

树轮记录的贺兰山区近百年来的干旱事件

张永香¹, 勾晓华^{1*}, 胡文东^{2,3}, 彭剑峰¹, 刘普幸^{1,4}

(1. 兰州大学中德干旱环境研究中心, 兰州大学西部环境教育部重点实验室, 兰州 730000; 2. 宁夏气象防灾减灾重点实验室, 宁夏 银川 750002; 3. 宁夏气象台, 宁夏 银川 750002; 4. 西北师范大学地理与环境科学学院, 兰州 730070)

摘要:利用采自东亚夏季风最北缘、地处干旱-半干旱地区的贺兰山区的树轮样芯,建立了贺兰山地区最近 93 年来的树轮宽度年表。与气象观测记录的相关分析结果表明,降水是限制贺兰山区树木生长的主要因素,其中 5~7 月份的降水与树轮宽度呈显著正相关关系,相关系数为 0.522(通过 95% 的信度检验)。在贺兰山的树轮宽度记录中有两个主要的低生长期即 20 世纪 20 年代和 70 年代末到 90 年代末,这两个低生长期均与该区域的干旱事件相对应。通过分析还发现在干旱事件中不仅出现低降水而且同时与高温相伴。也就是说在干旱时期内,高温和低降水的水热组合对树木影响十分显著,从而由单纯降水减少变为一种低降水高蒸发的环境,加剧了气候的干旱程度从而使树木生长出现低的生长期,形成窄轮。这种水热组合引起树轮宽度的变化对于理解过去干旱事件及其过程具有重要意义。

关键词:树轮宽度记录; 贺兰山; 干旱事件; 低生长期

文章编号:1000-0933(2005)08-2121-06 中图分类号:P935.1,Q948.112 文献标识码:A

The drought events recorded in tree ring width in Helan Mt. over past 100 years

ZHANG Yong-Xiang¹, GOU Xiao-Hua^{1*}, HU Wen-Dong^{2,3}, PENG Jian-Feng¹, LIU Pu-Xing^{1,4} (1. Center for Arid Environment and Paleoclimate Research, Key Laboratory of Western China's Environment Systems MOE., Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 2. Ningxia Key Laboratory of Preventing and Reducing Meteorological Disaster, Yinchuan 750002, China; 3. Ningxia Meteorological Observatory, Yinchuan 750002, China; 4. College of Geography & Environment Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(8): 2121~2126.

Abstract: Tree ring cores of spruce (*Picea crassifolia*) were taken from Helan Mt., which is the boundary of the monsoon areas and westerly, and also the margin of the arid and semi-arid China with a climate that is transitional between temperate monsoon and continental and mountain, were used to construct a 93 year width chronology. All statistic characters indicate the chronology is stable and must record some certain environmental factors. It should be one of the important proxies to study this sensitive region of margin arid and semi-arid. In order to understand what had happened at there during past hundred years, the follow analyses were undertaken.

The correlation analysis of chronology and meteorological records shows that there are good relations between the tree ring width and precipitation, especially the total precipitation of May, June and July. The positive relationship (0.522*, over the 95% confidence lever) means that if there are good precipitation during this period trees will form wide rings, vice versa. The traditional explanation from the ecology considers that this period (May-July) is the important time for trees to form a new ring, meanwhile precipitation of study area is the key control factor of the growth of most vegetation in the study area. Good

基金项目:基础研究重点规划资助项目(G2000048701);国家自然科学基金资助项目(40201049,40125001);国家自然科学基金创新群体资助项目(40421101)

收稿日期:2004-05-21; **修订日期:**2005-03-25

作者简介:张永香(1980~),女,宁夏人,硕士生,主要从事树轮气候学和古气候变化研究. E-mail: zhangyxian02@st.lzu.edu.cn

* **通讯作者** Author for correspondence. E-mail: xhgou@lzu.edu.cn

致谢:感谢贺兰山自然保护区吕海军等同志们的帮助,王君波、李金豹等同志参加了野外采样工作,在此一并致谢。

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (No. 40201049; 40125001) and the innovation team of the National Natural Science Foundation of China (No. 40421101)

Received date: 2004-05-21; **Accepted date:** 2005-04-10

Biography: ZHANG Yong-Xiang, Master, mainly engaged in dendroclimatology and paleoclimate. E-mail: zhangyxian02@st.lzu.edu.cn

rainfall situation in this time is convenient to form a wide ring, vice versa. There are two low growth periods in tree ring record during past 93 year. After comparing the weather data quoted from weather stations and proxy data, the finding is that the low growth periods always have a combination of high temperature and low precipitation during the drought period. This situation will be a key control factor which due to the low growth period of trees. It will provide an important way to understand the drought events in history.

