

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2010.01.007

利用树木年轮重建马鞍山地区 7~9 月降水量序列

江善虎¹,任立良¹,雍 斌¹,刘 黎²,杨海峰³

(1.河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室,江苏 南京 210098 ;
2.南京大学地理与海洋科学学院,江苏 南京 210093 ;3.内蒙古自治区水文总局,内蒙古 呼和浩特 010010)

摘要 : 利用采自马鞍山地区兴安落叶松(Dahurian Larch)树轮样芯,建立了树轮标准化年表.根据建立的年表,对马鞍山地区树木生长与月降水量进行了响应分析,重建了该地区 1942 年以来 7~9 月降水量序列.检验表明,重建方程稳定,重建序列可信.重建结果显示 : 马鞍山地区 7~9 月降水量有较小的逐年减小趋势 ;1942~1957 年马鞍山地区降水量处在枯水期 ;1957~1989 年马鞍山地区降水量处在丰水期 ;1989 年往后马鞍山地区降水量又出现一个枯水期的变化过程.

关键词 : 树木年轮 ; 降水量 ; 重建序列 ; 马鞍山地区

中图分类号 : P333 文献标识码 : A 文章编号 : 1000-1980(2010)01-0031-05

树木年轮资料以其定年准确、连续性强、分辨率高、与水文要素高度相关等特点^[1],成为获取历史大气降水等水文要素信息、研究水文循环全球变化的重要资料之一.研究树木年轮水文学,对更好地了解和把握过去所发生的水文循环过程具有重要的实际意义.在我国,吴祥定等^[2-4]进行了大量基于树木年轮的气候学、水文学相关研究,并取得了显著成果.但目前研究区域主要集中在青藏高原和西北典型干旱半干旱地区^[5],而在东北基于树轮的相关研究较少.本文利用取自东北老哈河流域马鞍山地区兴安落叶松的树轮宽度资料,建立了该地区树轮标准化年表,根据建立的年表分析了树轮宽度对月降水的响应,重建了该地区 7~9 月份降水量序列,并对重建降水序列的变化特征进行了分析.

1 研究区概况及年表建立

1.1 采样区概况

马鞍山国家森林公园(图 1)位于内蒙古赤峰市喀喇沁旗锦山镇东南 5 km 处,距赤峰市区 50 km.园区地处中温带大陆性季风气候,植被覆盖良好,为原始阔叶林,树种多为椴树、兴安落叶松及麻栗,海拔较高,人类活动影响较小,多年平均气温 6℃,一年中除夏季外其他季节气温偏低.

1.2 树轮资料及年表研制

所用树轮样本采自马鞍山林区中限位置,采样区植被覆盖良好,郁密度较高,与林区植被覆盖情况基本相同,能较好代表林区的植被状况,且采样区为林区重点防护区,树木生长受人类活动影响小.采样时间为 2008 年 8 月,采样区为东北坡,坡度在 20°~30°之间,采样中心点坐标为(118°47'16"E,41°51'50"N),海拔 1 120 m.用生长锥在选定的树木上钻取树芯,所选树木为林区的优势树种兴安落叶松,每株树取 1~2 个树芯,共采集 12 株树 19 个样芯.

依据树木年轮分析的基本程序^[3],对样本进行如下处理 (a)对样芯进行干燥、固定、打磨、交叉定年和轮

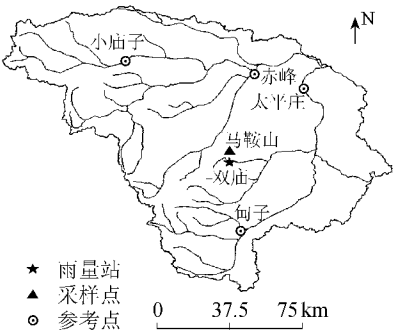


图 1 研究区位置及采样点

Fig. 1 Location of study area and sampling sites for tree rings

宽测量 (b)对测量结果进行合理性检验,除去奇异轮过多或与主序列相关性不好的序列,所得样芯 12 条;(c)采用二次多项式拟合树轮宽度的生长趋势序列^[6]($R^2 = 0.3 \sim 0.45$),剔除遗传因素的影响,计算标准化树轮指数 $I_i(I_i = w_i/y_i)$,其中 w_i 为树轮宽度实测读数, y_i 为拟合的树轮宽度生长值, $i = 1, 2, \dots, n$),对计算出来的树轮指数序列以平均法合成树轮宽度标准化年表,记为 STD_S 。

