

# 云阳马尾松树轮宽度年表特征研究

雷静品<sup>1</sup>, 肖文发<sup>2\*</sup>, 黄志霖<sup>2</sup>, 曾立雄<sup>2</sup>, 王怀情<sup>3</sup>, 李良俊<sup>3</sup>

(1 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091; 2 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 北京 100091;  
3. 重庆市云阳县林业局, 云阳 404500)

**摘要:** 利用采自重庆市云阳县马尾松分布上限和下限的树轮样芯材料, 分别建立了树轮宽度年表。结果表明: 分布上限的马尾松树轮宽度指数变化幅度大于下限, 且上限树轮样本的信噪比、样本总体代表性均比下限的高; 总体来讲, 上限树木的生长对环境的敏感性比下限的高。进一步分析表明: 上限马尾松的生长受前一年气温和降水的影响, 而下限马尾松的生长只与当年降水量有关, 这表明云阳分布在上限的马尾松和分布在下限的马尾松生长与气候因子之间的关系不同; 气候因子对分布在上限的马尾松生长的影响存在滞后效应。

**关键词:** 树木年轮; 标准年表; 气候因子; 敏感度

中图分类号: S791.284 文献标识码: A

## Analysis of the Tree-ring Width Chronology of *Pinus massoniana* in Yunyang County

LEI Jing-pin<sup>1</sup>, XIAO Wen-fa<sup>2</sup>, HUANG Zhi-lin<sup>2</sup>, ZENG Li-xiong<sup>2</sup>, WANG Huai-qing<sup>3</sup>, LI Liang-jun<sup>3</sup>

(1. Research Institute of Forestry, CAF, Beijing 100091, China

2 Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, CAF, Beijing 100091, China

3 Forestry Bureau of Yunyang County, Chongqing Yunyang 404500, China)

**Abstract** Tree-ring cores were collected from the low and upper altitude limits of *Pinus massoniana* in Yunyang county of Chongqing. Two tree-ring width chronologies were established using standardized dendrochronological methods, respectively. The two sampling sites are located close to each other but at different elevations. Results indicated that the chronology fluctuation of the upper altitude limit was higher than that of the low limit. The statistical character of the chronology showed that signal to noise ratio (SNR), express population signal (EPS) of upper limit were high than that of the low limit. Therefore, the sensitivity of tree's response to climatic changes increased with increasing altitude. In order to understand the differing response of trees at different elevations to the environment changes, the correlations between the chronology indices and precipitation and between air temperature in different seasons and different months were calculated. The results showed that the growth of upper limit of *Pinus massoniana* was affected by temperature and precipitation of previous year, and that of low limit was only affected by precipitation of current year. It showed that there was lag-effect of the growth response to climate force of upper limit.

**Key words** tree ring; standard chronology; climate factor; sensitivity

收稿日期: 2008-08-12

基金项目: 中国林业科学研究院公益基金 (CAFYBB2007010)、林业科技支撑计划 (2006BA003A1303)、林业科技支撑计划 (2006BA003A0701)、林业公益性行业科研专项 (200804001)

作者简介: 雷静品 (1970—), 河北晋州人, 副研究员。

\* 通讯作者。

树木年轮因其定年准确、连续性强、精度高,与气候要素相关性高、易于采样等特点在气候变化研究中得到广泛应用<sup>[1]</sup>。通过大量年轮宽度与气候因子的相关分析表明,年轮宽度与气候因子有着复杂的相关关系,这种关系不但受气候因子之间的相互制衡和树木生长节律的影响<sup>[2]</sup>,而且也受到坡向<sup>[3]</sup>、海拔梯度<sup>[4]</sup>等微环境的影响。我国学者曾经揭示树轮宽度与气候因子的关系随着海拔高度的不同而表现出不同的关系<sup>[5-7]</sup>。马尾松(*Pinus massoniana* Lamb)是重庆市云阳县人工林的主要树种,对该地区马尾松树年轮研究不多见,其他地区马尾松树轮研究表明,马尾松生长主要受前一年降水量的影响,且4—7月,9—11月降水量大,有利于胸径生长,8月份降水量对直径生长影响不显著<sup>[5]</sup>。本文试图通过分布在海拔上限和下限的马尾松树芯年表特征及其对气候因子的不同响应,揭示该地区马尾松生长与气候的关系。

