为周期外推的独立检验资料, 经反复试验, 以取 150, 29, 17, 23 及 60 a 5 个超过 0.05 显著水平的降水周期外推效果最好。在 10 a 的独立检验段上, 预测值与实测值的一阶差相关系数为 0.694, 超过 0.05 的显著水平 ($r=0.631$), 相关系数为 0.617, 接近 0.05 的显著水平。这说明预测结果与实测值具有一定的相似性。由于序列的低频变化比原序列常具有更好的稳定性, 我们将预测值低通滤波后, 作为伊犁地区降水的未来变化趋势。从图 2 可见: 未来 1996~2002 年, 伊犁地区降水以正常偏多为主, 2003~2015 年以正常偏少为主, 此后转入下一个降水正常偏多的时段。

5 伊犁地区重建降水序列的代表性

从表 4 可见: 伊犁地区重建降水与和其相邻的北疆(除伊犁外)及中亚哈萨克斯坦东南部地区降水相关最为密切, 和南疆有一定相关性, 而与和其不相邻的东疆及和其相距甚远的甘肃、青海降水关系不大。从地理位置及盛行大气环流的相似性看, 这是完全合理的。

参考文献(References):

- (1) Ye Duzheng, Chen Panqin. Pre-research on global change in China [M]. Beijing: Seismological Publishing House, 1992 (In Chinese). [叶笃正, 陈群勤. 中国的全球变化预研究[M]. 北京: 地震出版社, 1992.]
- (2) Li Jiangfeng, Yuan Yujang, Ma Huiming *et al*. Reconstruction of the historical runoff depth field in the Yili Area, Xinjiang [J]. Journal of Natural Resources, 1994, 9(1): 67~76. [李江风, 袁玉江, 马慧明, 等. 伊犁地区历史径流深度场的重建[J]. 自然资源学报, 1994, 9(1): 67~76.]
- (3) Yuan Yujang, Li Jiangfeng. Preliminary study of characteristics of tree-ring chronologies in the Yili Area, Arid Land Geography [J], 1993 (In Chinese). [袁玉江, 李江风. 新疆伊犁树轮年表特征初探[J]. 干旱区地理, 1993, 16(3): 45~61.]
- (4) Yuan Yujang, Li Jiangfeng. Response functions of tree-ring chronology in the western Tianshan mountains [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1995, 17(2): 170~177 (In Chinese). [袁玉江, 李江风. 天山西部树轮年表的响应函数

- [J]. 冰川冻土, 1995, 17(2): 170~177.]
- (5) Li Jiangfeng, Yuan Yujang. Reconstruction of the annual runoff field in Yili Area on the tree ring [J]. Hydrology, 1996, 1: 30~35 (In Chinese). [李江风, 袁玉江. 用树木年轮重建伊犁地区年径流量[J]. 水文, 1996, 1: 30~35.]
- (6) Wu Xiangding. Tree-ring and climatic change [M]. Beijing: Meteorology Publishing House, 1990, 171~172 (In Chinese). [吴祥定. 树木年轮与气候变化[M]. 北京: 气象出版社, 1990, 171~172.]
- (7) Mosteller F, Tukey J W. Data analysis and regression [M]. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, 1977, 1~588.
- (8) Yi Xungang, Liu Hongbin, Shao Xuemei. Flow-chart analysis of reconstruction of past climatic model on the tree-ring [A]. Paper collection of research on climatic change patterns and their numerical simulation vol. 1 [C]. Beijing: Meteorology Publishing House, 1996, 49~50. [尹训钢, 刘洪滨, 邵雪梅. 用树木年轮重建过去气候模型的流程分析[A]. 气候变化规律及其数值模拟研究论文集(第一集)[C]. 北京: 气象出版社, 1996, 49~50.]
- (9) Yuan Yujang. Precipitation changes of hundred years and precipitation forecast in North Xinjiang [A]. Research on climatic changes and regional development in the Arid-Semi-Arid Lands of China [C]. Beijing: Meteorology Publishing House, 1990, 112~116. [袁玉江. 北疆百年降水变化及降水预测[A]. 中国干旱、半干旱地区气候环境与区域开发研究[C]. 北京: 气象出版社, 1990, 112~116.]
- (10) Yuan Yujang. Han shuti. Features of dry and wet changes for 500 years in the Northern of Xinjiang [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1991, 13(4): 315~322 (In Chinese). [袁玉江, 韩淑颀. 北疆 500 年干湿变化特征[J]. 冰川冻土, 1991, 13(4): 315~322.]
- (11) Wang Shaowu. Studies on climate of the Little Ice Age [J]. Quaternary Sciences, 1995, 3: 202~212 (In Chinese). [王绍武. 小冰期气候的研究[J]. 第四纪研究, 1995, 3: 202~212.]
- (12) Shi Yafeng. Glacier recession and lake shrinkage indicating the climatic warming and drying trend in central Asia [J]. Acta geographica sinica, 1990, 45(1): 1~13 (In Chinese). [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, 45(1): 1~13.]
- (13) Yao Tandong, Xie Zichu, Wu Xiaoling *et al*. Climatic change since Little Ice Age recorded by Dunde ice cap [J]. Science in China, 1990, 11(B): 1196~1201 (In Chinese). [姚檀栋, 谢自楚, 武筱玲, 等. 敦德冰帽中的小冰期气候记录[J]. 中国科学, 1990, 11(B): 1196~1201.]
- (14) Wei Fengying, Cao Hongxing. Detection of abrupt changes and trend prediction of the air temperature in China, the