表 1 为 STD_S 标准化年表的统计特征及公共区间分析结果,反映了树木生长的基本特征以及树轮年表所含不同频率信息量的多少。分析结果表明:马鞍山地区各单株树木径向生长较为一致,是受相似气候因子影响的结果;年表的序列敏感度达 0.41,说明马鞍山地区树木对气候响应较好;序列的信噪比、第一主成分解释方差量等参数,表明所建立的 STD_S 标准化年表包含一定的气象信息,可以用来进行树木年轮水文学研究。

表 1 STD_S 标准化年表的统计特征及公共区间分析结果

Table 1 Statistic characteristics of standardized chronology and results of common interval analysis

主序列	序列敏感度	标准差	一阶自相关系数	信噪比	样本总体代表性	第一主成分解释方差量/%
1942~2007 年	0.41	0.34	0.26	11.67	0.9	43

1.3 降水资料

所用降水资料取自距采样点较近的双庙雨量站,站点坐标为(118°47'E 41°48'N),海拔 800 m。选用 1970~2005 年共 36 a 逐月降水量,对降水资料的可靠性及一致性检验表明,选用的月降水量资料能够较好地满足可靠性和一致性要求,可以用来代表当地自然降水的变化情况。双庙站 1970~2005 年多年平均降水量为 455 mm,其中 7~9 月份降水量较大,占全年降水量的 60%。考虑到树木生长早晚材情况,采用降水资料为上年 10 月至当年 9 月的月降水量。

2 树轮宽度对水文要素的响应

树木生长与水文要素的响应关系是树木年轮水文学分析的基础,研究树木生长与水文要素之间的线性关系较为常用的方法是相关函数法和响应函数法^[7]。本文采用相关函数法分析树轮年表与月降水的响应关系。月降水量与树轮年表的相关性结果如表 2 所示。从表 2 可以看出,马鞍山地区树轮宽度对月降水既有正响应,也有负响应,且全年以负响应为主。其中:上年 10 月至当年 1 月,树木生长与降水量呈负响应关系,主要响应月份为上年 10 月;当年 2~6 月,树木生长与降水量呈正响应关系,主要响应月份为 6 月,而当年 7~9 月,树木生长与降水量又呈负响应关系,主要响应月份为 7 月和 9 月,分别达 0.01 和 0.05 水平下显著;树木生长对 7 月份的降水量响应最为显著。从树木生理学角度讲,上年 10 月至当年 1 月,马鞍山地区属寒冷季,土壤大面积受冻,这一时期降水更加剧了冻害的发生,抑制了树木的生长发展;2~6 月属兴安落叶松的生长期,这一时期的降水形成的湿润条件能为树木生长提供充足的水分,较好促进树木的生长;而马鞍山地区年降水量相对较为丰沛,7~9 月更占据了全年 60% 以上的降水量,这一时期频繁出现阴雨天气,减小了树木光合作用的有效进行,抑制了树木的生长。

表 2 月降水量与树轮年表的相关性

Table 2 Correlation coefficients between standardized chronology and monthly precipitation data

月份	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R	-0.25	-0.07	-0.05	-0.05	0.14	0.03	0.07	0.05	0.19	-0.40**	-0.10	-0.30*

注:*表示达 0.05 水平下显著;* *表示达 0.01 水平下显著。

3 降水量重建方程及检验

3.1 降水量重建方程

通过树轮宽度对月降水量的响应分析,并对比全年各个单月及不同月份组合降水量与树轮宽度指数的响应关系,可知 7~9 月降水量与树轮宽度指数有较好的响应关系,相关系数达 -0.43,达 0.01 水平下显著,且有较好的树木生理学意义,故最终选择重建马鞍山地区 7~9 月降水量。马鞍山地区 7~9 月降水量占年降水量的比例为 60%,与年降水量的相关性达 70%,说明马鞍山地区 7~9 月降水量能较好代表该区域年降水量变化情况。

利用树轮宽度指数重建过去的降水量,需要进行校准分析,建立转换方程.本文采用回归分析法建立树轮宽度指数对降水量的转换方程,通过对不同回归方程 R^2 的比较分析,最终建立马鞍山地区 7~9 月降水量的转换方程为

$$P_{7-9} = 312.9 + 326.1S - 625.2S^2 + 239.5S^3 \quad (R = 0.53, R^2 = 0.28, P < 0.01) \quad (1)$$

