

文章编号:1000-694X(2009)05-0971-06

宁夏罗山油松 (*Pinus tabulaeformis*) 树轮宽度对气候因子的响应分析

王亚军^{1,2}, 马玉贞¹, 郑影华^{1*}, 鲁瑞洁¹, 桑艳礼¹, 蒙红卫³

(1. 北京师范大学 环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 沙漠与沙区资源研究所, 北京 100875; 2. 河北工程大学 资源学院, 河北 邯郸 056038; 3. 兰州大学 资源环境学院, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 树轮样本采自宁夏罗山油松纯林的下限和上限。建立了下限和上限的树轮宽度标准化年表, 分析了树轮宽度与降水、气温、湿润指数 (P/T) 的相关关系, 结果显示, 下限和上限树轮宽度指数都与当年3月、5月、春季以及年降水量显著正相关, 与7月气温显著负相关; 下限树轮宽度标准化年表与气候要素的相关系数一般大于上限的相关系数, 而且下限树轮宽度与前一年9月、秋季降水以及夏季气温的相关也达到显著水平, 表明下限树轮宽度标准化序列对降水和气温单一气候要素的变化较敏感; 下限和上限的树轮宽度指数和湿润指数 (P/T) 呈正相关关系, 而且上限树轮宽度和3—8月湿润指数的正相关达到99%的置信水平, 说明罗山油松纯林上限树轮宽度标准化序列对水热组合的响应较敏感。

关键词: 罗山; 树木年轮; 响应关系

中图分类号: Q948.11 **文献标识码:** A

我国季风区西北缘是全球中纬度敏感带的重要组成部分, 生态环境脆弱, 对气候变化反应敏感, 许多学者采用地层年代学、黄土剖面粒度、孢粉和地球化学元素等研究了该区域气候变化及其与全球环境演变的关系, 取得了很有价值的研究成果^[1-4]。树木年轮以其特有的分辨率高、定年准确、连续性强等特点, 在过去气候变化研究中得到学术界的认可和采用^[5-7]。利用树木年轮研究季风区西北缘沙漠及其周边地区高分辨率的气候变化, 可以弥补沙漠地区沉积地层不连续等不足, 满足对气候高分辨率的要求。目前的研究发现生长于不同地区、不同生境、不同海拔高度的树木对气候因子的响应存在差异^[8-10]。腾格里沙漠东南的罗山自然保护区位于我国宁夏沙地西部, 该区属于中温带干旱、半干旱气候, 沙漠化严重, 生态环境脆弱^[11], 对气候变化反应敏感^[12], 但本区树木年轮研究至今未见报道。本研究选择罗山油松纯林下限和上限树轮样本建立树轮宽度序列年表, 探讨不同海拔树木生长对气候变化的响应, 这对当地农业发展和生态环境保护都具有重要指导意义。

1 研究区概况

罗山自然保护区 (图1) 位于宁夏同心县境内,

地处贺兰山、六盘山之间, 气候干旱少雨, 自然条件严酷, 地带性植被为荒漠草原, 植被垂直分布带谱明显, 随山地海拔上升, 植被依次为荒漠草原、灌丛、阔叶林、针阔混交林和针叶林等不同类型的群落, 其中油松纯林分布于海拔2 300~2 400 m的阴坡, 其分布上限出现青海云杉 (*Picea crassifolia*), 下限为温性针阔叶混交林。由于处于自然保护区, 罗山树木生长受到人为扰动较少, 且采样点位于荒漠草原与草原、森林草原的过渡地带, 降水少, 加上

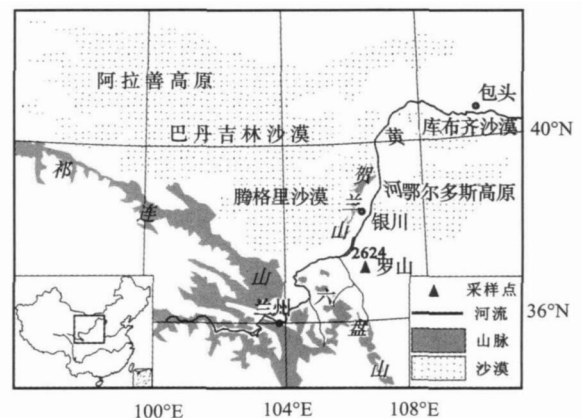


图1 研究区位置与采样点分布

Fig. 1 Location of study region and distribution of sampling site

收稿日期:2008-09-27; 改回日期:2009-05-04

基金项目:国家自然科学基金项目(40671184, 40801004); 高等学校博士学科点专项科研基金项目(20070027019)共同资助

作者简介:王亚军(1973—), 女, 辽宁凌源人, 博士研究生, 副教授, 主要从事资源环境变化研究。Email:wangyajun@res.cn

* 通讯作者: 郑影华(redaring@res.cn)

