

文章编号: 1000 0534(2005)03 0320 06

利用多条树轮资料重建青海高原近 250年年平均气温序列

汪青春¹, 秦宁生¹, 李栋梁², 时兴合³,
王振宇¹, 李林¹, 朱西德¹

(1. 青海省气候资料中心, 青海 西宁 810001; 2. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000;
3. 青海省气象台, 青海 西宁 810001)

摘要: 通过青海高原不同区域的多条树轮年表和青海高原温度的统计分析, 探讨了用多条树轮年表重建整个青海高原年平均气温的途径和方法。高原上树轮年表与温度存在较好的对应关系, 温度是年轮变化的主要控制因子之一, 特别是树轮年表较好地反映了最低气温的变化。树轮年表中差值年表(RES)对温度变化的反映最好。本文用6条树轮年表资料重建了青海高原近250年的年平均气温序列。

关键词: 青海高原; 树木年轮; 气候变化

中图分类号: P467 **文献标识码:** A

1 引言

在气候变化研究中, 青藏高原因其高度高, 作为世界“第三极”, 似乎扮演着“启动区”的角色^[1]。利用树木年轮宽度变异对气候变化的响应, 获取某些气候要素的代用资料, 已经在全球范围内成为研究历史时期气候变化的重要途径之一。在我国, 利用年轮宽度资料分析历史上局地气温和降水变化的工作, 虽始于20世纪30年代, 但较系统地开展年轮气候学研究, 还只是最近十多年的事情。尤其是近年来针对青海高原的树轮采样和采用年轮气候学方法重建温度、降水变化的研究, 已取得了较大进展^[2~15]。在国外, 目前一般是对大样本序列的树轮场和气候因子场进行场的结构分析、讨论和恢复。与之比较, 国内绝大部分工作只是对单点树轮资料和气候资料作趋势、周期与相关分析^[2]。根据已有的青藏高原树轮与气候要素关系的研究成果, 在青藏高原温度是年轮变化的主要控制因子。同时, 多数研究成果表明^[2, 4, 7~10, 13, 14], 2~6月份的温度要素与树轮的关系最好。本文的工作是在尽可能地收集近年来在青海省境内取得的树轮资料, 以便从众

多的年轮资料中提取出数量更多、质量更高以及更为可信的历史时期气候信息, 从而重建青海高原历史气候序列。本文首次利用多条年轮资料重建了青海高原近250年年平均气温序列。由于20世纪以来气候变暖是目前的研究热点之一, 因此, 在全球气候变暖的背景下, 运用重建的序列分析对预测未来气候变化具有现实意义。

2 青海高原年平均气温标准序列建立

众所周知, 研究气候变化的资料不仅要有足够的序列长度, 还应有足够的精确度。因此, 所用资料必须满足均一性、代表性和比较性。根据上述原则, 本文选取青海省内的26个站作为代表站, 其中有6个国家基准站(民和、刚察、格尔木、兴海、达日和囊谦)和20个基本站(西宁、贵德、共和、门源、祁连、托勒、德令哈、都兰、大柴旦、冷湖、茫崖、泽库、玛多、清水河、玉树、杂多、五道梁、托托河、同仁和大武)。

青海省幅员辽阔, 地形和气候复杂, 气象站的覆盖率较低, 且主要集中在东部经济较发达地区, 西部部分地区还是地面气象资料的空白区。因

收稿日期: 2004 05 20; 改回日期: 2004 09 22

基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX1 SW 04); 科技部社会公益研究项目(2001DIB10085)共同资助

作者简介: 汪青春(1962—), 男, 青海湟中县人, 高级工程师, 主要从事气候和应用气候服务研究

E-mail: QINGCHUN WANG@sohu.com

此，既不能用简单的算术平均法，又不能以台站所在行政区面积作为权重的方法来求得青海省气温的标准序列值。考虑到上述原因，根据 26 个代表站的空间分布，利用确定代表面积数量的“三角形”法将青海省划分为 26 个区，求出各代表站所代表区面积权重值，用面积权重方法求得青海省年平均气温值。图 1 是 1953—2002 年青海高原年平均气温的年际变化(具体权重值略，代表站的空间分布如图 2 所示)。