## 1 研究区概况

云阳县位于四川盆地东部,属于亚热带山地气候,地处 $108^{\circ}24' \sim 109^{\circ}14'E$ , $30^{\circ}34' \sim 31^{\circ}27'N$ 。三峡库区腹心地带,长江横贯其中,汤溪河、澎溪河、长滩河、磨刀溪以及支流分别由南北汇入长江,全县总面积 $3\,649\text{ km}^2$ 。气候属亚热带湿润性季风型气候。四季分明,气候暖和,降水丰沛,日照适宜,年平均气温 $18.7^{\circ}\text{C}$ 。1月平均气温 $7.5^{\circ}\text{C}$ ,极端最低气温零下 $4^{\circ}\text{C}$ ;7月平均气温 $29.1^{\circ}\text{C}$ ,极端最高气温 $41.7^{\circ}\text{C}$ 。平均日照 $1\,528\text{ h}$ 。无霜期 $300\text{ d}$ 以上。年降水量 $1\,145.1\text{ mm}$ ,平均年降水量 $1\,100\text{ mm}$ ,年极端最大降水量为 $1\,614.3\text{ mm}$ (1982年),年极端最小降水量为 $740\text{ mm}$ (1990年)。

## 2 研究方法

### 2.1 气候资料

全国气象网站在云阳没有站点,用距离云阳最近的奉节( $31^{\circ}03'N$ , $109^{\circ}30'E$ )和万县( $30^{\circ}46'N$ , $108^{\circ}24'E$ )2个气象台站的气象数据代用,取1953—2002年气温和降水量的数据。在气候分析之前,为了确定所采用的气象数据代表了自然界的真实变化,首先对气候数据进行均一性检验,一是采用 Mann-Kandell方法<sup>[8]</sup>,对序列是否存在突变点进行了检验,另外还运用双重量分析(Double mass analysis)<sup>[9]</sup>,检验序列是否有非随机趋势。通过检验表明,分析所采用的气象站气温和降水数据是相对均一的,代表了自然界的主要气候变化。

## 2.2 采样点概况

树木年轮气候学要求采样时尽量选在树木生长过程中受到气候限制的地区,如位于森林群落或该树种分布的最南、最北界,上限和下限的位置,因为这些位置年轮的形成显著受到气候因子的影响<sup>[10]</sup>。马尾松在云阳地区的分布海拔是 $200 \sim 1\,100\text{ m}$ ,本文研究了马尾松在该区分布下限 $200\text{ m}$ 左右和上限 $1\,100\text{ m}$ 左右处的生长区别以及对气候因子的敏感性。采样点概况见表1。

表 1 采样点概况

项目	下限	上限
海拔 /m	250	1 090
经度 (E)	$108^{\circ}42'$	$108^{\circ}34'$
纬度 (N)	$31^{\circ}02'$	$31^{\circ}00'$
采集样本数量 /个	60	180
时间序列长度 /a	25	30

马尾松分布上限、下限的树芯均采自人工纯林,人工造林后基本没有人为干扰。上限的马尾松林分郁闭度 $0.8$ ,平均树高 $13\text{ m}$ ,平均胸径 $15.3\text{ cm}$ ,为东北坡向,灌草平均高 $35\text{ cm}$ ,草本盖度在 $50\%$ 左右;下限的林分郁闭度 $0.7$ ,平均树高 $12\text{ m}$ ,平均胸径 $9.5\text{ cm}$ ,为东南坡向,灌木平均高 $40\text{ cm}$ ,草本盖度在 $60\%$ 左右。

### 2.3 年表的建立

采用 Fritts等<sup>[8-9]</sup>的方法对马尾松树木年轮样芯进行固定、打磨、测量、交叉定年和去生长趋势后,分别得到两个海拔马尾松树木年轮宽度的标准化年表。树轮宽度年表的建立是通过 ARSTAN 程序<sup>[11]</sup>,采用负指数函数或样条函数拟合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产生的抑制和释放等的生长趋势,然后利用样本序列值和其拟合生长曲线值的商进行订正使其标准化<sup>[12]</sup>,形成标准年表(STD)。