采样点坡度较大,降水很难滞留在树木周围,此条件下树木生长对气候变化比较敏感。

2 资料和方法

2.1 树木年轮资料

树轮样本取自罗山自然保护区油松纯林的下限和上限,下限(37°19'N, 106°16'E, 海拔2300 m)采样点位于油松纯林内部,群落外貌整齐,结构简单,林下灌木、草本和苔藓层皆不发育;地形陡峭,坡度50°~60°,树高15~20 m,林内湿度较低,林地堆积较厚尚未腐烂的针叶。沿山脊线在半阴坡20 m高的范围内采集20棵油松,每棵树从不同方向采取两根树芯。上限(37°18'N, 106°16'E, 海拔2400 m)采样点开始出现青海云杉,属于油松和云杉混交林,林下地被层比较发育,林下灌木、草本层植物种类较多,坡度30°~40°,相对于下限要缓,林地堆积的针叶较少,在上限半阴坡采集20棵油松,每棵树从不同方向采取两根树芯。

2.2 树木年轮资料的处理以及年表建立

树木年轮样本处理基本过程按树木年轮分析程序^[13]进行晾干、固定、磨平打光以及初步目测定年,初步检查可能存在的伪年轮和遗失年轮,采用LINTAB年轮宽度测量仪进行树木年轮宽度测量,分辨率0.01 mm。

利用COFECHA程序对交叉定年和测量结果进行检验,剔除部分与主序列相关系数小、树龄短、奇异点多的样芯,最后建立树轮宽度指数序列。树轮宽度指数序列的建立通过ARSTAN程序完成,采用步长为样芯序列长度2/3的样条函数拟合树木的生长趋势,去掉树木本身遗传因子产生的生长趋势和树木之间干扰竞争等的生长趋势,建立了下限和上限的3种树轮年表即标准化年表(STD)、差值年表(RES)和自回归年表(ARS)。图2是上下限树轮宽度指数的标准化序列,其中前几年的树轮宽度指数由于样本量太少,变差较大,在图中没有标示出来。本文以树轮宽度的标准化序列作为研究对象。

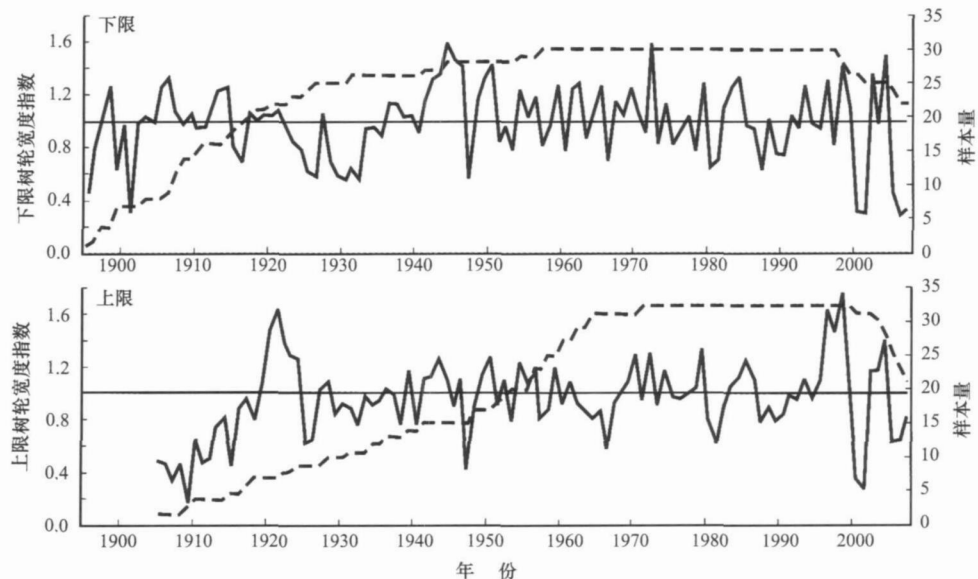


图2 罗山树轮宽度指数标准化年表

Fig. 2 Tree-ring width index standard chronologies of Luoshan Mountains

2.3 气候数据的选择

气候数据选择与树木年轮取样地点距离最近的心县气象站(36°59'N, 105°54'E, 海拔1345 m)的1955—2005年的月降水量和月均温(图3)。该站多年平均降水量为271.9 mm,降水集中在7—9月,占全年降水量的58.4%,其中8月份降水量最多,年均气温为8.9℃,7月温度最高,平均23℃。考虑到树木生长会受到前一年气候变化的影响,因

