

采用青海两个树木年轮年表重建 局地过去降水的初步分析

张志华

吴祥定

(中国气象科学研究院)

(中国科学院地理研究所)

提 要

本文依据青海乌兰、班玛两个经过精确定年的树木年轮年表,通过响应函数计算,求得逐月的气候因素对轮宽生长的贡献。在贡献显著的时区内,经由相关计算确立最佳重建时段,选取预报因子,再用逐步回归方法建立方程来重建过去气候。分析表明在重建时段内的两地降水变化,均有明显的多雨期和少雨期,同时存在显著的周期现象。

一、引 言

树木年轮气候学,旨在利用树木年轮变异获取气候变化代用资料,重建过去局地气候。近年来,树木年轮气候学研究取得迅速进展,已在世界范围内成为研究历史气候的重要途径之一。

在我国,亦有相当数量的研究成果,表明许多地区树木年轮气候学研究的巨大潜力和树木年轮资料的可靠性^[1-3]。同时应该指出,在重建过去气候的过程中,在考虑树木生长对气候要素响应时,往往客观的定量化判别不够。为更有效地进行气候重建,本文以青海省境内两个树木年轮年表为例,尝试更客观地重建局地过去降水变化。

二、资 料

青海乌兰、班玛两地树木年轮样本分别为1986年和1988年采集的。定年、读数和年表研制工作是1989年徐瑞珍同志在美国亚利桑那大学树木年轮实验室完成的,年表制作时利用了修匀样条函数以最大限度地滤去树木生理特征和群体竞争等非气候上的响应^[4]。

(1)样点概况:采样林区附近气候概况如表1所示。乌兰林场位于距县城东部约20公里处,采样点地处U形准南北向山谷,谷底为一常年溪流,样本从两侧山坡中上部取得,平均高度为3200米,属温凉干旱农牧气候区,自然景观大多为半荒漠。班玛属寒温湿润牧业气候区,自然景观为森林、草甸。采样地玛可河林场位于县城东南毗邻四川边界,样本从东坡上部取得,平均高度为3950米。

表1 采样点所在县气候基本数据

采样地	经度(°E)	纬度(°N)	高度(m)	年平均气温(°C)	年总降水(mm)	年平均湿润系数	年相关湿度%
乌兰	98.5	36.9	2950	3.2	188	0.20	41
班玛	100.8	32.9	3750	2.5	652	0.90	60

(2)年表概况:这两个树轮年表的树种、序列长度、自相关系数、标准偏差和平均敏感度,分别列于表2。需要强调的是自相关系数反映树木生长过程中生理学上的延续性,由表2可看出乌兰圆柏的这种延续效应,包括落后1年、2年和3年,均小于班玛云杉。而乌兰年表序列的标准差和平均敏感度均大于班玛年表序列,表明乌兰圆柏轮宽生长对环境因子的响应及其序列的年际变化均要大于班玛云杉。

表2 树轮年表信息

采样地	树种	序列长度	自相关系数			标准偏差	平均敏感度
			-1	-2	-3		
乌兰	圆柏	1163~1985年	0.55	0.45	0.33	0.045	0.162
班玛	云杉	1721~1987年	0.69	0.59	0.45	0.040	0.128

三、气候重建

用树木年轮资料重建过去气候,主要是参照树木的基本生理特性和生态环境因素,通过统计手段分析气候因子对轮宽生长的贡献大小,确定合理的气候重建因子,用回归方法建立气候因子和轮宽指数的转换方程。

1. 响应函数*

响应函数是通过对标准化气候资料的主分量分析定量地表示出所选各月的气温和降水分别对轮宽生长的贡献大小^[5,6]。

考虑到树木生长存在着生理上的延续性,在建立轮宽和气候因子的响应函数时引入前期树木生长的因子,通常选取落后1~3年的前期生长。

* 本文响应函数计算程序是美国亚利桑那大学树木年轮实验室提供的。

树木生长对于气候和前期生长的响应函数基本方程可表达为一矩阵形式:

$${}_1Y_n = {}_1A_i T_n + {}_1B_j P_n + {}_1C_k G_n \quad (1)$$

${}_1Y_n$ 为 n 年的年轮指数的估计值, T_n 、 P_n 和 G_n 为经过正交化变换的逐月气温、降水值和树木前期生长量矩阵。 ${}_1A_i$ 、 ${}_1B_j$ 、 ${}_1C_k$ 为响应函数行矩阵, i 、 j 、 k 分别为气温、降水和前期生长的因子数。

