

树轮纪录的500年来青海地区 夏半年降水变化特征

王振宇 李林 汪青春 秦宁生 朱西德 申红艳

青海省气候资料中心, 西宁 810001

摘要 利用青海省境内不同区域的3条树木年轮资料重建了青海省1479~1991年共513年的夏半年降水序列, 分析发现青海省夏半年降水与1961~1990年降水平均值相比, 以降水偏少为主要特征。以这513年的平均值为基准, 自1479年以来, 青海地区主要经历了10个相对干期和11个相对湿期, 其中持续时间较长的湿期有3段分别为1544~1584年(41年)、1667~1719年(53年)、1936~1991年(56年), 干期的持续时间都较短。最大熵谱分析发现存在25.0、11.5、4.8、3.7、7.7、6.2、2.2、2.4、2.0年周期。

关键词 树木年轮 青海地区 降水 气候

文章编号 1006-9585 (2005) 02-0250-07 **中图分类号** P468 **文献标识码** A

Characteristic of Precipitation Variation in Summer Season over Qinghai Province in 500 Years Recorded from Tree-Rings

WANG Zhen-Yu, LI Lin, WANG Qing-Chun, QING Ning-Sheng,
ZHU Xi-De, and SHEN Hong-Yan

Qinghai Climate Center, Xining 810001

Abstract Based on the three pieces of tree ring data in different area of Qinghai province, the precipitation sequence in summer season from 1479 to 1991 is reconstructed, this analysis shows that the precipitation in summer season is relatively fewer than that the precipitation average in 1961—1990. On the basis of this average in 513 years, Qinghai has mainly come through 10 relative dry periods and 11 relative wet periods, among which the longer wet period of sustaining time is divided into three episodes, i. e., from 1544 to 1584, from 1667 to 1719 and from 1936 to 1991, while the sustaining time of dry period is relatively shorter. By maximum entropy spectrum analysis, it can be found that there exists 25.0, 11.5, 4.8, 3.7, 7.7, 6.2, 2.2, 2.4, and 2.0-year cycles.

Key words tree-ring, Qinghai region; precipitation; climate

1 引言

青海地区地处青藏高原东北隅, 面积 $7.21 \times 10^5 \text{ km}^2$, 占青藏高原总面积的 $37.5\%^{[1]}$, 由于独

特的地理位置, 青海地区的气候研究备受重视, 王绍武等^[2]利用冰芯、树轮资料、湖相沉积、黄土、孢粉以及历史文献等研究青海地区以及青藏高原历史时期的气候变化, 取得了丰硕成果, 得出了青藏高原是我国气候变化的启动区和敏感区

收稿日期 2004-06-07 收到, 2005-03-14 收到修定稿

资助项目 中国科学院知识创新工程项目 KZCX1-SW-04 和科技部社会公益研究项目 2001DIB10085

作者简介 王振宇, 男, 1972年出生, 工程师, 主要从事气候变化及其对生态环境影响的研究工作。E-mail: wzystone@21cn.com

等结论。但其存在着历史时期部分研究分辨率低; 气温研究较多, 降水研究不足; 点上研究较多, 面上研究较少等问题。纵观青海地区降水近 2000 年时间尺度上的研究, 主要有沈吉等^[3]、张家武等^[4]利用青海湖沉积岩芯分析了近千年青海湖区的气候环境变化以及青海省东北部的降水变化; 姚檀栋等^[5,6]利用冰芯分析了青藏高原 2000 年左右的环境变化; 树轮方面, 有邵雪梅等^[7]利用柴达木盆地的祁连圆柏分析了青海德令哈地区千年降水, 秦宁生等^[8]利用青海南部高原圆柏分析了 500 年来青南高原地区的湿润指数, 王振宇等^[9]利用乌兰地区树轮分析了近千年青海北部地区的降水变化, 以及康兴成等^[10]利用祁连山地区的树轮资料分析了祁连山地区的旱涝变化等等。由此可见, 树轮研究可以解释青海大部分干旱、半干旱地区的干湿变化, 同时, 树轮分析结果较其他研究的分辨率要高, 但时间尺度较短。本文利用青海省降水序列与青海地区采集的树轮资料, 重建了青海地区 1479~1991 年共 513 年的夏半年降水, 并讨论了 500 年来的区域降水特征变化。