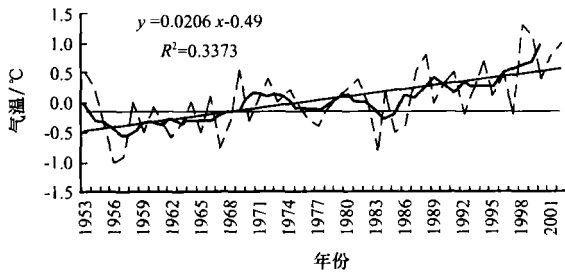


图 1 1953—2002 年青海高原年平均地面气温年际变化
虚、实线分别为实际值和滑动平均值

Fig. 1 The interannual changes of annual mean surface air temperature over Qinghai Plateau in 1953—2002.

Dashed and solid lines are the observed and running mean values, respectively

统计得到 1961—1990 年青海高原年平均气温为 $-0.07\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，1971—2000 年为 0.17 。20 世纪 50 年代年平均气温为 $-0.31\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；60 年代年平均气温为 $-0.25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；70 年代年平均气温为 $-0.04\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；80 年代年平均气温为 $0.04\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；90 年代年平均气温为 $0.43\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。50 年来上升约 $0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。1998 年是近 50 年来年平均气温最高的一年，比 1971—2000 年 30 年标准气候值偏高 $1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

3 重建方程的建立

3.1 树木年轮资料选取

经调查，近年来青海省域内在以下四个区域内曾由中国科学院地理科学与环境研究所、中国气象科学研究院、青海省气候资料中心等单位单独或联合进行过树轮采样，一是德令哈—乌兰采样区，树种有杜松、云杉、圆柏 3 种；二是祁连山采样区，树种有杜松、圆柏 2 种；三是班玛采样区，树种均为云杉；四是青海南部高原西部的治多和曲麻莱，树种为大果圆柏。到目前我们共收集和采集到树轮资料共 17 条，其中，德令哈—乌兰采样区 10 条，祁连山采样区 4 条，班玛采样区年表 1 条，治多和

曲麻莱各 1 条。树轮的采样时间分别在 1986—1988 年、1994—1995 年和 2000—2002 年。其中最长的年表始于 691 年，长达 1300 多年；最短的亦有 252 年之久。

根据树木年轮学的理论，树木年轮年表一般用来重建与采样点处于同一地区或邻近地区的气候资料序列。本文树木年轮资料序列的选取，考虑到要重建整个青海高原的年平均气温序列，因此，用上述面积权重方法求得整个青海高原年平均地面气温、年平均最高气温、年平均最低气温、夏半年(5~9 月)降水量、冬半年(10 月~4 月)降水量序列，在公共期内(公共期为 1953—1985 年)与 17 个树木年轮资料序列进行相关分析，并依据树轮与年平均气温的相关显著；与年降水量的相关不显著，特别与夏半年降水量的相关更不显著；考虑树轮资料采样区的空间分布等 3 个树轮资料选取原则。一般每条树轮有 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)，可增加在气候重建时年表的选择性，获得更多的气候变化信息。经过相关分析，选取表 1 所列的 6 个年轮序列用于重建。

表 1 所选年表与气温、降水的相关系数

Table 1 The correlation coefficients of air temperature and precipitation with the selected chronology

地名	代码	年表	年平均	年平均最	年平均最	降水量	降水量
			气温	高气温	低气温	夏半年	冬半年
			$/^{\circ}\text{C}$	$/^{\circ}\text{C}$	$/^{\circ}\text{C}$	$/\text{mm}$	$/\text{mm}$
乌兰	W3	STD	0.405	0.221	0.437	-0.133	0.247
乌兰	W5	STD	0.398	0.101	0.584	-0.015	0.334
祁连	Q1	RES	0.440	0.321	0.464	-0.067	0.084
祁连	Q2	RES	0.437	0.315	0.465	-0.063	0.089
班玛	B1	RES	0.320	0.184	0.392	0.058	0.128
治多	Z1	RES	0.202	-0.186	0.577	0.251	0.374

注：表中黑体字表示相关系数通过 0.05 以上的显著性水平检验

树轮选取结果：在德令哈—乌兰采样区选取 2 条，均为标准化年表(STD)；祁连山采样区选取 2 条，为差值年表(RES)；班玛采样区 1 条，为差值年表(RES)；青海南部高原西部 1 条，为差值年表(RES)。表中各年表与年平均气温的相关系数除青海南部、高原东部治多的 RES 年表未通过 0.05 显著性水平检验外，其余都通过 0.05 以上的显著性水平检验。同时，由表 1 可以看出，各年表与年平均最低气温的相关系数明显高于与年平均气温的相