将方程(1)写成:
$${}_1Y_n = {}_1T_m F_n \quad (2)$$

回归方程表达式为:
$${}_1Y_n = {}_1R_p X_n = {}_1R_p E_m F_n \quad (3)$$

${}_1R_p$ 为所选入的显著回归因子, x_n 为气象因子和前期生长量的要素场, E_m 为特征向量矩阵, F_n 为归一化的气象因子和前期生长。

因此响应函数为:

$${}_1T_m = {}_1R_p E_m \quad (4)$$

响应函数 ${}_1T_m$ 的信度从对称矩阵 ${}_mS_m$ 中的对角线上元素乘以相应自由度的 F 值开平方得到。

$${}_mS_m = {}_mE_p U_p U_p E_m' \quad (5)$$

这里, U_p 的对角线上元素为行矩阵 ${}_1R_p$ 中元素的标准差值。

采用响应函数来确定气候因子的贡献大小要优于简单相关和逐步多元回归方法。简单相关分析不能独立地确定气候因子的贡献大小, 而逐步多元回归则有可能破坏选入气候因子的连续性, 响应函数则在某种程度上克服了上述两种缺陷。

在以年轮指数与气候资料求取响应函数时, 首先须考虑气候上的一致性, 因此选择气象台站资料时, 力求气象站点和采样点同属一气候区, 且距离较近, 同时还须考虑到应选择气候资料长的台站以保证响应函数的稳定性。综上因素我们对乌兰年轮资料选取了距样点 50 公里的茶卡气象台资料。茶卡台站和乌兰样点属同一气候生态区, 有较大的一致性。班玛样点位于青海省和四川省的边界, 虽然班玛气象站距样点较四川省阿坝气象站近, 但班玛只有 20 年的气象资料, 用此资料和年轮指数作响应函数, 以及建立回归方程, 存在有样本量不足而引起统计学上的不稳定。考虑到采样点和阿坝站属同一气候区, 因此我们还是选取了距采样点 60 公里的阿坝气象站的资料来计算。

在确定求取响应函数的气象因子数时, 应考虑观测资料的长度, 茶卡和阿坝两站和年轮序列相对应的资料约 30 年左右, 在满足统计稳定的前提下我们尽可能多地考虑前期气候因子对年轮生长的作用。本文选用了生长期结束的 8 月至上一年的 11 月共 10 个月的平均气温和月降水量作为 20 个气候因子, 连同 3 个前期生长因子, 总的因子数计 23 个, 即:

$$i + j + k = 23$$

求取的响应函数如图 1 所示。

图中横坐标为前年 11 月到当年 8 月的温度和降水及落后 1~3 年的前期生长, 纵坐标为响应函数值, 大于零或小于零分别表示正响应和负响应, 纵向区域为其 95% 的置信限。在置信范围内显著正响应或负响应的显著因子用 * 标出。

图 1(a) 为茶卡气候要素对乌兰年轮序列的响应函数。从逐月的温度响应情况来看,

轮宽生长大多呈负相关,这大致反映了高寒区圆柏属喜凉树种的某些特征。5月为春材生长之初,此时温度高对树木形成层的活动有一触发作用,故此温度呈正响应,而6月份则是生长旺季,此时温度高常使降水偏少而导致树木内水分匮乏,影响树木生长。降水对树木生长大致为正响应,这和干旱地区树木对水分的要求相对应,特别是春材形成期的4~6月,7月属多雨时期,此时在树木生长水分满足的前提下,降水的多寡并无多大影响,呈负响应是因为降水多使温湿条件配合不良而引起的。