2 资料

根据用于气候变化研究的资料必须满足均一性、代表性和比较性的要求, 从青海省现有的 50 个气象台站中, 选取 6 个国家基准站和 20 个基本

站作为代表站, 面积加权计算了 1961~2002 年青海省各月、夏半年 (5~10 月)、冬半年 (11~4 月)、年的降水序列。其中夏半年降水占全年降水的 91.8%, 相关系数为 0.975, 因此夏半年降水的变化基本可以反应出全年降水的变化特征。

树轮资料由中国科学院地理研究所、青海省气候资料中心、兰州大学等单位采集, 采样时间从 20 世纪 80 年代至今, 共 17 条树轮 (标准、差值、自回归) 51 个年表, 地理范围涵盖青海省祁连山区、柴达木盆地和青南高原。

3 夏半年降水的重建

利用 26 站加权平均计算的降水资料与 51 个树轮年表进行相关普查, 发现其中 6 条树轮与夏半年降水关系密切。采用地理位置合理, 相关关系稳定的原则, 利用回归方法, 筛选出 3 条树轮年表 (表 1) 建立了夏半年的降水序列。

回归方程为:

$$R_{5\sim 10} = 177.364 + 33.973D + 40.007Q_{m-1} + 12.310Q_{h-2}$$

式中, D 为 D_{32res} 当年树轮年表序列; Q_{m-1} 为 $Q_{m100std}$ 落后一年年表序列; Q_{h-2} 为 Q_{h31ars} 落后两年年表序列。

方程复相关系数 0.566, 通过 0.01 信度检验。共同期间 (图 1), 实际降水平均值为 269.2 mm,

表 1 树轮信息

Table 1 Tree-ring information

树轮名称 Name of tree-rings	采样点 Sampling site	海拔高度 Altitude m	树种 Category	年表类型 Type	标准差 Standard deviation	一阶自相关 First order autocorrelation	年数 Years	年代 Chronology
D_{32res}	德令哈 Delinha (37°27'N, 97°32'E)	3920	祁连圆柏 Qilian Sabina tibetica	差值年表 Difference year	0.301	-0.014	1304	698~2001
Q_{h31ars}	祁连青羊沟 Qilianqingyanggou (38°51'N, 100°08'E)	3500	祁连圆柏 Qilian Sabina tibetica	自回归年表 Auto-regression year	0.2179	0.233	734	1260~1993
$Q_{m100std}$	曲麻莱 Qumalai (33°48'N, 96°08'E)	4060	祁连圆柏 Qilian Sabina tibetica	标准年表 Standard year	0.2651	0.274	523	1480~2002

注: D_{32res} 由中国科学院地理研究所邵雪梅采集, Q_{h31ars} 由中国科学院地理研究所吴祥定采集, $Q_{m100std}$ 由青海省气候资料中心秦宁生采集。
Note: D_{32res} is sampled by Shao Xuemei from Institute of Geographical and Natural Resources Research, Chinese Academy of Science; Q_{h31ars} is sampled by Wu Xiangding from Institute of Geographical and Natural Resources Research, Chinese Academy of Science; $Q_{m100std}$ is sampled by Qing Ningsheng from Qinghai Climate Data Centre.

标准差为 29.711, 重建降水平均值为 269.2 mm, 标准差为 16.829, 平均值相差 0.0 mm, 标准差相差 12.882。重建和实测平均值是一致的, 但重建序列的标准差小于实测资料, 说明重建降水的变幅较小, 这是线性回归方法局限所致。为了检验重建序列和实测序列的相似性和可靠性, 采用乘积平均数和误差缩减值检验^[11]。乘积平均数检验自由度为 29, $t=5.251$, 通过 0.01 信度检验, 误差缩减值 $R_e=0.6793$, 通过误差缩减值检验。