## 3 结果与分析

### 3.1 分布在上限、下限的马尾松生长树轮年表的变化

由图1可看出:马尾松生长上限和下限的树轮年表具有不同的变化趋势和不同的变化特征。2条曲线的峰值也表现不一致,说明上限和下限马尾松生长可能受到不同的限制因子的影响,上限曲线的变化幅度要略高于下限。2个年表统计特征也进一步说明了这一特征(表2)。在1994年前后马尾松

生长上限出现了与下限不一致的现象, 即出现最低值, 而且与下限的生长趋势明显不同。海拔的差异可能导致气温和降水量的变化影响了马尾松的生长, 1992年是出现拐点的第 1 年, 当年冬季的平均气温比多年平均气温低 0.7℃, 11月份的气温比多年平均气温低 1.7℃, 低温消耗了当年的营养积累, 当年冬季降水量比多年平均降水量高 19.8%, 低温高湿可能是导致出现上限、下限不一致的原因, 在 3.3 中将进一步解释。

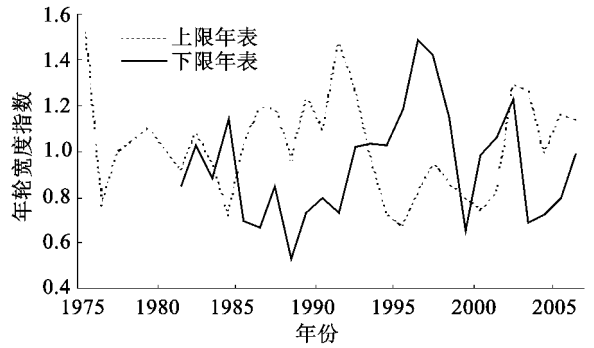


图 1 云阳分布海拔上限和下限马尾松树轮宽度标准年表

表 2 年表统计特征

采样点	海拔 /m	平均敏感度	第 1 主分量所占的方差量	序列在共同区间内的平均指数值	标准差	信噪比	样本对总体的解释	样本间平均相关系数	不同树样本的相关系数	同株树样本的相关系数
下限	250	0.206 8	52.74	0.936 7	0.239 9	3.593	0.782	0.452	0.418	0.636
上限	1 090	0.214 4	46.92	1.010 4	0.233 6	12.580	0.926	0.430	0.425	0.732

平均敏感度反应相邻年轮之间年轮宽度的变化情况, 它主要反映气候的短期变化或高频变化<sup>[12]</sup>。平均敏感度大的样本可能包含较多的气候信息<sup>[13]</sup>。由表 2 可知: 马尾松生长上限的平均敏感度高于下限, 说明上下限马尾松的生长可能反应了不同的环境信号, 生长在上限的马尾松敏感性比下限的高, 这与勾晓华等<sup>[14]</sup> 2004 年对祁连山青海云杉 (*Pinus crassifolia* Kam.) 年表分析结果基本一致, 而与于大炮等<sup>[6]</sup> 2005 年对长白山落叶松 (*Larix olgensis* Henry) 的年轮分析结果相反。不同树样本的相关系数是表明样本间变化一致性的特征值, 马尾松下限的相关系数比上限的小, 表明上限的马尾松生长对环境变化比下限的一致性更强; 信噪比是衡量年表中气候信息与其它噪音的比值, 是度量所有样本表达共有的环境信息量的多少, 在表 2 中马尾松分布上限信噪比明显高于下限, 表明上限马尾松所含环境信息更丰富。

### 3.2 分布海拔上限和下限的马尾松生长与气候之间的关系

为进一步分析上限和下限马尾松生长对气候变化的响应, 分别就上限和下限年表与季度和月份的气候因子进行相关分析。

3.2.1 分布上限和下限的马尾松生长与季度气候因子的关系 从表 3 可知: 分布在上限的马尾松的生长与气候因子的相关性比下限的更紧密, 进一步印证了对年表特征的分析结果, 当年气候因子对上限马尾松的生长影响不大, 而前一年第 3 季度的气候因子对其生长有显著影响 ( $P < 0.05$ ), 说明上年

7—9 月份的降水量过多, 反而在一定程度上抑制了海拔上限的马尾松生长。马尾松为阳性树种, 适宜的年均气温为 13~22℃, 适宜的降水量为 800 mm 以上。随着海拔的增高, 降水量有所增加, 云阳的多年平均降水量为 1 100 mm, 降水充足, 过多的降水不仅不能促进马尾松生长, 反而抑制其生长。