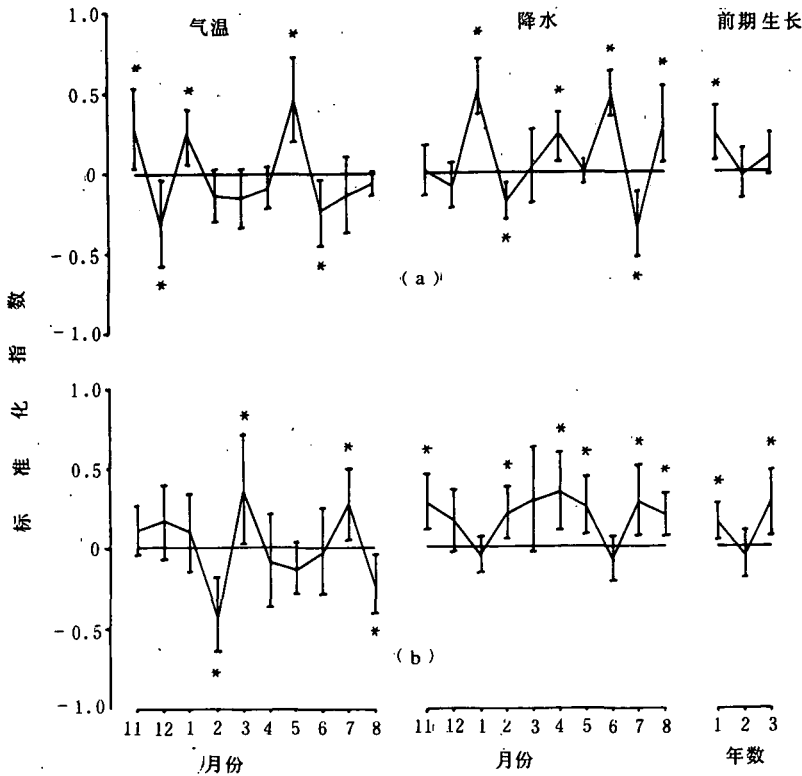


图 1 (a)乌兰响应函数 (b)班玛响应函数

图 1(b)为班玛年轮序列对阿坝气候要素的响应,就温度而言响应不甚明显,这和树种生理性质以及环境因子有关。班玛采样点位于东坡上侧,坡面较平坦,森林生态属郁密林况,树林的群体效应好,群体生态结构和地形小气候对气温有明显的调节和缓冲作用。班玛虽属高原降水较多的地区,但采样地由于地形环境和日照充沛而使该地的蒸腾和蒸发损失的水分较多,使班玛云杉生长对降水的需求得不到充分满足,因而降水对轮宽指数的响应多为显著正值,尤其是云杉生长季的3~8月。

就前期生长而言,两地均显示出与落后1年和3年的年轮指数有明显正响应,表明乌兰圆柏和班玛云杉在生长上有较大的延续性。表3为两地响应函数的计算统计结果,从表中看到,年轮序列和气候资料有着良好的对应关系,和美国西部加利福尼亚州与亚利桑那州的平均统计结果(前期生长解释方差17.4%,气候解释方差48.7%)^[7]及吴祥定等^[8]1989年所得的西藏的平均结果(前期生长解释方差16.06%,气候解释方差61.18%)比

表 3 乌兰、班玛两地响应函数统计结果

年表 序列	总因子数	复相关系数	主分量数	显著因子数	解释方差量%		
					前期生长	气候	合计
乌兰	23	0.981	17	12	16.3	80.0	96.3
班玛	23	0.891	15	12	16.7	54.6	71.3

较,发现青海高寒干旱地区的年轮序列对气候因子的响应指标均高于或相当于其它地方,因此我们认为用青海高寒干旱地区的年轮序列作气候分析是相当可靠和可信的。

2. 确定气候重建因子

通过上面响应函数的计算和初步分析,发现降水因子对年轮指数均有较好的响应,为

表 4 时段降水和年轮序列的相关表

茶 卡		阿 坝	
时段(月)	相关系数*	时段(月)	相关系数*
3~8	0.654	-11~8	0.683
3~7	0.632	-11~7	0.701
3~6	0.713	-12~7	0.672
4~8	0.679	1~8	0.613
4~7	0.662	2~8	0.654
4~6	0.701	3~8	0.671
		1~7	0.625
		2~7	0.632
		3~7	0.643