4 夏半年降水变化特征

4.1 干湿变化的气候特征

图 2 中, 如果以 1961~1990 年的降水平均值 270.3 mm 为基准值, 过去的 500 年, 以降水偏少

为主要特征。在这 513 年中, 降水量超过 61~90 年平均值的只有 175 年, 占 34.1%, 11 年滤波结果中, 降水量超过 61~90 年平均值, 持续时间超过 5 年的也只有 6 段: 1561~1582 年 (19 年), 1702~1798 年 (7 年), 1800~1810 年 (11 年), 1898~1906 年 (9 年), 1942~1949 年 (8 年), 1981 年以后。这与邵雪梅等^[7]利用树轮重建青海省德令哈地区降水得到的结论是基本一致的, 文献 [7] 中德令哈千年降水只有 1563~1590 年和 1974~2001 年超过了 61~90 年降水平均值, 说明青海省的气候在过去的 500 年中表现得没有青海德令哈地区 (局部地区) 的干。最近的 100 年中, 重建降水序列也反映出朱文琴等^[12]利用实测资料得到的 40 年代降水多, 50 年代降水迅速减少, 80 年代降水较多的统计事实, 但与拉萨降水不同的是, 40 年代降水虽多, 但 80 年代降水更多, 这与

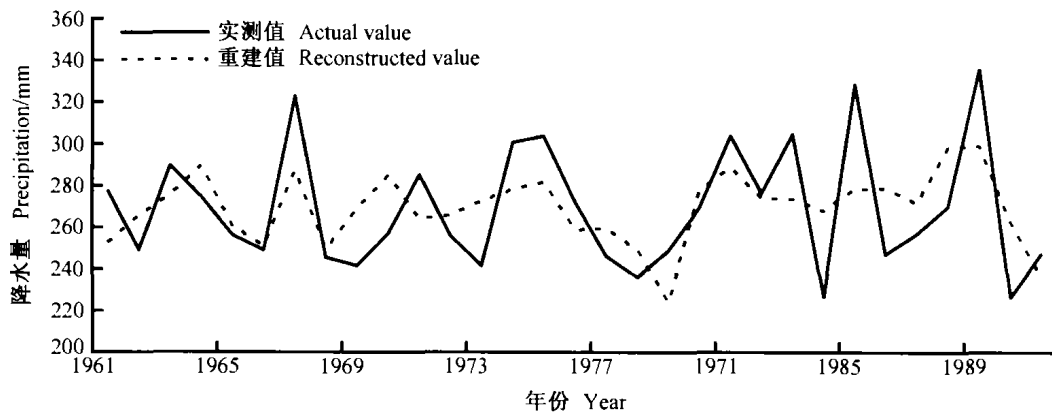


图 1 青海省夏半年降水实测值和重建值比较

Fig. 1 The comparison of actual and established value of precipitation in summer in Qinghai province