表 3 上限、下限马尾松生长与不同季节气候因子的相关关系

时间	下限		上限	
	气温	降水量	气温	降水量
上年第 3 季度	0.185	-0.152	0.377	-0.419
上年第 4 季度	-0.155	0.421	-0.081	-0.096
当年第 1 季度	0.074	0.361	0.187	0.358
当年第 2 季度	-0.085	-0.273	-0.326	0.160
当年第 3 季度	0.225	-0.166	-0.292	0.080
当年第 4 季度	-0.011	0.089	-0.041	-0.220

注: \* 表示  $P < 0.05$  水平, 显著相关。

3.2.2 分布在海拔上限和下限的马尾松生长与月份气候因子之间的关系 为进一步了解分布上限和下限马尾松生长与气候因子的关系, 分析了生长与月份的相关关系。马尾松前一年的生长情况和气候条件同样会影响树木当年的生长。表 4 表明: 分布于上限马尾松的生长比下限更受气候因子的影响, 这与前面的结果一致; 而且上限马尾松生长与当年气候因子关系不紧密; 而与前一年气候因子的关系更紧密; 下限马尾松生长只与当年气候因子相关。具体来讲, 上限马尾松生长受前一年 7 月份的气温和前一年 8 月份降水的影响, 前一年 7 月的气温高, 能促进第 2 年马尾松的生长; 在一定范围内, 前一年 8 月的降水少, 马尾松生长更好。树木的生长对上

年气候条件的反应,与植物上年光合产物的积累有关,且这种现象在树轮气候学中广泛存在<sup>[15-16]</sup>。下限马尾松的生长与气温的相关性不显著,仅受 3 月份降水的影响。云阳年平均气温 18.7℃,正处于马尾松适宜气温 13~22℃之间,因此分布在下限的马尾松生长不受气温影响,随着海拔升高,气温降低,

气温成为影响马尾松的主要限制因子。3 月份正处于马尾松树液萌动期,降水量增加能促进马尾松生长。马尾松有干旱向水,水过避水的生长特性,前一年 8 月份降水过多会抑制分布在上限的马尾松的生长。

表 4 下限、上限马尾松年轮宽度指数与月份气候因子的相关关系

项目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
上 气温							0.404*	0.244	0.189	-0.061	-0.141	0.063
上 年 降水							-0.363	-0.395*	-0.117	-0.129	0.024	0.035
限 当 气温	0.319	0.062	0.066	-0.236	-0.257	-0.058	-0.176	-0.320	-0.097	0.060	-0.242	0.168
年 降水	0.202	0.260	0.217	0.062	0.181	0.000	0.012	-0.010	0.171	-0.305	0.065	0.101
下 当 气温	-0.209	0.067	0.248	-0.025	-0.204	0.099	0.142	0.179	0.152	0.092	0.056	-0.202
限 年 降水	-0.027	0.044	0.513*	-0.218	-0.256	0.086	-0.156	0.108	-0.351	0.004	0.149	-0.006

注: \* 表示  $P < 0.05$  水平显著相关。

### 3.3 上、下限马尾松生长对气候因子响应的验证

为了更好地理解上、下限马尾松生长对气候因子的响应,选取具有代表性的年份,通过具体年份生长与气候因子的关系验证以上结论。

从表 5 可以检验马尾松下限生长与当年 3 月份降水的关系,1996 年为年轮生长的最大年份,而当年 3 月份降水量比多年平均降水高 130%; 1999 年为下限马尾松生长的最低年份,当年 3 月份降水仅为多年平均降水量的 60%,因此,3 月份降水量的多少是影响分布在海拔下限马尾松当年生长的主要限

制因子; 1994 年为分布在海拔上限的马尾松多年生长最低的年份。1993 年 7 月份的气温比多年平均气温低 1℃, 8 月份的降水 (279.7 mm) 比当月多年平均降水量 (141.3 mm) 约高 1 倍; 1991 年为生长最高年,不仅 1990 年 7 月份的气温高,而且降水量 (37.3 mm) 仅为多年该月平均降水量的 26%,很好的验证了在马尾松分布的上限,其生长与前一年 7 月份的气温呈正相关,与前一年 8 月份的降水量呈显著负相关关系,同时也补充说明 3.1 马尾松分布上限、下限年表曲线特征的不同。