Northern Hemisphere and the globe. *Atmospheric Sciences*, 1995, 19(2): 140~147 (In Chinese). [魏凤英, 曹鸿兴, 中

国. 北半球和全球的气温突变分析及趋势预测研究[J]. *大气科学*, 1995, 19(2): 140~147.]

Reconstruction and Discussion of 314 a Precipitation in Yili Prefecture, Western Tianshan Mountains

YUAN Yu-jiang¹, YE Wei², DONG Guang-rong³

1) *Xinjiang Institute of Meteorology, Ürümqi Xinjiang 830002, China*, 2) *Xinjiang Institute of Ecology and Geography, C.A.S., Ürümqi Xinjiang 830011, China*, 3) *Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, C.A.S., Lanzhou Gansu 730000, China*

Abstract: Single correlation screen indicated that the correlations were significant among 10 tree-ring chronologies and precipitation from June in the last year to May in the current year, and the maximum correlation coefficient was 0.584 ($\alpha=0.005$). Using 5 tree-ring chronology series, the 314 a precipitation was well reconstructed and its explain variance was 75%. It is verified that the reconstructed precipitation was more reliable. Several conclusions obtained by analyzing the precipitation sequence reconstructed are as follows: 1) In the recent 314 a, the precipitation reconstructed has 4 wet periods above its mean and 4 dry periods below its mean. The wet periods were corresponding to the wet periods of annual precipitation reconstructed in the Northern Xinjiang, and the cold periods in former USSR, North and East China and in the Qilian Mountains. 2) Correlation analysis shows that the precipitation series reconstructed in the Yili Prefecture is well representative of precipitation change in the Northern Xinjiang and in the Southeastern Kazakhstan. 3) The corresponding ratio of wet-dry year between the Yili Prefecture and the

Southeastern Kazakhstan is about 68%. 4) The long-term precipitation series reconstructed in the Yili Prefecture has significant change periods of 150, 29, 17, 23 and 60 a, and occurred abrupt changes in 1757, 1778, 1892 and 1927. The abrupt changes in 1892 and 1927 were corresponding to the temperature abrupt changes in North Hemisphere and the globe, but the response of precipitation in the Yili Prefecture to the temperature abrupt changes in the globe was complicated. 5) In the 314 a precipitation reconstructed in the Yili Prefecture, wet year accounted for 9.6%, drought year 6.0%, partial wet year 19.7%, partial drought year 29.3%, and normal year 35.4%. The maximum precipitation (585.1 mm) occurred in 1813, which was 66.9% more than the long-term mean, and the minimum precipitation (177.3 mm) occurred in 1693, which was 49.4% less than the long-term mean. 6) It is expected that the change trend of precipitation in the Yili Prefecture is mainly near or above its mean from 1996 to 2002, near or below its mean during 2003~2015, after that, precipitation go into a stage mainly near or above its mean.

Key words: Yili Prefecture, tree-ring, precipitation reconstruction, respond to global change