此气候要素选取前一年9月至当年9月共13个月的月平均气温、月降水量和有生长意义的不同气候时段的组合以及生态学指标湿润指数^[14]。

3 结果分析与讨论

3.1 树轮宽度指数序列分析

通过ARSTAN程序建立的下限和上限的树轮宽度标准化年表的主要特征参数如表1所示。

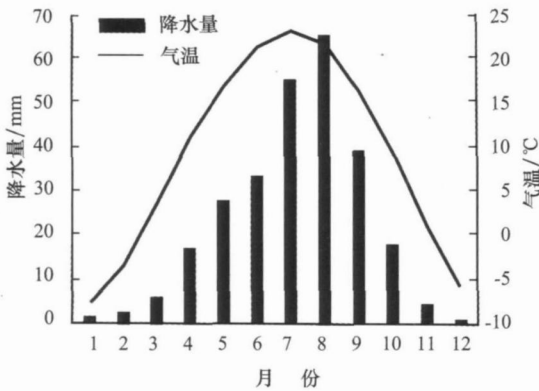


图 3 同心县各月降水和气温 (1955—2005)
Fig. 3 Monthly precipitation and temperature of Tongxin county in 1955—2005

表 1 树轮宽度标准化年表的主要特征参数

Table 1 Main characteristic parameters of tree-ring width standard chronologies

项 目	下限	上限
年表区间 (年份)	1870—2007	1900—2007
平均敏感度 (M. S.)	0.269	0.255
一阶自相关系数 (A. C.)	0.370	0.570
公共区间 (年份)	1927—1997	1967—2002
所有样本的平均相关系数 (R_1)	0.393	0.596
树与树间的平均相关系数 (R_2)	0.390	0.592
树木内部的平均相关系数 (R_3)	0.692	0.767
信噪比 (SNR)	14.085	29.044
样本的总体代表性 (EPS)	0.934	0.967
第一主分量解释总方差的百分比 (PCI)	43.73	61.75

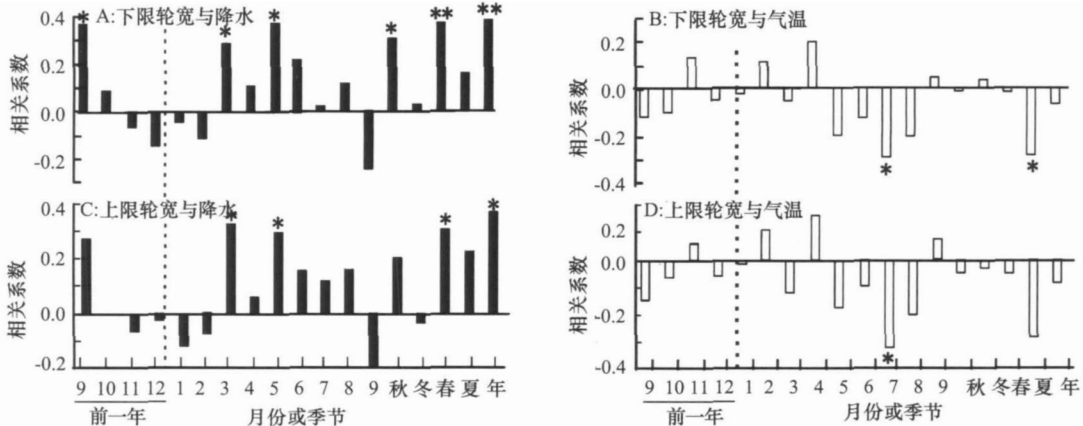


图 4 树轮宽度指数与气候要素的相关系数

[**达到 99% 的置信水平 (或置信度); *达到 95% 的置信水平 (或置信度)]

Fig. 4 Correlation coefficients between tree-ring width index and climate factors

3.2.1 树轮宽度指数标准化序列与月降水量的相关关系

由图 4 可见,下限和上限树轮宽度与 3 月、5 月降水和春季降水的正相关达到显著水平,这与阿尼玛卿山的青海云杉^[17]、呼和浩特附近的油松^[7]、华山的华山松^[16]对气候变化响应的研究结果基本一