Key words: tree ring width record; Helan Mt.; drought event; low growth

作为一种分辨率高(年或季节)、记录连续性好和重建精度较高代用资料,树木年轮已经成为全球变化研究中获取过去气候环境演变数据的重要方法之一^[1~4]。在中国西北地区,气象资料有限的情况下,高分辨率的树轮资料对于理解和探讨过去气候环境变化无疑具有不可替代的作用。贺兰山位于东亚夏季风最北缘、干旱-半干旱地区,地处我国北方环境敏感带中部,对过去气候变化反应敏感。另外,该区域又是中国重要的农牧交错带,对于环境变化较为敏感^[5,6]。在这一区域展开树轮研究将有利于更好地理解区域的气候演变趋势及对生态环境的承受能力进行科学的预测。目前,刘禹等已经利用树轮晚材宽度和同位素指标重建了区域的气温和降水^[5,7~9],但是树轮总宽度究竟记录了什么并没有定论。因此,利用采自贺兰山区受人类活动干扰较少的原始林的树轮资料分析了该问题,并指出过去 100 多年来该区域干旱事件中的水热组合状况。

1 采样点采集和年表建立

研究所用的青海云杉(*Picea crassifolia* Kom.)树轮样芯采自位于的贺兰山西坡(图 1)的南寺沟(38°38'N,105°47'E)。采样点的海拔约为 2500m,是青海云杉分布的上限。由于生境高寒,风力强劲,云杉植株较矮小,分布稀疏,分枝繁多,风口林缘处立木多具旗形树冠。林下较湿润植被好,主要有毛蕊杯腺柳(*Salix cupularis* Rehd.)、鬼箭锦鸡儿(*Caragana jubata* Poir.)等。林下土壤为山地淋溶灰褐土。坡度约为 20~40°。样芯均采自健康立木,共采集 37 根(19 棵树),其中部分采自孤立木。

样芯带回实验室经干燥、固定和打磨(用 600 目砂纸)后,先进行初步年代标注,然后应用树轮研究的基本方法骨架图^[10]进行交叉定年,确保每一生长年轮具有准确的日历年龄之后,在精度为 0.001mm 的 Velmax-1 测宽仪上逐芯逐轮测定年轮宽度。对于量测结果,采用 COFECHA^[11]程序进行交叉定年的质量控制。南寺全部样芯均无缺轮。最终序列由 35 个样芯组成,有 2 根样芯因为是满足序列被剔除。统计特征中各序列与主序列相关系数(*r*)范围为 0.554~0.956,均值 0.765;平均敏感度为 0.314;自相关系数为 0.579,说明该组树木群体受气候因素控制较为强烈,各样本宽度序列对环境变化均比较敏感,当年的树木生长对树木次年的生长影响较小。在准确定年的基础上利用 ARSTAN^[12]程序建立年表,年表长度为 131a,基于树轮学研究的复本原理,选取 5 个样芯作为年表的可靠长度,经取舍之后选用采自 18 棵树的 35 根树芯建立年表,最终年表长度为 93a。图 2 为最终建立的标准年表(STD)、差值年表(RES)。