* 信度水平均达 0.001. 负号表示前一年。

前一年 11 月到当年 7 月的总降水。

3. 重建降水

在利用单点树木年轮序列重建气候要素时,传统的手段是利用线性回归求取转移函数。本文考虑到两年表序列的自相关系数大,树木生长具有明显延续性,为了在回归方程中能减小这种生理学上延续性的影响,我们选取了当年和落后 1~3 年的年轮指数来建立回归方程,通过逐步回归方法,求取预报方程。

为了验证降水重建的可靠性,我们取 1956~1961 年的 6 年资料作为独立验证期,用 1962~1985 年的乌兰年轮指数和 1962~1982 年茶卡降水资料作为重建茶卡春季 3~6 月降水的校准期。用 1962~1987 年班玛年轮指数和 1962~1984 年的阿坝降水资料作为重建阿坝-11~7 月的降水校准期。重建结果见图 2,表 5 为茶卡和阿坝两地降水重建的统计结果。从图 2 和表 5 中看出,实测数据和统计结果的趋势和数值都较相符,缩减误差

选择降水因子作为重建对象提供了理论依据。为了进一步确定降水时段,我们分别对响应良好的降水时段作相关分析如表 4 所示。茶卡 3~6 月的总降水和年表序列相关系数最高达 0.713(样本为 1956~1985 年 30 个相应年轮指数和降水值),这个时段正好代表了春季降水。阿坝前一年 11 月到当年 7 月的总降水和班玛年表序列的相关系数高达 0.701(样本为 1956~1987 年 32 个相应年轮指数和降水值),这时期的降水基本上代表了阿坝冬春夏三季的总降水,也可以认为它反映了阿坝站全年的降水情况。因此本文选择用乌兰年表来重建茶卡 3~6 月的总降水,用班玛年表来重建阿坝

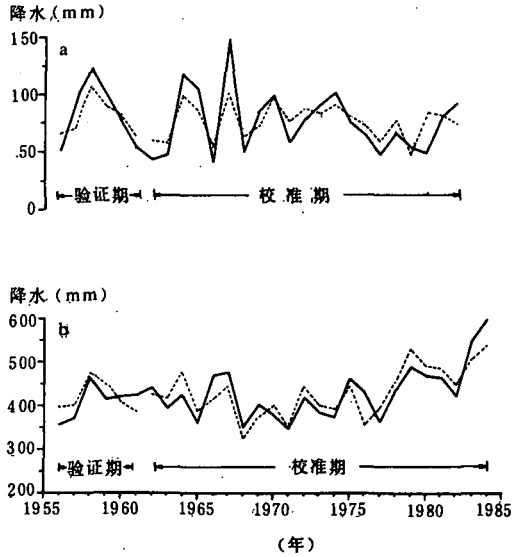


图2 降水重建值和实测值对照 (a)茶卡 (b)阿坝(——表示实测值,.....为重建值)