致。从生理学角度看,春季为树木开始发芽生长的季节,研究区位于西北干旱区,日照充足,树木生长所需的热量条件得到满足,这时候雨季还没来到,降水量的多寡制约着树木的生长,如遇春季降水多的年份,则树木早材细胞分裂快,细胞数量多且体积大,而早材在整个年轮中所占的比例大,所以易形成较宽

3.2 罗山树木生长对气候因子的响应

树木年轮学理论一般认为平均敏感度、相关系数、信噪比和样本总体解释量越大,则表明所选样本越能够代表相应地区的树木群体生长特征,对群体的代表性越好即序列的共性越强。表 1 显示上述指标值都较高,且统计值随年表而有差异,上限年表中统计值如各种相关系数、信噪比、样本的总体代表性和第一主分量解释总方差的百分比较高,说明此点样本序列的共性更强。但平均敏感度随着海拔的升高而降低,这与祁连山中部的青海云杉^[15]研究结果一致。上下限年表的一阶自相关系数较高,可见前一年树木的生长对下年树木生长影响较大,并且海拔越高影响越大。

利用 SPSS 软件^[16]分析树轮宽度指数序列与同心县 1955—2005 年的逐月均温、月降水量、气候时段因子、湿润指数的相关关系。图 4 是下限和上限树轮宽度指数与月均温和月降水量的相关关系。另外分析中采用的年降水量是前一年 9 月至当年 8 月的降水量总和,这种月份组合的年降水量与一般由 1—12 月计算的年降水量之间实际相关系数为 0.859,5 a 滑动平均后,相关系数提高到 0.931,因此,文中采用的年降水量可以代表一般意义上年降水量。

利用 SPSS 软件^[16]分析树轮宽度指数序列与同心县 1955—2005 年的逐月均温、月降水量、气候时段因子、湿润指数的相关关系。图 4 是下限和上限树轮宽度指数与月均温和月降水量的相关关系。另外分析中采用的年降水量是前一年 9 月至当年 8 月的降水量总和,这种月份组合的年降水量与一般由 1—12 月计算的年降水量之间实际相关系数为 0.859,5 a 滑动平均后,相关系数提高到 0.931,因此,文中采用的年降水量可以代表一般意义上年降水量。

的年轮,反之,则形成窄年轮,树轮宽度指数与降水量显著正相关具有明确的生理学意义。不同的是下限的相关系数值要高于上限,下限树轮宽度标准化序列与春季降水的正相关达到99%的置信水平。

下限树轮宽度指数与前一年9月降水达到显著正相关,这与昌灵山的油松^[9]、阿尼玛卿山的青海云杉^[17]对气候变化响应的研究结果基本一致。Fritts^[13]等通过多次研究干旱地区针叶树树轮宽度与气候因子的相关关系指出,生长季前期的秋季等季节的气候条件对树木生长具有显著影响。另外,降水对树木生长的影响具有明显的“滞后效应”,上年生长季末期丰富的降水有利于树木营养物质的积累以及土壤水分的涵养,充足的营养物质及合适的土壤水分条件为来年树木的生长创造了良好的条件^[18-19]。

下限和上限轮宽指数与年降水量显著相关,而且下限树轮宽度指数与年降水的正相关达到99%的置信水平。这与昌灵山油松对年降水量的响应关系^[9]一致。研究区深居内陆,植被对年际降水具有很强的依赖性,水分资源是影响研究区植被变化最重要的自然因素^[20]。从生理学意义看,干旱、半干旱地区树木在生长过程中,如遇降水量多的年份,则生长速度加快,容易形成宽年轮。

综上所述,下限轮宽标准化序列与降水的相关系数大于上限轮宽与降水的相关系数;从显著相关的时间来看,下限有前一年9月、3月、5月、春季、秋季以及年,而对于上限树轮宽度标准化序列来说,与前一年9月、秋季降水的相关未达到显著水平,可见由于海拔增加,水分条件有所改善的情况下,树轮宽度标准化序列对降水的响应有一定程度的减弱。上述分析表明,降水这单一气候要素与下限树木年轮标准化序列的相关关系比降水与上限树木年轮标准化序列的相关关系较明显。

3.2.2 树轮宽度指数标准化序列与月均温的相关关系

下限和上限树木生长对气温的响应基本一致,均与大多数月份的气温呈负相关,与7月气温具有显著负相关关系,这与昌灵山的油松^[9]对气温的响应研究结果一致。前人研究发现半干旱区针叶树的