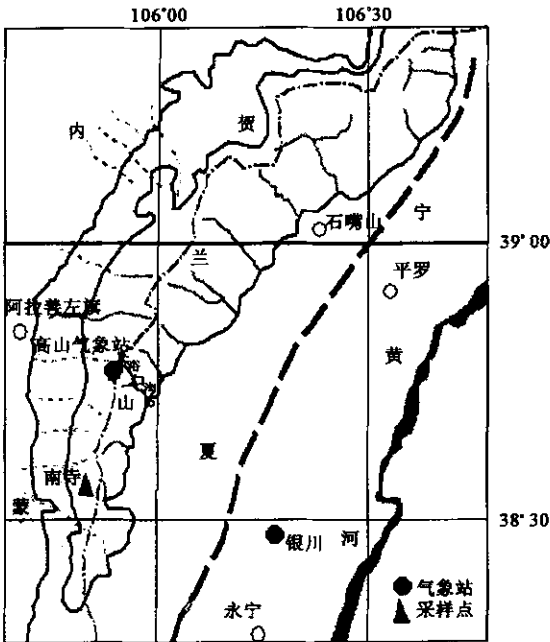


图 1 采样点示意图
Fig. 1 Map of sample site

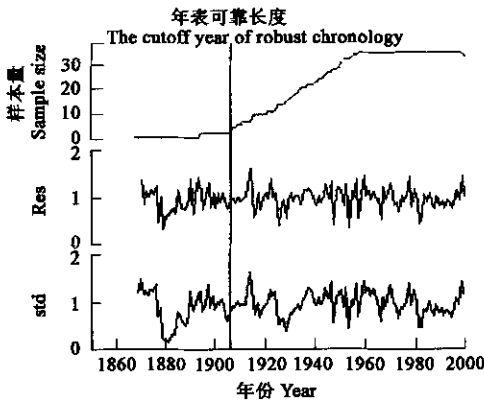


图 2 贺兰山树轮宽度年表
Fig. 2 Width chronologies of Helan Mt.

表 1 南寺树轮宽度年表统计特征

Table 1 The statistics of the width chronology of Nansi					
年表类型 Kind of chronology	均值 Mean	中位数 Median	平均敏感度 M. S.	标准差 S. D.	一阶自回归 a. c.
STD	0.9525	0.9566	0.2514	0.2933	0.4973
RES	0.9861	1.0007	0.2978	0.2464	-0.0373

表 2 南寺树轮宽度 STD 年表和 RES 年表的公共区间分析特征

Table 2 Results of common interval analysis							
年表类型 Kind of chronology	共同区间 Common interval	R1	R2	R3	SNR	EPS	PC1(%)
STD	1952~1997	0.571	0.564	0.779	22.009	0.957	60.00
RES	1952~1997	0.610	0.604	0.794	25.887	0.963	63.45

R1: 所有序列间的平均相关系数 Statistics of mean correlations among all radii; R2: 树与树之间的平均相关系数 Mean correlations between trees; R3: 同株树 2 个芯之间的平均相关系数 Mean correlations within trees; SNR: 信噪比 Signal-to-noise ratio; EPS: 表示样本对总体的解释信号 Radii vs mean; PC1: 第一主分解释释总方差的百分比 Variance in first eigenvector

表 1 为 3 种年表的统计特征值, 其中 RES 年表类型标准差较 STD 小, 平均敏感度较大, 定量说明了 RES 年表保留的高频振荡信息比 STD 为多。表 2 为对年表公共区间进行分析的结果, 其中 R1、R2、R3、SNR、EPS、PC1 等统计量的值越大, 表示序列的共性越强。差值年表序列的各项统计量均高于对应的标准年表。这说明在差值序列中包含较多的高频变化, 样本群体的同步变化主要由气候要素年际间的高频变化造成, 因而 RES 年表比 STD 年表更能代表当地树木的群体变化特征。

2 年表和气象要素的分析

在贺兰山附近分布的气象站有阿左旗气象站、贺兰山高山气象站、银川气象站(表 3)。所有站点的气象资料在使用之前都利用 Mann-Kandell 方法^[13]进行均一性检验, 排除了人为或者仪器原因导致的数据记录的变异。通过分析可知(图 3), 3 个站点多年气温降水变化趋势一致。最后, 选择了距采样点最近的贺兰山高山气象站的资料作为分析数据。