表 5 典型年份马尾松年轮指数与气候因子的关系

项目			项目		
上限			下限		
年份(年)	1991	1994	年份(年)	1996	1999
年轮指数	1.472	0.723	年轮指数	1.483	0.654
上年 7 月气温 /℃	27.8	26.3	当年 3 月降水 /mm	94.9	23.6
7 月多年平均气温 /℃	27.3	27.3	3 月多年平均降水量 /mm		41.1
上年 8 月降水量 /mm	37.3	279.7			
8 月多年平均降水量 /mm		141.3			

## 4 小结

研究发现分布在重庆市云阳县海拔上、下限马尾松的生长对气候的响应符合一般规律,即分布在海拔上限的马尾松的生长主要受气温的影响,而下限的马尾松的生长主要受降水的影响。上限和下限马尾松树轮宽度的标准年表特征值不同,上限信噪比明显高于下限,表明上限马尾松所含环境信息更丰富。

分布在海拔上限和下限的马尾松生长与气候因

子的关系不同,下限马尾松生长与气候关系不显著,而分布在海拔上限的马尾松生长只与前一年第 3 季度的气温和降水显著相关,与其他季度的气候因子关系不显著。马尾松分布上限、下限的年轮宽度指数与单月气候因子的关系进一步证实了这一结果,分布在海拔下限的马尾松生长受当年 3 月份降水的显著影响,而上限则受前一年 7 月份气温和前一年 8 月份降水的显著影响。因此马尾松前期生长对树轮宽度存在“滞后效应”,此外,还利用典型年份的气候因子进一步分析证实了相关分析的结果。

## 参考文献:

- [1] 邵雪梅. 树轮年代学的若干进展 [J]. 第四纪研究, 1997(3): 265-271
- [2] 侯爱敏, 彭少麟, 周国逸. 树木年轮对气候变化的响应研究及其应用 [J]. 生态科学, 1999, 18(3): 16-21
- [3] Liang E Y, Shao X M, Hu Y X, *et al.* Topography- and species-dependent growth response to climate of *Sabina przewalskii* and *Picea crassifolia* on the northeast Tibetan Plateau [J]. Forest Ecology and Management, 2006, 236: 268-267
- [4] Liu L S. Climate signals from tree ring chronologies of the upper and lower treelines in Dulan region of the northeastern Qinghai-Tibetan plateau [J]. Journal of Integrative Plant Biology, 2006, 48(3): 278-285
- [5] 兰涛, 夏冰, 贺善安. 马尾松的生长与气候关系的年轮分析 [J]. 应用生态学报, 1994, 5(4): 422-424
- [6] 于大炮, 王顺忠, 唐立娜, 等. 长白山北坡落叶松年轮年表及其与气候变化的关系 [J]. 应用生态学报, 2005, 16(1): 14-20
- [7] 彭剑峰, 勾晓华, 陈发虎, 等. 天山东部西伯利亚落叶松树轮生长对气候要素的响应分析 [J]. 生态学报, 2006, 26(8): 2723-2730
- [8] Mann H B. Nonparametric test against trend [J]. Econometrica, 1945, 13: 245-259
- [9] Kohler M A. On the use of double-mass analysis for testing the consistency of meteorological records and for making required adjustments [J]. Bull Amer Meteorol Soc, 1949, 30: 188-189
- [10] Cook E R, Kairiukstis L A. Methods of Dendrochronology [M]. Netherlands: Kluwer Academic, 1990
- [11] Holmes R L. Computer assisted quality control in tree ring dating and measurement [J]. Tree-Ring Bulletin, 1983, 43: 69-75
- [12] 吴祥定. 树木年轮与气候变化 [M]. 北京: 气象出版社, 1990: 44-65
- [13] Schweinguber F H. Tree Rings and Environment Dendroecology [M]. Beme: Paul Haupt Publishers, 1996: 26-33
- [14] 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): 172-175
- [15] 郑永宏, 梁尔源, 朱海峰, 等. 不同生境祁连圆柏的径向生长对气候变化的响应 [J]. 北京林业大学学报, 2008, 30(3): 7-12
- [16] Liang E Y, Shao X M, Hu Y X, *et al.* Dendroclimatic evaluation of climate-growth relationships of Meyer spruce (*Picea meyeri*) on a sandy substrate in semiarid grassland north China [J]. Trees-Structure and Function, 2001, 15(4): 230-235