式中: P_{7-9} ——马鞍山地区 7~9 月降水量重建值; S ——马鞍山地区兴安落叶松标准化年表值. 在 1970~2005 年校准时段, 方程相关系数为 0.53, 超过 0.01 水平下显著. 比较校准期实测值与重建值(图 2)可以看出, 重建值与实测值有较好的同步性. 2 条曲线拟合较好, 说明重建序列与实测序列较为接近, 得到了较为理想的重建结果. 在重建序列中, 除 1970 年、1980 年、1993 年和 1994 年外, 重建值与实测值都非常接近, 尤其在 2000 年以后, 重建值与实测值基本完全吻合. 个别年份拟合效果较差, 因为影响树木生长的因子并非单一的降水要素, 由于个别年份其他要素对树木生长产生了较大影响, 导致重建值与实测值产生较大的偏差.

3.2 重建方程的检验

进行重建方程的稳定性检验是判断重建方程是否可靠的关键一步. 本文校准期为 36 a, 根据树木年轮重建值检验原则, 采用逐一剔除法对重建方程进行以下检验^[8-9].

a. 误差缩减值(R)检验. 误差缩减值是精确检验估计水文要素重建值可靠性的统计量, 其取值范围为 $-\infty \sim 1$, 一般认为 $R > 0$ 就通过了检验, $R > 0.3$ 就较好地通过了检验. R 计算公式为

$$R = 1 - \frac{\sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y})(\hat{y}_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y})^2} \quad (2)$$

式中: $\hat{y}_i, y_i$ ——校准期重建值和实际观测值; $\bar{y}$ —— y_i 在校准期内的平均值. 计算得重建方程的 $R = 0.7 > 0.3$, 说明重建方程是可靠的.

b. 符号检验. 符号检验通过计算重建值与实测值的距平符号相同或不相同的对应次数进行检验, 分为原始值符号检验和一阶差符号检验, 两者分别对应重建值与实测值在低频变化和高频变化上的一致性. 在 36 a 校准期内, 原始值检验同号年数占总年数比例为 24/36, 接近 0.05 水平显著; 一阶差值检验同号年数占总年数比例为 29/35, 超过 0.01 水平显著. 这说明两序列在低频及高频变化上都有较好的一致性, 高频上更优.

c. 参数检验. 校准期 7~9 月实测降水量多年平均值为 267.26 mm, 标准差为 87, 变异系数为 0.32, 而重建结果平均值为 267.26 mm, 标准差为 46, 变异系数为 0.17. 此外, 历年的重建降水量平均值为 265.9 mm, 标准差为 47, 变异系数为 0.18. 重建结果的变异系数较实测值的变异系数小, 说明重建结果的平均值是稳定的^[8], 从而重建方程也是稳定的.

以上检验结果表明, 重建方程是稳定、可靠的, 重建降水序列是可信的.

4 降水量重建及变化特征分析

根据建立的转换方程, 重建了马鞍山地区 1942 年以来 7~9 月的降水量序列, 如图 3 所示. 从图 3 可以看出, 马鞍山地区 7~9 月的降水量多年变化较为平缓, 1942 年以来 7~9 月的降水量

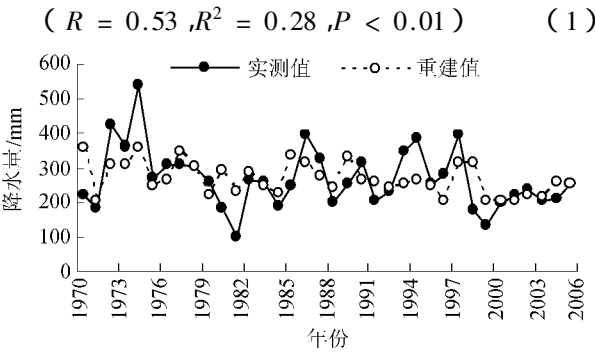


图 2 校准期(1970~2005 年) 7~9 月降水量重建值与实测值的对比
Fig. 2 Comparison between reconstructed and observed precipitation from July to September during datum period (1970—2005)

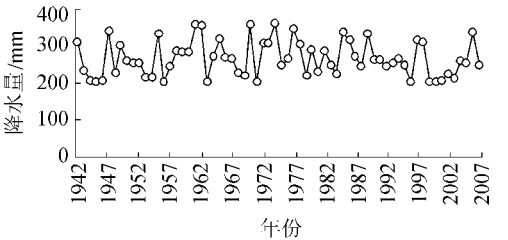


图 3 马鞍山地区 7~9 月降水量重建序列
Fig. 3 Reconstructed precipitation series for Ma'an Mountain area from July to September

多年平均值为 266 mm.