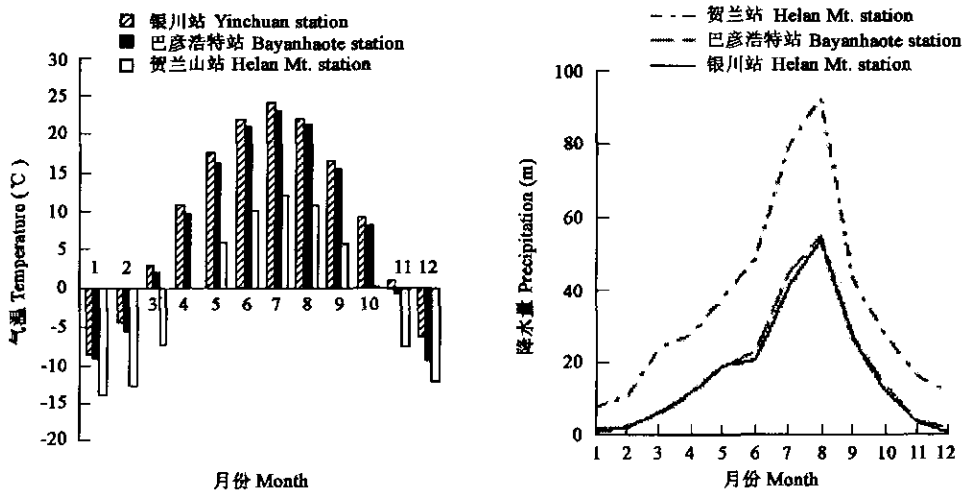


图 3 3 站点气温、降水多年月平均

Fig. 3 Average month temperature and precipitation of three weather stations

表 4 为利用 DendroClim2002 分析软件^[14]对各年表和贺兰山站不同时段降水的相关分析结果, 从表中可以看出, 南寺 RES 年表与 5~7 月份降水的相关系数最高, 呈显著正相关。从树木生理学的角度来说, 贺兰山地处干旱地区, 该地区日照时间充足, 有足够的热量保证, 降水的多寡严重制约着树木的生长, 特别是 5~7 月份蒸发量巨大, 又正是树木的生长时期^[15], 如果降水减少, 缺水会严重影响植物生长。同样, 如果该时期气温升高, 蒸发量就会加大, 树木也会因为缺水而产生较窄的年轮; 反之, 水分充足, 生长条件适宜, 植物代谢速度加快, 从而产生较宽的年轮。因此, 降水为该地区树木生长的主要限制因子。这在该区域利用树轮晚材宽度和同位素指标分析中也有同样的结论^[5~7]。

对贺兰山包含低频信号较多的标准年表作了 5a 滑动平均(图 4)。近百年来, 贺兰山树轮宽度中主要记录了两个重要的低生长期。首先, 低生长期 I 对应于中国北方大部分广泛存^[16]在的 20 世纪的极端干旱事件。据《宁夏水旱自然灾害史料》^[17]记载: “灵武县本年(1928 年)自春至夏点雨未落, ……不惟颗粒无收, 草已无, 不特人民少食, 羊牛马匹饿死大半, ……平罗县第五区依山, 水不能引灌……因之颗粒无收”。宁夏灌溉区在 1928 年“二月间河水低落, 渠高水低, 以至灌溉失期, 夏禾少形受旱, 收成减少”。宁夏的旱灾一直持续到 1931 年初, 这年 3 月 3 日宁夏代电称: “天久不雨, 农田薄收, 民食维艰, 军粮敲通, 硕鼠伤禾, 瘟疫为厉, 饥谨荐臻, 死亡枕籍。全省七十余万人民, 约计三分之一消灭……”都说明了这一时期旱灾的严重性。同梁尔源等^[16]所做的最近 150a 的树轮资料做了对比(图 5)。在树轮记录中可以清楚的看出 20 世纪 20 年代的干旱事件在中国北方分布较广。而

且越向西北和青藏高原区干旱的影响越严重。另外在贺兰山的其他样点的样芯定年的过程中,也发现大部分样品均在 20 世纪 20 年代末期出现大量的缺年。因此这一低生长期是由于干旱引起是毫无争议的。为了搞清楚这一低生长期时的水热组合状况,利用刘禹等^[6,8]重建的贺兰山区近百年来 6~8 月份温度和 5~7 月份降水对比了当时的温度和降水(图 6),可以看出在这段时间内贺兰山区的水热组合是高温低降水。也就是说这一干旱时期同时伴随有异常的高温,从而使得单纯由降水减少变为一种低降水高蒸发的环境,加剧了气候的干旱程度从而使树木生长出现低的生长期,形成窄轮。

表 3 各气象站点的信息详表				
Table 3 The information of three weather stations				
站点 Stations	纬度 Latitude (N)	经度 Longitude (E)	海拔高度 Elevation (m)	资料长度 Years
银川 Yinchuan	38°29'	106°13'	1111.4	1951~2002
贺兰山高山站 Helan Mt.	38°46'	105°54'	2900	1961~1990
巴彦浩特 Bayanhaote	38°50'	105°40'	1561.4	1953~2001