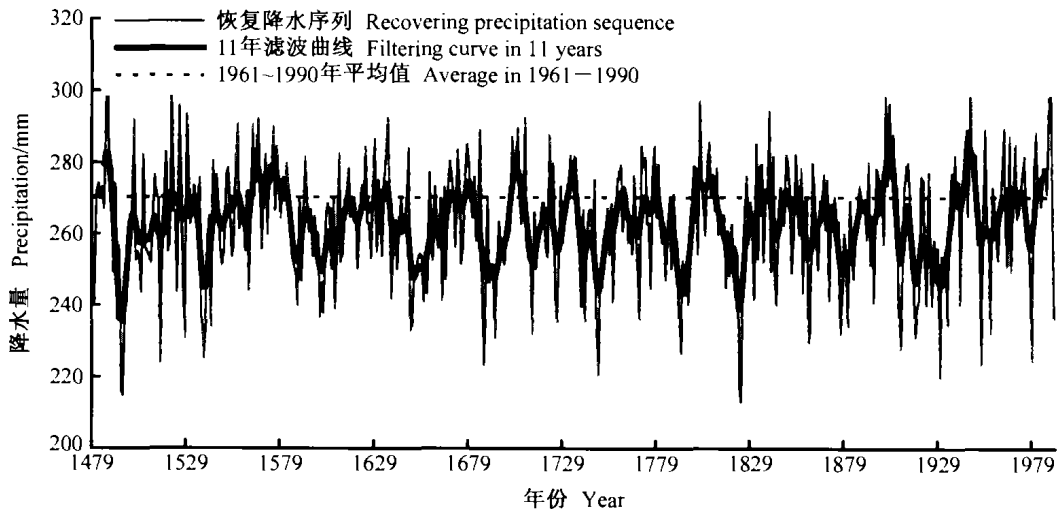


图 2 青海省夏半年降水恢复序列

Fig. 2 The retrieval sequence of precipitation in summer season in Qinghai

于淑秋等^[13]利用实测资料得出的“西北地区年降水量距平百分率的变化是波浪式地上升, 在 1986 年以前基本上以负距平为主, 1986 年以后变成以正距平为主, 1986 年前后存在着明显的跃变”结论是一致的。

以这 513 年的平均值 263.2 mm 为基准, 1479~1991 年可划分出 11 个相对湿期和 10 个相对干期(表 2)。其中相对较长的湿期有 3 段, 分别为 1544~1584 年(41 年)、1667~1719 年(53 年)、1936~1991 年(56 年); 干期持续的时间都较短, 最长的干期也只持续了 29 年。将上述结论与王涛等^[14]分析的干旱区东部的旱涝演变结果比较, 发现有较好的一致性, 如文献 [14] 中提到的 1640~1670 的显著干早期, 1710~1730 的干早期, 1670~1710、1880~1900 年的湿润期都有很好的对应。而在 1730~1810 年有争议的这段时期, 重建的降水结果划分出 3 个相对湿期和 2 个相对干期, 分别有 49 年和 35 年, 应该以湿期为主。1810~1880 年的干早期, 划分的更细, 有 2 个相对干期和 1 个相对湿期, 分别有 46 年和 26 年, 与文献 [14] 划分为干期的主要结论也是一致的。1900 年以后, 只有 40 年代、80 年代以后降水较多。在近百年这个时间段里, 将 1900~1960 年划分为旱段, 是可以的, 但相对于这 500 年, 1936 年以后的降水还是多的, 所以划分出的

旱段没有文献 [14] 中的 60 年那么长, 也只有 30 年左右(1907~1935 年)。1936 年以后为湿期。

4.1.1 与东部农业区的历史时期的旱涝记载比较

青海地区历史文献稀少, 资料年代较短, 缺失较多。地理仅限于青海省东部农业区的几个县, 同时该农业区在历史时期较其他地区人口密集, 原始森林不能保存, 现只存有次生林, 树龄多在 100 年之内, 没有采样利用价值。根据《青海省东部近五百年气候历史资料》, 青海地区最早的气象灾害记载见于《西宁府新志》的 108 年(汉永初二年), 但 1495 年(明弘治八年)后才较为系统, 1847 年以后才有较完整的记录。1495~1936 年共有 227 年记录, 其中中断 3 年之内定为正常(3 级)的有 75 年, 实际记录只有 152 年。1937~1977 年以后利用西宁、民和、湟源等地的气象资料分级。由于《青海省东部近五百年气候历史资料》中 1936 年前后旱涝等级划分标准的不统一, 同时这 500 年间重建降水序列在 1936 以后表现为一个涝段, 所以不再对 1936 年以后的时期进行比较。用 1496~1936 年旱涝等级资料直接与重建降水序列作相关, 样本数 152, 相关系数 -0.171, 通过 0.01 的信度检验, 可以认为旱涝反映大体是一致的。从表 2 可以看到, 旱年在各时段均有发生, 而涝年记载较少, 但是具体的旱涝年代与当时的重建降水对应却有较大的出入, 究其原因,