轮宽与月均温经常是负相关关系,是由于温度导致水分蒸发造成,这种响应关系经常发生在高温的夏季^[13]。研究区7月气温最高,高温条件下植物蒸腾和土壤水分蒸发速度加快,温度越高越不利于地表水分的保持,所以树轮宽度与7月气温显著负相关,可见干旱区树木生长需要适中的气温条件,高温不利于树木生长。需要注意的是下限轮宽与夏季气温的负相关达到显著水平,而上限轮宽与夏季气温的负相关并没有达到显著水平,也就是说上限树轮宽度标准化序列对夏季高温的响应相对减弱。可能由于上限海拔高,温度低,土壤的有效湿度增加,所以树木年轮宽度标准化序列与夏季高温的相关关系减弱。

总的来说,下限和上限两个采样点树轮宽度指数序列对降水和气温单一气候要素的响应共性较高,但也存在一些差异。如相关系数的大小、显著相关因子的数量等,相对于上限树木来说,下限树轮标准化序列对降水和气温单一气候要素的反应较敏感。

3.2.3 树轮宽度指数标准化序列与湿润指数的相关关系

在分析树轮宽度标准化序列与降水和气温单一气候要素相关关系的基础上,探讨了下限和上限树轮宽度对于二者综合作用的响应。采用湿润指数(MI)表示气温和降水变化的综合情况,定义为 $MI = P/T$,P与T分别是同一时期的降水量和气温。当降水量增加,气温降低,MI值增大,反之,当降水量减少,气温升高,MI值减小,而当降水量和气温同时增加或者减小时,MI变化不大。因此,MI高值代表冷湿气候,相反MI低值代表暖干气候^[14]。湿润指数考虑温度变化对干湿特征的影响,弥补了单一用降水量变化表征干湿变化的不足^[21]。

结果(表2)发现,下限和上限轮宽指数与湿润指数的相关比较理想。下限树轮宽度指数序列与5月和3—8月湿润指数显著正相关,上限树轮宽度指数序列与3月、5月和3—8月湿润指数显著正相关,且与3—8月湿润指数的正相关达到99%的置信度,超过下限轮宽与湿润指数的相关程度。可见上限树木年轮标准化序列对3—8月水热组合状况反应较敏感。

表2 树轮宽度指数序列与湿润指数(MI)的相关系数

Table 2 Correlation coefficients between tree-ring width and monthly humid index

年表	3	4	5	6	7	8	3~8
下限	0.198	0.050	0.364 *	0.202	0.026	0.108	0.322 *
上限	0.306 *	0.007	0.287 *	0.149	0.129	0.152	0.383 **

**达到99%的置信水平(或置信度) *达到95%的置信水平(或置信度)。

4 结论

在建立罗山油松纯林下限和上限树轮宽度指数序列基础上,分析了标准年表的统计特征,探讨了树轮宽度标准化序列与气候要素的相关关系,得到以下结论:

1) 下限和上限标准化年表中的 SNR、EPS、PCI 等各项统计值都较高,表明所选样本能够代表此地区的树木群体生长特征。

2) 下限和上限的树木轮宽标准化序列与当年3月、5月、春季和年降水量显著正相关,且下限树轮宽度与前年9月、秋季降水也表现为显著正相关,降水量多少明显制约着罗山油松生长。

3) 下限和上限的树木轮宽标准化序列均与7月气温显著负相关,且下限树木轮宽与夏季气温负相关超过显著水平。从相关系数的大小、显著相关因子的数量来看,下限树木轮宽标准化序列对降水和气温单一气候要素变化的反应较敏感。

4) 下限和上限树轮宽度与5月、3—8月湿润指数达到显著相关水平,而且上限轮宽与3—8月湿润指数的正相关达到99%的置信水平,可见上限树木年轮标准化序列对于3—8月水热组合状况反应较敏感。

致谢: 感谢宁夏罗山国家级自然保护区管理处给予我们的帮助。感谢论文评审专家对本文提出的宝贵修改意见。

参考文献(References):