表 4 年表和贺兰山站不同时段降水量的相关分析				
Table 4 The correlation coefficient matrix between monthly precipitation and tree-ring chronology				
降水量 Precipitation	STD	RES	ARS	
春季 Spring	0.326 *	0.341 *	0.257	
夏季 Summer	0.290	0.408 *	0.309	
秋季 Autumn	0.024	-0.029	-0.011	
冬季 Winter	-0.043	-0.125	-0.006	
P3~6	0.357 *	0.450 *	0.341 *	
P4~6	0.330 *	0.437 *	0.325 *	
P5~7	0.309	0.522 *	0.328 *	
P4~9	0.330 *	0.446 *	0.312	
全年 All year	0.347 *	0.391 *	0.329 *	

* 表示此值超过 95% 相关检验的置信区间,其中 STD、RES、ARS 分别为南寺样芯宽度用负指数去趋势所得的 3 种年表;春季指 3~5 月份降水,夏季指 6~8 月份降水,秋季指 9~11 月份降水,冬季指 12~2 月份降水,P5~7 为 5~7 月份总降水,P3~6 为 3~6 月份的总降水,P4~6 为 4~6 月份的总降水,P4~9 为 4~9 月份的总降水 Means the value is significant in significance test with 95% Percentile Range;STD,RES,ARS are the width chronologies of Nansi; spring means the precipitations of March, Apr. and May; summer means the precipitations of Jun., Jul. and August; autumn means the precipitations of Sep., Oct. and Nov.; winter means the precipitations of Dec, Jan. and Feb.; P5~7 means the precipitations from May to Jul. P3~6 means the precipitations from March to Jun.; P4~6 means the precipitations of Apr. to Jun.; P4~9 means the precipitations from Apr. to Sep.; all year means precipitation of a year

在贺兰山树轮宽度记录中可以看出另一个显著的低生长期即 20 世纪 70 年代末到 90 年代末,时间跨度约为 20a 的低生长期,称之为低生长期 II。这一时期也是中国北方相对旱灾较为集中的时段^[18],典型年份如 1978、1986、1988、1989 等。为了追究其形成原因,利用贺兰山高山站的气象资料作了 20 世纪 70 年代到 90 年代的气温降水曲线。由图 7 可见,70 年代以来这一地区的降水呈持续下降趋势,而同期气温则不断上升,同样形成一种高气温低降水的水热组合状况。这种水热组合无疑使得树木在生长过程中,水分条件越来越差。通过对比两个低生长期可以看出,II 较之 I 幅度上稍弱一些。可能是 20 世纪 70 年代以来的升温是在全球变暖的大背景下幅度较缓慢的缘故。Edward 也在其^[19]重建北美干旱的研究中也指出,在北美的近代干旱和历史时

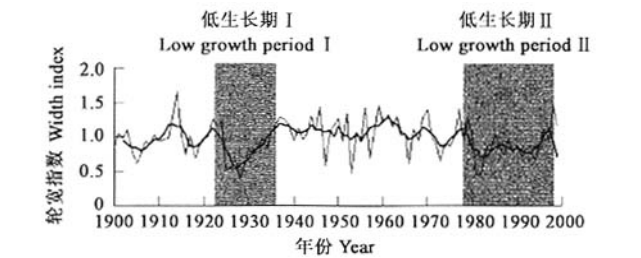


图 4 树轮宽度记录及 5a 滑动平均
Fig. 4 Record of tree ring width and smoothing curve by five years