表 2 青海省相对的干湿期

Table 2 The relative dry/wet period in Qinghai province

湿期 Wet period			干期 Dry period		
时段 Period	总年数 Total years	旱涝年数* Drought Flood years	时段 Period	总年数 Total years	旱涝年数* Drought Flood years
1479~1490	12		1491~1517	27	旱 2 涝 0 Drought 2 and flood 0
1518~1535	18	旱 1 涝 0 Drought 1 and flood 0	1536~1543	8	旱 2 涝 0 Drought 2 and flood 0
1544~1584	41	旱 3 涝 0 Drought 3 and flood 0	1585~1611	27	旱 2 涝 0 Drought 2 and flood 0
1612~1637	26	旱 3 涝 0 Drought 3 and flood 0	1638~1666	29	旱 5 涝 2 Drought 5 and flood 2
1667~1710	54	旱 8 涝 1 Drought 8 and flood 1	1711~1729	19	旱 1 涝 0 Drought 1 and flood 0
1730~1737	8	旱 1 涝 0 Drought 1 and flood 0	1738~1756	19	旱 3 涝 1 Drought 3 and flood 1
1757~1781	25	旱 4 涝 1 Drought 4 and flood 1	1782~1797	16	旱 2 涝 0 Drought 2 and flood 0
1798~1813	16	旱 3 涝 2 Drought 3 and flood 2	1814~1830	17	旱 3 涝 1 Drought 3 and flood 1
1831~1856	26	旱 8 涝 2 Drought 8 and flood 2	1857~1885	29	旱 9 涝 2 Drought 9 and flood 2
1886~1906	21	旱 6 涝 7 Drought 6 and flood 7	1907~1935	29	旱 14 涝 4 Drought 14 and flood 4
1936~1991	56				

* 《青海省东部近五百年气候历史资料》^① 记载的旱涝年数

^①Historical data of climate in recent 500 years over the eastern Qinghai province^① recorded drought and flood years

① 青海省东部近五百年气候历史资料, 青海省气象局科学研究所印, 1973

文献记载划分涝年基本是以大雨、山洪、水灾作为标准, 涝的划分对于青海干旱、半干旱地区可能过于苛刻, 同时也由于青南高原所占青海省面积比重较大, 降水又较青海其他地区要多, 因此, 恢复降水序列更多反映的是青南高原的降水, 东部降水总的趋势能够反映出来, 但具体到年代会有一定的出入。

4.1.2 与敦德冰芯中的降水记录比较

姚檀栋等^[5,6]曾对比祁连山敦德冰芯氧同位素与树轮宽度数据, 发现虽然在低频变化上两者之间有较好的关系, 但在高频上两者冷暖期之间的对应关系并不完全吻合。将降水序列做 10 年一个平均值, 并做 11 点滑动, 与冰芯累计量^[15]比较。发现总的变化特征树轮恢复降水序列与冰芯累计量一致, 其中 16 世纪和 20 世纪要高于 17~19 世纪, 古里雅冰芯累计量在 16 世纪也表现为高值^[6,16], 但树轮重建的降水序列表现的波动更多。究其原因, 可能是由于冰芯的结果本来就是一个积累的过程, 在冰芯形成过程中, 不断地积压、消融、冻结、相互融合, 一年的积累可能包括邻近几年, 甚至更长时间的影响, 这个过程就好像滑动平均一样, 会减弱高频变化。树轮同样受前期生长的影响, 但一般都不超过 3 年。

4.2 降水周期

利用最大熵谱分析降水, 发现存在 25.0、11.5、4.8、3.7、7.7、6.2、2.2、2.4、2.0 年周期 (按显著性大小排列), 没有发现百年以上的周期。但利用功率谱分析, 发现有 68.4 年的较长周期, 其余短周期与最大熵谱分析基本一致。

4.3 降水突变

利用滑动 t 检验考察降水的突变。设一序列 $x_i, i=1, 2, \dots, n$, 人为设置某一时刻为基准点,

m_1, m_2, s_1, s_2 分别为该时刻前 n_1 个和后 n_2 个元素的平均值和标准差, 定义统计量 t :

$$t = \frac{m_1 - m_2}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

给定 $n_1 = n_2 = 10$, 信度为 0.01, 查表得到 t_a , 如果 $|t| > t_a$, 则认为在基准年发生突变, 连续几年发生, 选其中 $|t|$ 最大值的年为突变年。

从表 3 可以看到共发生 14 次突变, 由涝向旱 8 次, 由旱向涝 6 次, 其中最大的突变发生在 1700 年, 是由旱向涝的突变。15 世纪和 16 世纪突变均只有一次, 17 世纪 3 次, 18 世纪是降水最不稳定的时候, 发生 6 次, 19 世纪 2 次, 20 世纪 1 次。