- [1] 阎满存,董光荣,李保生,等. 腾格里沙漠东南缘沙漠演化的初步研究[J]. 中国沙漠,1998,18(2):111-117.
- [2] 高尚玉,王贵勇,哈斯,等. 末次冰期以来中国季风区西北边缘沙漠演化研究[J]. 第四纪研究,2001,21(1):66-71.
- [3] 张虎才,李吉均,马玉贞,等. 腾格里沙漠南缘武威黄土沉积元素地球化学特征[J]. 沉积学报,1997,15(4):152-158.
- [4] 苏占胜,陈晓光,黄峰,等. 宁夏农牧交错区(盐池)草地生产力对气候变化的响应[J]. 中国沙漠,2007,27(3):430-435.
- [5] Graumlich L J. A 1000 year record of temperature and precipitation in the Sierra Nevada[J]. Quaternary Research,1993(39):249-255.
- [6] 邵雪梅,吴祥定. 华山树木年轮年表的建立[J]. 地理学报,1994,49(2):174-181.
- [7] 刘禹,马利民. 树轮宽度对近376年呼和浩特季节降水的重建[J]. 科学通报,1999,44(18):1986-1992.
- [8] 邵雪梅,吴祥定. 利用树轮资料重建长白山地区过去气候变化[J]. 第四纪研究,1997(1):76-85.
- [9] 高尚玉,鲁瑞洁,强明瑞,等. 140年来腾格里沙漠南缘树木年轮记录的降水量变化[J]. 科学通报,2006,51(3):326-331.
- [10] 尚华明,魏文寿,袁玉江,等. 艾比湖胡杨宽度年表建立及其环境意义[J]. 中国沙漠,2008,28(5):815-820.
- [11] 杨淑萍,赵光平,马力文,等. 气候变暖对宁夏气候和极端天气事件的影响及防御对策[J]. 中国沙漠,2007,27(6):1072-1076.
- [12] 桑建人,刘玉兰,舒志亮. 近44a宁夏严重干燥事件对气候变暖的响应[J]. 中国沙漠,2007,27(5):878-882.
- [13] Fritts H C. Tree Rings and Climate[M]. London: Academic Press,1976.
- [14] 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[J]. 科学通报,2003,48(19):2068-2072.
- [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[J]. 生态学报,2004,24(1):172-176.
- [16] 邬彤,周涛,袁淑君. 数据统计分析——SPSS原理及其应用[M]. 北京:北京师范大学出版社,2001.
- [17] 彭剑峰,勾晓华,陈发虎,等. 阿尼玛卿山地不同海拔青海云杉(*Picea crassifolia*)树轮生长特性及其对气候的响应[J]. 生态学报,2007,27(8):3268-3276.
- [18] 桑卫国,王云霞,苏宏新,等. 天山云杉树轮宽度对梯度水分因子的响应[J]. 科学通报,2007,52(19):2292-2298.
- [19] 陈向军,袁玉江,陈峰,等. 天山北坡东部地区树轮宽度年表特征分析[J]. 中国沙漠,2008,28(5):833-941.
- [20] 陈豫英,陈楠,王式功,等. 50a来宁夏可利用降水的时空变化及其对生态环境的影响[J]. 中国沙漠,2008,28(4):748-754.
- [21] 马柱国,邵丽娟. 中国北方近百年干湿变化与太平洋年代际振荡的关系[J]. 大气科学,2006,30(3):464-474.

Response of Tree-Ring Width of *Pinus tabulaeformis* to Climate Factors in Luoshan Mountains of Ningxia

WANG Ya-jun^{1,2}, MA Yu-zhen¹, ZHENG Ying-hua¹, LU Rui-jie¹, SANG Yan-li¹, MENG Hong-wei³

(1. Key Laboratory of Environmental Changes and Natural Disaster under the Ministry of Education of China in Beijing Normal University; China Center of Desert Research of Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. The Resource College of Hebei University of Engineering, Handan 056038, Hebei, China; 3. College of Earth and Environmental Science, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Tree-ring cores are sampled at lower and upper forest border of pure forests of *Pinus tabulaeformis* in Luoshan Mountains of Ningxia. The authors develop the tree-ring width index standard chronologies and analyze the statistical characters of two sites' chronologies. After anglicizing the response relationship between tree-ring width and precipitation, temperature and moisture index (P/T), it is found out that the standard chronologies of two sites are all significantly related to March, May, spring and the annual precipitation and July temperature. There is a significant relation between the tree-ring width and the prior September precipitation, autumn precipitation and summer temperature at lower forest border. Based on the size of the correlation coefficient and the number of significant factors, it is pointed out that the tree-ring width index standard chronology at lower forest border is relatively sensitive to the precipitation and temperature than that at upper forest border. Furthermore the tree-ring width trends are all positively correlative with the humid index, and the correlation coefficient between the tree-ring width standard chronology at upper forest border and March to August moisture index reaches 99% level. The standard chronology at upper forest border is relatively sensitive to the combination of water and heat.

Keywords: Luoshan Mountains; tree-ring width; response relationship