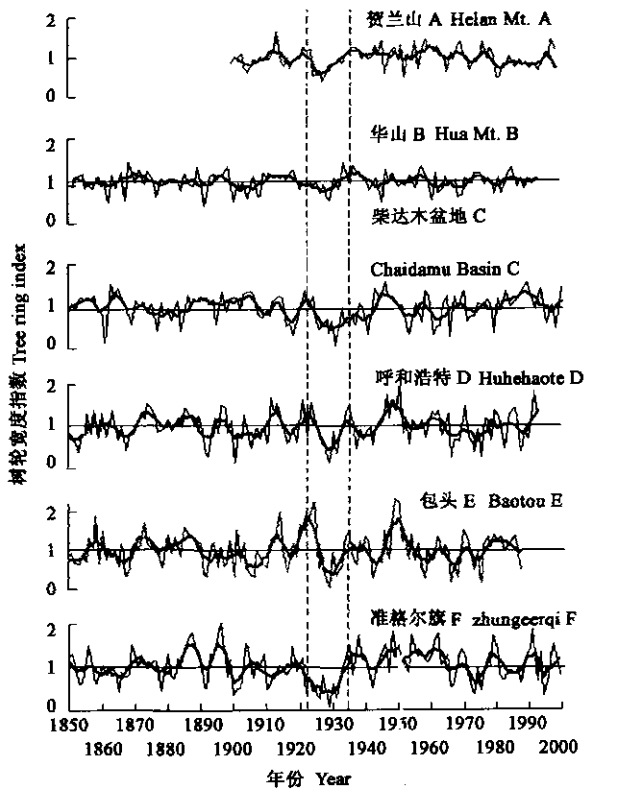


图 5 中国北方干旱事件对照图
Fig. 5 Comparing with the drought incident of North China
A 为贺兰山的轮宽值及 5a 滑动;B,C,D,E,F,G 引自^[16] A is the tree ring width of Helan Mt.; B,C,D,E,F,G are quoted from^[16]

期的干旱中均伴有异常高温,正是这种高温和低降水的水热状况从而形成大的干旱事件。

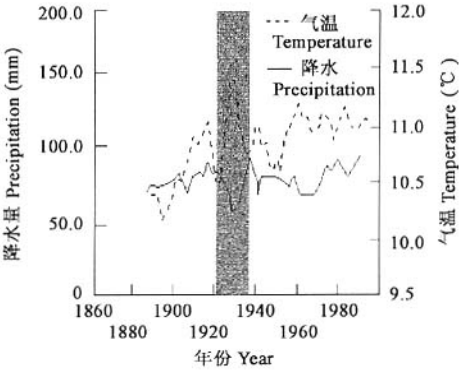


图 6 贺兰山重建降水 5a 滑动值和重建气温 10a 滑动值^[9]

Fig. 6 The reconstruction of precipitation and the reconstruction of temperature in Helan Mt Quoted^[9]

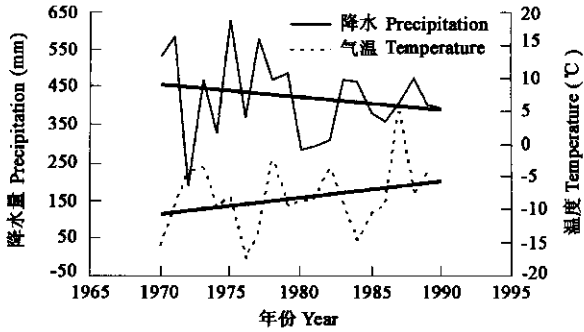


图 7 贺兰山 1970 年以来的水热变化

Fig. 7 The change of precipitation and temperature in Helan Mt since 1970

3 结论

- (1)建立了贺兰山区 93a 来的树轮年表,相关分析表明树轮宽度变化与降水相关最好。
- (2)在过去近百年来该区域树木生长有的两个主要的低生长期,这两个低生长期都是由于干旱引起的。
- (3)在干旱时期内,不光降水减少同时伴有高温的存在。也就是说不单降水限制了树木的生长,高温和低降水的水热组合对树木的影响更为显著。这种水热组合引起树轮宽度的变化对于理解过去干旱事件和过程具有重要意义。

References:

[1] Cook E R. *Method of dendrochronology*, 1990. 40~120.

[2] Fritts H C. *Tree ring and Climate*. London. Academic Press Inc,1976. 5~10.

[3] Shao X M. Advancements in Dendrochronology. *Quaternary Sciences*,1997,**8**(3):265~270.

[4] Yuan Y J, Shao X M, Li J F, *et al.* Discussion of Precipitation Information in Xiagansate Tree-ring Chronology and 326 Year Precipitation Reconstruction. *Acta Ecologica Sinica*,2002,**22**(12):2048~2053.

[5] Liu Yu, Shishov V, Shi J F, *et al.* The forecast of seasonal precipitation trend at the north Helan Mountain and Baiyinaobao regions, Inner Mongolia for the next 20 years. *Chinese Science Bulletin*,2004,**49**(3):270~274.