波动的影响。

3.2 重建方程的建立

利用单点树木年轮序列进行气候要素重建时，转换函数可以表达为目前国内普遍采用的线性回归方程。同时为保证方程中各个自变量的相互独立，利用经验正交函数展开，以新的正交变量代替原有的年轮指数值，从而达到更有效地重建过去气候之目的。在重建过程中，根据气象记录的不同长度可划出不同的校准期与独立验证期。一般来说，校准期长度应不少于 20 年⁸。因而本文分别选 28 年(1953—1980 年)和 5 年(1981—1985 年)为校准期与验证期。

为了充分发掘树轮资料提供的信息，将 6 个年表序列经验正交函数展开的前 3 个主分量时间序列，连同 6 个年表序列及其它交叉相乘后的序列同时作为预选年轮因子，用校准期 1953—1980 年年平均气温序列进行最优子集回归方法，建立转换方程，即：

$$T = - 6. 039 + 3. 124W3 + 1. 588W5B1 + 0. 467Z1W5 + 0. 155ZCF1.$$

方程的复相关系数 $R=0. 772$, $F=7. 69$, 方程通过 0. 01 显著性水平检验。式中 W5B1 表示乌兰 W5 年表与班玛 B1 年表的乘积, Z1W5 表示治多 Z1 年表与乌兰 W5 年表的乘积, ZCF1 为经验正交函数展开的第一个主分量。

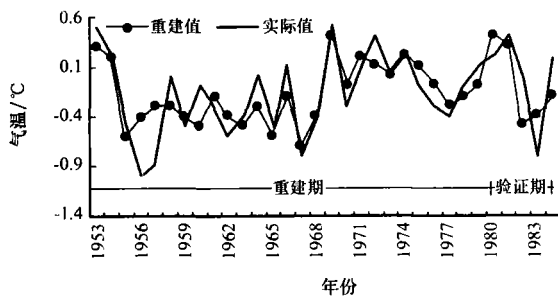


图 3 校准期和验证期重建值与实际值的变化
Fig. 3 The variation of observed and reestablished values during calibration and testing periods

从图 3 可以看出，多数年份拟合比较满意，实测值与重建值比较接近，变化趋势一致，只有 1956 年和 1957 年偏差较大，平均偏差为 0. 2~0. 3℃。图 4 给出了青海高原 1735 年以来年平均气温重建值的变化曲线(其中 1953 年起为实测值)。其中，历年平均值为 -0. 15℃，标准差为 0. 43。而青海高原近 50 年来实测资料的平均值为 0. 04℃，标准差

为 0. 52℃。由此说明重建值的平均值比较稳定。

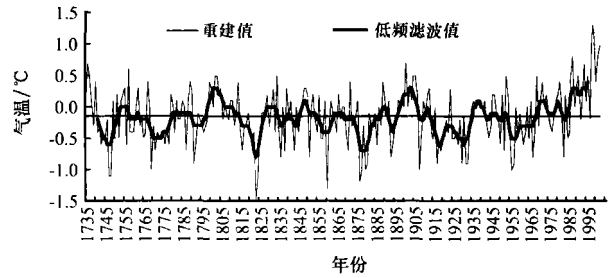


图 4 1735 年以来青海高原年平均气温年际变化
Fig. 4 The interannual changes of annual mean air temperature over Qinghai Plateau since 1735

4 历史时期年平均气温变化特征

4.1 气温变化的阶段性

由图 4 看出，年平均气温的变化存在较明显的阶段性。按世界气象组织规定，以连续 30 年的平均值作为一个时期的标准气候值。如果以 30 年滑动平均值在多年平均值(-0. 15℃)以上时段为暖期，以下时段为冷期，以冷暖期过渡阶段气温年际变化最大的年份作为某时段的起止年份，同时要求一个冷暖时段不少于 30 年，则 1735—2002 年大致可以分为两个偏暖期和两个偏冷期。偏暖期为 1779—1811 年和 1934—2002 年，偏冷期为 1741—1778 年和 1812—1933 年。通过对年平均气温序列的 30 年滑动平均计算，以 1908—1938 年 30 年的年平均气温为最低，年平均气温为 -0. 3℃，其间最高值为 0. 3℃，最低值为 -0. 9℃。最近 30 年年平均气温为最高，平均为 0. 2℃，最高值为 1998 年的 1. 3℃，最低值为 -0. 8℃(1983 年)。