4.1 降水量的变化趋势分析

引进气象要素的时间序列法,通过计算重建降水序列的变化倾向率进一步定量分析其变化趋势^[10].计算得马鞍山地区 7~9 月重建降水量变化倾向率为 -0.1 mm/a ,可见马鞍山地区多年降水量较为稳定,有较小的逐年减小趋势.

4.2 降水量的干湿变化分析

降水量模比离差系数累积曲线^[11-12]能较好地反映降水年际间的丰枯变化情况.马鞍山地区 7~9 月重建降水量模比离差系数累积曲线如图 4 所示.从图 4 可知:1942~1957 年降水量的模比离差系数累积曲线处在一个较小波动下降过程,说明此段年份马鞍山地区降水处在枯水期;1957~1989 年曲线出现一个较小波动上升过程,说明此段年份马鞍山地区降水处在丰水期,而 1989 年往后曲线又出现一个较小波动下降过程,说明此段年份马鞍山地区降水量又出现一个枯水期的变化过程.

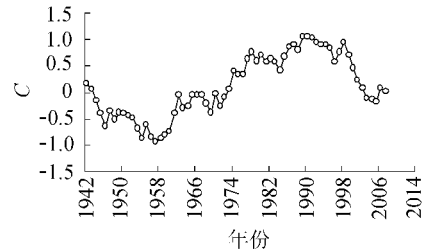


图4 重建降水量模比离差系数累积曲线

Fig. 4 Accumulated curves for variation coefficients of modulus ratio of reconstructed precipitation

5 结 论

本文利用采自马鞍山地区的兴安落叶松树轮资料,建立了树轮标准化年表,并与月降水量进行响应分析,重建了马鞍山地区 1942 年以来 7~9 月降水量序列,进而对重建降水序列进行了变化特征分析.主要结论如下:

a. 马鞍山地区兴安落叶松的生长,对 2~6 月降水表现出正响应,其中 6 月响应系数为 0.19;对 7~9 月降水量表现出显著的负响应,其中 7 月负响应系数为 0.4,达 0.01 水平下显著;结合马鞍山地区气候条件及兴安落叶松的生长特性,分析建立的树轮年表有较好的树木生理学意义.

b. 利用建立的兴安落叶松树轮标准年表,重建了马鞍山地区 7~9 月降水量序列,检验结果表明,所得重建方程是稳定可靠的,重建结果是可信的.

c. 马鞍山地区降水量多年变化较为稳定,有较小的逐年减小趋势;1942~1957 年马鞍山地区降水量处在枯水期;1957~1989 年马鞍山地区降水量处在丰水期;1989 年往后马鞍山地区降水量又出现一个枯水期的变化过程.

参考文献:

- [1] 王劲松,李金豹,陈发虎,等.树轮宽度记录的天山东段近 200 a 干湿变化[J].冰川冻土,2007,29(2):209-216.(WANG Jin-song,LI Jin-bao,CHEN Fa-hu,et al. Variation of the dryness in the recent 200 a derived from tree-rings width records in the East Tianshan Mountain[J]. Journal of Glaciology and Geocryology 2007,29(2):209-216.(in Chinese))
- [2] 吴祥定.树木年轮与气候变化[M].北京:气象出版社,1990.
- [3] 李江风,袁玉江,由希尧.树木年轮水文学研究与应用[M].北京:科学出版社,2000.
- [4] 袁玉江,李江风,胡汝骥,等.用树木年轮重建天山中部近 350 a 来的降水量[J].冰川冻土,2001,23(1):34-40.(YUAN Ru-jiang,LI Jiang-fen,HU Ru-ji,et al. Reconstruction of precipitation in the recent 350 a from tree-rings in the middle tianshan mountains [J]. Journal of Glaciology and Geocryology 2001,23(1):34-40.(in Chinese))
- [5] 魏本勇,李亚南,严晓丹,等.利用树木年轮重建小五台山地区 1895 年以来 2~5 月份的降水量[J].北京师范大学学报:自然科学版,2008,44(1):96-102.(WEI Ben-yong,LI Ya-nan,YAN Xiao-dan,et al. Estimation of February-May precipitation from tree-ring in Xiaowutai Mountain region from 1890 onward[J]. Journal of Beijing Normal University: Natural Science 2008,44(1):96-102.(in Chinese))
- [6] 赵西平,郭明辉,关鑫.人工林落叶松生长轮宽度年表的建立[J].东北林业大学学报,2007,35(3):7-9.(ZHAO Xi-pin,GUO Ming-hui,GUAN Xin. Tree-ring width chronologies of Larix gmelinii Plantations[J]. Journal of Northeast Forestry University,2007,35(3):7-9.(in Chinese))
- [7] 王云霞,陆兆华,苏宏新,等.天山云杉树木年轮宽度对气候因子变化的响应[J].中国矿业大学学报,2007,36(2):251-256.(WANG Yun-xia,LU Zhao-hua,SU Hong-xin,et al. Response analysis between tree-ring widths and climatic factors along different

regions in Tianshan Mountains Northwestern China[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2007, 36(2):251-256.(in Chinese))

[8] 范敏杰,袁玉江,魏文寿.用树木年轮重建伊犁南天山北坡西部的降水量序列[J].干旱区地理,2007,30(2):268-273.(FAN Min-jie, YUAN Yu-jiang, WEI Wen-shou. Reconstruction of precipitation series from tree-rings at the northern slopes of south Tianshan Mountains of Yili prefecture[J]. Arid Land Geography, 2007, 30(2):268-273.(in Chinese))

[9] 张同文,袁玉江,喻树龙,等.树木年轮重建阿勒泰西部 1481~2004 年 6~9 月降水量序列[J].冰川冻土,2008,30(4):65-72.(ZHANG Tong-wen, Yuan Yu-jiang, YU Shu-long et al. June to September precipitation series of 1481-2004 reconstructed from tree-ring in the Western Region of Altay Prefecture, Xinjiang[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2008, 30(4):65-72.(in Chinese))

[10] 李捷,夏自强,郭丽丹,等.额尔齐斯河流域气候特征及变化趋势分析[J].河海大学学报:自然科学版,2008,36(3):311-315.(LI Jie, XIA Zi-qiang, Guo Li-dan et al. Characteristics and trends of change in the climate of the Irtysh River Basin[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2008, 36(3):311-315.(in Chinese))

[11] 孙振华,冯绍元,杨忠山,等.1950~2005 年北京市降水特征初步分析[J].灌溉排水学报,2007,26(2):12-16.(SUN Zhen-hua, FENG Shao-yuan, YANG Zhong-shan et al. Primary analysis of the precipitation characteristics for Beijing during the period from 1950 to 2005[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2007, 26(2):12-16.(in Chinese))

[12] 江善虎,任立良,雍斌,等.老哈河流域降水变化特征分析[J].水电能源科学,2009,27(1):1-4.(JIANG Shan-hu, REN Li-liang, YONG Bin et al. Analysis of precipitation change in characteristic of Laoha River Basin[J]. Water Resources and Power, 2009, 27(1):1-4.(in Chinese))

Reconstruction of precipitation series for Ma 'an Mountain area from July to September using tree rings

JIANG Shan-hu¹, REN Li-liang¹, YONG Bin¹, LIU Li², YANG Hai-feng³

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China ;

2. School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China ;

3. Bureau of Hydrology, Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot 010010, China)

Abstract : The standardized tree-ring chronology was established using the tree-ring cores of Dahurian Larch sampled from the Ma 'an Mountain area. Based on the standardized chronology, response analysis between the tree growth and monthly precipitation in the Ma 'an Mountain area was performed. The precipitation series in this area from July to September since 1942 was reconstructed. The results show that the equation for the reconstruction of the precipitation series is stable and the reconstruction sequence is reliable. The precipitation in the area from July to September has a slightly decreasing trend year by year. The test results also exhibit two dry periods(1942-1957 and 1989-2007) and a rainy period(1957-1989) in the Ma 'an Mountain area.

Key words : tree ring ; precipitation ; reconstruction of series ; Ma 'an Mountain area