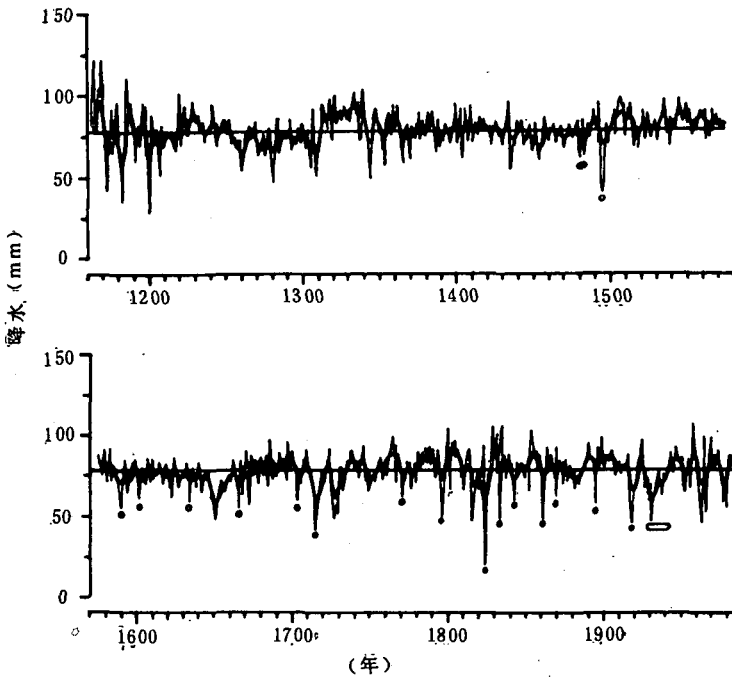


图3 茶卡降水重建值(曲线)和滤波值(平滑线)

$RE^{[5]}$ 是普遍被使用的重建准确性的检验手段,计算得的 RE 值均大于 0.3,同时实测值和重建值相关性达 0.721 和 0.715,均超过 0.001 的信度。参照“500 年旱涝资料”,我们将历史上西北地区的大旱、偏早年份和重建的少雨相吻合的年份,在图 3、图 4 中用小圆和小框记号表示出来。(图 3、图 4 中的折线为重建的降水值,平滑线为低通滤波后的降水重建值,小圆和小框为和“500 年旱涝资料”中的干旱、少雨年份相一致的年份。)从图中可看出

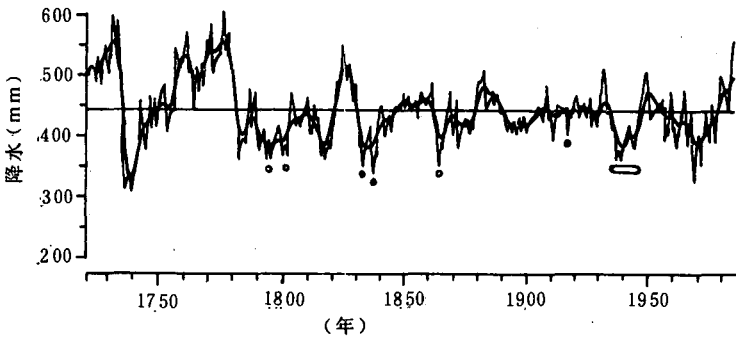


图 4 阿坝降水重建值(曲线)和滤波值(平滑)

表 5 茶卡、阿坝两地重建降水的统计结果

地点	降水 期(月)	相关 系数	平均偏差(mm)		最大偏差(mm)		RE	标准期 (年)	验证期 (年)
			校准期	验证期	校准期	验证期			
茶卡	3~6	0.721	17.6	20.1	52.1	26.2	0.683	1962~1982	1956~1961
阿坝	-11~7	0.715	38.7	42.5	85.3	83.2	0.614	1962~1984	1956~1961

历史上的大旱、偏旱年份基本上被重建出来,故此我们认为重建的效果是较令人满意的。

四、降水变化特征

图 3、图 4 中的平滑线显示了茶卡和阿坝两地的降水趋势。从图 3 中可看出茶卡春季降水的某些基本特征,高于平均降水量的时期为 1209~1253 年,1313~1434 年,1500~1575 年和 1734~1910 年。低于平均降水量的时期为 1253~1313 年,1435~1500 年,1576~1671 年和 1916~1942 年。近 40 年的降水在平均值附近波动。从图 4 中可看出阿坝站上一一年 11 月至当年 7 月的总降水近 50 年来基本上低于平均降水量,最近几年有上升趋势。1846~1934 年 88 年间降水大致在平均值附近波动,1783~1846 年 63 年间的降水除 1821~1830 年高于平均值外均低于平均降水量。1721~1782 年 62 年间除在 1725~1735 年间突出低于平均值约 100 毫米左右,其它年间均显著高于平均值 65 毫米左右。