对重建序列的功率谱分析，结果表明，在 2~3 年、7 年、48 年处具有较大的方差贡献，存在 0. 01 信度水平下的准周期。

4.2 重建序列与已有成果的比较

本文重建序列与王绍武等^[16]近 100 年(1880—1996 年)中国年平均气温序列比较，青海高原年平均气温序列的主要冷、暖期多数时段大体上与已有成果基本吻合，主要差异体现在主要冷、暖期出现的位相和主要冷、暖期的冷、暖幅度稍有不同。此外，重建序列 19 世纪前半叶反映的是一个暖期，而不是弱的冷期；1901—1907 年同为相对的暖期，但青海高原上暖的幅度明显大于全国，然而 20 世纪 40 年代的暖期高原上又没有全国那么突出。近 100

年来全球升温是一个不争的事实, 根据王绍武等^[6] 1880—1989年中国年平均气温序列的计算, 其升温率为 $0.37^{\circ}\text{C}/100\text{a}$, 低于全球平均的 $0.5\sim 0.6^{\circ}\text{C}/100\text{a}$, 而青海高原同期年平均气温的升温率为 $0.13^{\circ}\text{C}/100\text{a}$, 年平均气温的升温率远低于全国和全球。

与吴祥定^[17] 利用西藏 10 个表征年平均气温的树木年轮年表重建的 1512—1975 年西藏年平均气温序列相比较, 青海高原年平均气温序列主要冷、暖期出现的位相和主要冷、暖期的冷、暖幅度与西藏年平均气温的变化一致。尤其是与西藏南部和横断山区年轮序列表征的气温变化极为相似, 1900 年前后为明显的暖期, 且暖的程度明显高于 20 世纪 40 年代。我国陕西秦岭地区^[17~20] 树轮资料表征的初春和夏季 7 月温度序列, 虽然重建的时段不同, 但其变化特征与本文序列相似。

5 结语

本文通过对分布在青海高原不同区域的多条年轮指数和青海高原气温的统计分析, 尝试了利用多条年轮指数重建青海高原年平均气温的途径和方法, 重建了近 250 年的年平均气温序列, 得到较合理的结果。分析表明: 高原上树轮年表与气温存在较好的对应关系, 气温是年轮变化的主要控制因子之一, 年表更多地反映了最低气温的变化; 3 种树轮年表(标准化年表、差值年表及自回归年表)中, 差值年表(RES)对气温变化的反映最好。树木的生长受到多种环境因素的综合影响, 气温的影响只是一个方面。本文气温序列 1900 年前后的明显暖期, 分析其原因可能与此阶段气候相对湿度^[21, 22], 温暖湿润的环境条件有利于树木生长形成较宽的年轮有关。