5 结论

利用青海省 26 站面积加权计算的全省降水和位于青海省祁连山区、德令哈盆地和青南高原的 3 条树轮, 恢复出 1479~1991 年共 513 年夏半年降水序列。通过乘积平均数和误差缩减值检验, 证明该重建序列是可靠的。

如果以 1961~1990 年的降水平均值 270.3 mm 为基准值, 过去的 500 年, 以降水偏少为主要特征; 与冰芯资料相比, 都表现出了 16 世纪和 20 世纪的高值, 但树轮重建降水波动更多。

以其 513 年的平均值为基准, 这 500 多年可以划分出 11 个相对湿期和 10 个相对干期。其中相对较长的湿期有 3 段 (1544~1584 年、1667~1719 年、1936~1991 年), 干期持续的时间都较短, 最长的干期也只持续了 29 年。

表 3 气候突变发生的年份

Table 3 The year for climate catastrophe

年份 Year	旱涝突变 Drought flood catastrophe	年份 Year	旱涝突变 Drought flood catastrophe
1490	由涝向旱 Flood-drought	1738	由涝向旱 Flood-drought
1585	由涝向旱 Flood-drought	1757	由旱向涝 Drought-flood
1648	由涝向旱 Flood-drought	1787	由涝向旱 Flood-drought
1658	由旱向涝 Drought-flood	1798	由旱向涝 Drought-flood
1686	由涝向旱 Flood-drought	1812	由涝向旱 Flood-drought
1700	由旱向涝 Drought-flood	1826	由旱向涝 Drought-flood
1710	由涝向旱 Flood-drought	1935	由旱向涝 Drought-flood

利用最大熵谱分析降水, 发现存在 25.0、11.5、4.8、3.7、7.7、6.2、2.2、2.4、2.0 年周期 (按显著性大小排列), 没有发现百年以上的周期。