[6] Zhang L S, Fang X Q, Ren G Y, *et al.* *Global Change*. Beijing: Higher Education Press, 2000. 75~81.

[7] Liu Y, Shi J F,Shishov V. Reconstruction of May-July precipitation in the north Helan Mountain, Inner Mongolia since AD 1726 from tree-ring late-wood widths. *Chinese Science Bulletin*, 2004,**49**(3):266~269.

[8] Ma L M, Liu Y, Zhao J F. The Relationship between Environmental Change and Stable Carbon Isotopes Records from Tree-Ring in Mt. Helan. *Environmental Science*, 2003, **24**(5):49~53.

[9] Liu Y, Ma L M, Cai Q F, *et al.* Reconstruction of summer temperature (June-August) at Mt. Helan, China, from tree-ring stable carbon isotope values since AD 1890. *Science in China, Ser. D*, 2002,**32**(8):667~674.

[10] Stokes M. A. *An Introduction to Tree -ring Dating*. USA,Chicago;University of Chicago Press,1968. 1~73.

[11] Holmes R L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree Ring Bulletin*, 1983, **43**:69~75.

[12] Cook E R. *Methods of Dendrochronology*. The Netherlands, Dordrecht;Kluwer Academic Publishers,1990. 1~200.

[13] Mann H B. Non-parametric test against trend. *Econometrika*, 1945, **13**:245~259.

[14] Franco Biondi, Kishor Waikul. DENDROCLIM2002: AC + + program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies. *Computers & Geosciences*, 2004,**30**:303~311.

[15] Gou X H, Chen F H, Yang M X, *et al.* Analysis of the tree ring width chronology of Qilian Mountains at different elevation. *Acta Ecologica Sinica*,2004,**24**(1):172~176.

[16] Liang E Y, Shao X M, Huang L, *et al.* The 1920s drought recorded by tree ring in central-western China. *Progress in Natural Sciences*, 2004,**14**(4):469~474.

[17] Yang X C, *et al.* History Record of Flood and Drought in Ningxia, *The Hydrology Station of Ningxiang Province*. 1987,271~294.

[18] Gao W X. *History of Nature disaster in China*. Beijing:Earthquake Press,1997,397~402.

[19] Cook E R, WoodhouseC A, Mark Eakin C, *et al*. Long-Term Aridity Changes in the Western United States. *Science*, 2004, **306**: 1015~1018.

参考文献:

[3] 邵雪梅. 树轮年代学的若干进展. 第四纪研究,1997,**8**(3):265~270.

[4] 袁玉江,邵雪梅,李江风,等. 夏干萨特树轮年表中降水信息的探讨与 326 年降水重建. 生态学报,2002, **22**(12): 2048~2053.

[5] 刘禹,Shishov V, 史江峰. 内蒙古西部贺兰山和东部白音敖包未来 20 年降水趋势预测. 科学通报, 2004, **49**(3):270~274.

[6] 张兰生,方修琦,任国玉,等. 全球变化. 北京:高等教育出版社,2000. 75~81.

[7] 马利民,刘禹,赵建夫. 贺兰山油松年轮中稳定碳同位素含量和环境的关系. 环境科学, 2003, **24**(5):49~53.

[8] 刘禹,史江峰,Shishov V. 以树轮晚材宽度重建公元 1726 年以来贺兰山北部 5~7 月降水量. 科学通报, 2004,**49**(3):266~269.

[9] 刘禹,马利民,蔡秋芳,等. 采用树轮稳定碳同位素重建贺兰山 1890 年以来夏季(6~8 月)气温. 中国科学(D),2002,**32**(8):667~674.

[15] 勾晓华, 陈发虎, 杨梅学,等. 祁连山中部地区树轮宽度年表特征随海拔高度的变化. 生态学报,2004,**24**(1):172~176.

[16] 梁尔源,邵雪梅,黄磊,等. 中国中西部地区树木年轮对 20 世纪 20 年代干旱灾害的指示. 自然科学进展. 2004,14(4):469~474.

[17] 杨新才,等. 宁夏水旱自然灾害史料. 宁夏回族自治区水文总站,1987. 271~294.

[18] 高文学,等. 中国自然灾害总史. 北京:地震出版社,1997. 397~402.