参考文献

- [1] 汤懋苍, 李存强. 关于青藏高原是气候变化启动区的分析事实[C]. 中国青藏高原研究会第一届学术讨论会论文集. 北京: 科学出版社, 1992. 42-48
- [2] 秦宁生, 邵雪梅, 时兴合等. 青南高原树轮年表的建立及与气候要素的关系[J]. 高原气象, 2003, 22(5): 445-449
- [3] 唐佑民, 柳又春. 我国西部温度和树轮的关系及转移函数[J]. 南京气象学院学报, 1991, 14(4): 539-544
- [4] 汪青春, 周陆生, 秦宁生等. 利用乌兰树木年轮重建托托河冬季气温序列[J]. 高原气象, 2003, 22(5): 518-523
- [5] 秦宁生, 邵雪梅, 靳立亚等. 青海南部高原圆柏树轮指示的近 500 年来气候变化[J]. 科学通报, 2003, 48(19): 2068-2072
- [6] 周陆生, 汪青春. 青海湖流域全新世以来气候变化的初步探讨[C]. 中国西北干旱气候研究. 北京: 气象出版社, 1997. 20-25
- [7] 康兴成, 张其花, Lisa J Qraumich 等. 利用树轮资料重建青海都兰地区过去 1835 年的气候变化[J]. 冰川冻土, 2000, 22(1): 65-72
- [8] 吴祥定, 孙力, 湛绪志. 利用树木年轮资料重建西藏中部过去气候的初步尝试[J]. 地理学报, 1989, 44(3): 334-341
- [9] 王亚军, 陈发虎, 刁晓华等. 祁连山中部树木年轮宽度与气候因子的响应关系及气候重建[J]. 中国沙漠, 2001, 21(2): 135-140
- [10] 康兴成, L J Graumlich, P R Sheppard. 青海都兰地区 1835 年来的气候变化—来自树轮资料[J]. 第四纪研究, 1997, 17(1): 70-75
- [11] 卓正大, 朗双熙, 张先恭等. 祁连山地区树木年轮与我国近千年(1059—1975)的气候变化[J]. 兰州大学学报, 1978, (2): 145-157
- [12] 王玉玺, 刘光远, 张先恭等. 祁连山圆柏年轮与我国近千年气候变化和冰川进展的关系[J]. 科学通报, 1982, 27(21): 1316-1319
- [13] 杨保, 康兴成, 施雅风. 近 2000 年都兰树轮 10 年尺度的气候变化及其与中国其它地区温度代用资料的比较[J]. 地理科学, 2000, 20(8): 397-401
- [14] 朱西德, 秦宁生, 李栋梁等. 利用树木年轮重建柴达木地区 5~6 月地温[J]. 高原气象, 2005, 24(3): 331-337
- [15] 刁晓华, 陈发虎, 王亚军等. 利用树轮宽度重建近 280a 来祁连山东部地区的春季降水[J]. 冰川冻土, 2001, 23(3): 292-296
- [16] 王绍武, 叶瑾琳, 龚道溢等. 近百年中国年平均气温序列的建立[J]. 应用气象学报, 1998, 9(4): 392-401
- [17] 吴祥定编著. 树木年轮与气候变化[M]. 北京: 气象出版社, 1990. 238-250
- [18] 刘洪滨, 邵雪梅. 采用树轮年表重建秦岭地区历史时期初春温度变化[C]. 新世纪气象科技创新与大气科学发展——气候系统与气候变化. 北京: 科学出版社, 2003. 295-298
- [19] 刘禹, 吴祥定. 黄陵树木年轮稳定 C 位素与气候变化[J]. 中国科学(D 辑), 1996, 26(2): 125-130
- [20] 刘洪滨, 邵雪梅. 利用秦岭杉年轮宽度重建陕西镇安 1755 年以来的初春温度[J]. 气象学报, 2000, 58(2): 223-233
- [21] 张志华, 吴祥定, 李骥. 利用树木年轮资料重建新疆天山 300 多年来干旱日数的变化[J]. 应用气象学报, 1996, 6(1): 239-242
- [22] 邵雪梅, 刘洪滨, 黄磊等. 青海柴达木东北部近千年降水变化及其特征分析[C]. 新世纪气象科技创新与大气科学发展——气候系统与气候变化. 北京: 科学出版社, 2003. 265-267

Annual Mean Surface Air Temperature over Qinghai Plateau in Recent 250 Years Reestablished Using Data of Multi Piece Tree Ring

WANG Qing chun¹, QIN Ning sheng¹, LI Dong liang²,
SHI Xing he¹, WANG Zhen yu¹, LI Lin¹, ZHU Xi de¹

(1. *Qinghai Provincial Climate Data Center, Xining 810001, China*; 2. *Cold and Arid Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China*)

Abstract: Through the statistic analyses of temperature and multi piece tree ring chronology in different regions over Qinghai Plateau, the method and way of annual mean surface air temperature reestablished by multi piece tree ring chronology over Qinghai Plateau are discussed. It is found that the air temperature and tree ring chronology have a good corresponding relationship, the air temperature is one of main controlling factors of the tree ring change, especially the chronology can reflect the change of minimum temperature. the difference chronology in the tree ring chronology is the best one to reflect temperature change. By using the data of six tree rings chronology, annual mean surface air temperature sequences over Qinghai Plateau in recent 250 years are reestablished.

Key words: Qinghai Plateau; Tree ring; Climate change