利用滑动 t 检验考察降水的突变, 可见共发生 14 次突变, 由涝向旱 8 次, 由旱向涝 6 次, 18 世纪降水最不稳定, 发生 6 次突变。

参考文献

- [1] 戴加洗. 青藏高原气候. 北京: 气象出版社, 1990. 1~22
Dai Jiayi. *Climate in Qinghai-Tibet Plateau* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1990. 1~22
- [2] 王绍武, 蔡静宁, 朱锦红. 中国气候变化的研究. 气候与环境研究, 2002, 7 (2): 137~145
Wang Shaowu, Cai Jingning, Zhu Jinhong. Study on Climate Change in China. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2002, 7 (2): 137~145
- [3] 沈吉, 张恩楼, 夏威夷. 青海湖近千年来气候环境变化的湖泊沉积记录. 第四纪研究, 2001, 21 (6): 508~513
Shen Ji, Zhang Enlou, Xia Weilan. The sediment records of Qinghai Lake for climatic and environmental change in recent 1000 years. *Quaternary Sciences* (in Chinese), 2001, 21 (6): 508~513
- [4] 张家武, 金明, 陈发虎, 等. 青海湖沉积岩芯记录的青藏高原东北部过去 800 年来的降水变化. 科学通报, 2004, 49 (1): 10~14
Zhang Jiawu, Jing Ming, et al. Cheng Fahu. Precipitation variation recorded in the sediment-core in the northeastern Qinghai-Tibet plateau in the past 500 years. *Chinese Science Bulletin* (in Chinese), 2004, 49 (1): 10~14
- [5] 姚檀栋, 谢自楚, 武筱舫, 等. 敦德冰帽中的小冰期气候记录. 中国科学 (B 辑), 1991, (11): 1196~1201
Yao Tandong, Xie Zichu, Wu Xiaofang, et al. Climate record of the little ice age in the Dongde ice cap. *Science in China (Ser. B)* (in Chinese), 1991, (11): 1196~1201
- [6] 姚檀栋, 秦大河, 田立德, 等. 青藏高原 2 ka 来温度与降水变化. 中国科学 (D 辑), 1996, 26 (4): 348~353
Yao Tandong, Qing Dahe, Tian Lide, et al. The temperature and precipitation change since 2 ka in Qinghai-Tibet plateau. *Science in China (Ser. D)* (in Chinese), 1996, 26 (4): 348~353
- [7] 邵雪梅, 黄磊, 刘洪滨, 等. 树轮纪录的青海的德令哈地区千年降水变化. 中国科学 (D 辑), 2004, 34 (2): 145~153
Shao Xuemei, Huang Lei, Liu Hongbin, et al. The precipitation variation in 1000 years record from tree-rings over the Delingha region of Qinghai. *Science in China (Ser. D)* (in Chinese), 2004, 34 (2): 145~153
- [8] 秦宁生, 邵雪梅, 靳立亚, 等. 青海南部高原圆柏年轮指示的近 500 年来气候变化. 科学通报, 2003, 48 (19): 2068~2072
Qin Ningshen, Shao Xuemei, Jin Liya, et al. Climate change over the southern Qinghai plateau in the past 500 years recorded in *Sabina tibetica* tree-rings. *Chinese Science Bulletin* (in Chinese), 2003, 48 (19): 2068~2072
- [9] 王振宇, 周陆生. 青海北部 1165~1981 年夏季降水的演变特征. 中国西北干旱气候变化与预测研究第三卷. 北京: 气象出版社, 2000. 79~84
Wang Zhenyu, Zhou Lusheng. The evolution characteristics of summer precipitation in northern Qinghai in 1165~1981. *The Prediction Research and Climate Change for Drought in Northwestern China* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2000. 79~84
- [10] 康兴成, 程国栋, 陈发虎, 等. 祁连山中部公元 904 年以来树木年轮记录的旱涝变化. 冰川冻土, 2003, 25 (5): 518~525
Kang Xincheng, Cheng Guodong, Chen Fahu, et al. A record of drought and flood series by tree-ring data in middle section of Qilian mountain since 904 A. D. *Journal of Glaciology and Geocryology* (in Chinese), 2003, 25 (5): 518~525
- [11] 李江凤, 袁玉江, 由希尧, 等. 树木年轮水文学研究与应用. 北京: 科学出版社, 2000. 105~116
Li Jiangfeng, Yuan Yujiang, You Xiyao, et al. *Application and Study for the Hydrology of Tree-Rings* (in Chinese). Beijing: Science Press, 2000. 105~116
- [12] 朱文琴, 陈隆勋, 周自江, 等. 现代青藏高原气候变化的几个特征. 中国科学 (D 辑), 2001, 31 (增刊): 327~334
Zhu Wenqin, Chen Longxun, Zhou Ziji, et al. Some characteristics of climate change in the Tibetan Plateau. *Chinese science (Ser. D)* (in Chinese), 2001, 31 (suppl.): 327~334
- [13] 于淑秋, 林学椿, 徐祥瑞. 我国西北地区近 50 年降水和温度的变化. 气候与环境研究, 2002, 8 (1): 9~18
Yu Shuqiu, Lin Xuechun, Xu Xiangde. The precipitation and temperature change in northwestern China in recent 50 years. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2002, 8 (1): 9~18
- [14] 王涛, 杨保, Braeuning A, 等. 近 0.5 ka 来中国北部干旱半干旱地区的降水变化分析. 科学通报, 2004, 49 (9): 883~887
Wang Tao, Yang Bao, Braeuning A, et al. Analysis on the precipitation variation over the arid and semi-arid region of northern China in recent 500 years. *Chinese Science Bulletin* (in Chinese), 2004, 49 (9): 883~887

- [15] 丁一汇. 中国的气候变化与气候影响研究. 北京: 气象出版社, 1997. 6~17
Ding Yihui. *Study on the Climate Change and Its Impact in China* (in Chinese). Beijing: Science Press, 1997. 6~17
- [16] 施雅风. 中国冰川与环境. 北京: 科学出版社, 2000. 301~319.
Shi Yafeng. *Glaciers and Environments in China* (in Chinese). Beijing: Science Press, 2000. 301~319