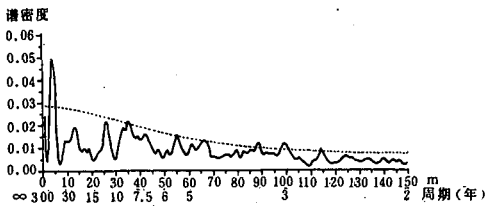


图 5 茶卡降水功率谱图(.....为 95%置信度)

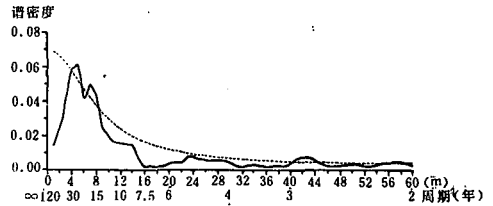


图 6 阿坝降水功率谱图(说明同图 5)

图 5、图 6 分别为重建的茶卡和阿坝降水的功率谱图。经过功率谱分析,可以发现阿坝-11~7 月份降水存在有 24~30,15~17 和 2~3 年的周期,而茶卡春季降水则存在 64~100 年的世纪和半世纪周期和准 8.5 年周期,另外还有些 3~5 年的周期。

五、结 论

本文就乌兰、班玛两地的年表序列,选取距离较近气候上较一致的茶卡、阿坝两地气象实测资料,经过响应函数的计算求取了对树木生长影响最大的气候因子,再参照树木某些生理过程和时段相关的计算,确定了最佳重建时段。统计结果表明,茶卡3~6月降水和乌兰年轮序列以及阿坝-11~7月降水和班玛年轮序列在公共期内有良好的对应关系,同时对照“500年旱涝资料”,发现两地重建降水的少雨年份基本上和历史上西北地区的干旱和偏旱年份相吻合,因此我们认为重建的降水序列是比较合理的。重建结果表明茶卡和阿坝两地的过去降水在均值附近变化且明显地具有周期性。

致谢 本文所用的年表资料是徐瑞珍同志将样品带到美国亚利桑那大学树木年轮实验室进行过再处理,对此表示谢意。

参 考 文 献

- [1] Wu Xiangding, Cheng Zhigang and Sun Li, Status of dendrochronological work in China. *Dendrochronologia*, 5, 123—133, 1987.
- [2] 吴祥定等, 树木年轮与气候变化, 气象出版社, 1990年.
- [3] 徐瑞珍, 天山中部昌吉地区树木年轮与气候要素的关系, 气象科学研究院院刊, 4, 1, 1989.
- [4] Edward, R. Cook and Kenneth Peters, The smoothing spline, *Tree-Ring Bulletin*, 41, 45—53, 1981.
- [5] Fritts, H. C., *Tree Rings and climate*, Academic Press, London, 1976.
- [6] Fritts, H. C., Wu Xiang ding, A comparison between response-function analysis and other regression techniques, *Tree-Ring Bulletin*, 46, 31—46, 1986.
- [7] Graybill, D. A., Chronology development and analysis, *Climate from Tree Rings*, eds. M. K. Hughes et al., 21—28, Cambridge University Press, 1982.
- [8] 吴祥定等, 利用树木年轮资料重建西藏中部过去气候的初步尝试, 地理学报, 44, 3, 334—341, 1989.

UTILIZING TWO QINGHAI TREE-RING CHRONOLOGIES TO RECONSTRUCT AND ANALYZE LOCAL HISTORICAL PRECIPITATION

Zhang Zhihua

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, SMA)

Wu Xiangding

(Institute of Geography, Academia Sinica)

Abstract

In this paper, the two precisely crossdated tree-ring chronologies established in Qinghai Province in Northwestern China were used. The weights of monthly climatic factors to the growth of ring width were obtained by calculating the response function. From these months which had significant weights, the best reconstructing period was set by calculating correlation coefficients between tree ring indices and various combination of season climatic factors. Then we use stepwise multiple regression method to reconstruct the historical climate. By analyzing the two local recon-

structed precipitation series, we discovered that there were obviously wet periods, drought periods and rainfall periodic variation.