

太白山不同海拔太白红杉年轮生长对 气候变化的响应

康永祥¹, 刘婧辉¹, 代拴发², 何晓军²

(1 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨凌 712100; 2 陕西太白山国家级自然保护区管理局, 陕西 眉县 722300)

【摘要】 【目的】研究不同海拔太白红杉年轮宽度序列对气候变化的响应。【方法】以太白红杉为研究对象, 在太白山同一坡向、不同海拔(3 100, 3 200, 3 300 和 3 400 m)分别设立样地, 用生长锥法在树高 1.3 m 处钻取木芯, 经晾干、打磨后, 使用 WinDENDRO™ 年轮分析系统进行轮宽测量和交叉定年, 并分别建立各海拔年表; 利用相关分析及响应分析统计方法, 对年轮与气候因子的相关性及其响应函数解释量进行研究。【结果】最高海拔 4 号样地与其他样地的相关性分析结果存在较大差异。当年生长季(3, 4, 6, 7 月)温度与 1, 2, 3 号样地太白红杉年轮指数序列均呈正相关, 而与 4 号样地呈负相关; 当年生长季(3, 4, 7 月)降水量与 1, 2, 3 号样地年轮指数序列均呈负相关(4 月份 3 号样地除外), 而与 4 号样地呈正相关。由响应函数分析可知, 低海拔采样点 1 号样地, 气象要素(温度和降水量)在响应函数解释量中所占的比重较高; 但与降水量相比, 高海拔林线采样点 4 号样地温度的解释量明显较大。【结论】太白红杉林最高海拔样地年轮指数序列变化与其他样地有明显差异; 在响应函数分析中, 气候要素对最低海拔样地年表贡献率最大, 但最高海拔太白红杉生长对温度表现出较强的敏感性。

【关键词】 太白红杉; 海拔梯度; 年轮宽度; 气候变化

【中图分类号】 S718.51⁺2

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2010)12-0141-07

Characteristics of ring-width chronologies of *Larix chinensis* and their responses to climate change at different elevations in Taibai Mountain

KANG Yong-xiang¹, LIU Jing-hui¹, DAI Shuan-fa², HE Xiao-jun²

(1 College of Forest, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 Administration Bureau of Shaanxi Taibai Mountain National Nature Reserve, Meixian, Shaanxi 722300, China)

Abstract: 【Objective】This research was to explore the responses of tree ring width of *Larix chinensis* at different altitudes in Taibai Mountain to climate change. 【Method】*L. chinensis* was chosen as sample tree and sampling sites were set up at the same direction of slope in different elevations (3 100, 3 200, 3 300, 3 400 m). Samples were collected at the height of 1.3 m of sample trees and then dried, polished and analyzed by Tree-Ring Analysis System-WinDENDRO™ 2005a were done to measure the ring width, cross-dating and establishing chronology in various altitudes; through correlation analysis and response function analysis, the responses of Taibai Alpine *L. chinensis* rings on the climate and the variable of Response Function were studied. 【Result】The result showed that there were differences between plot No. 4 at the highest altitude and other plots (No. 1, 2 and 3). The temperature of March, April, June and July in current year positively was related with tree-ring index series of plot No. 1, No. 2 and No. 3 while negatively related with plot No. 4; in addition, there was a negative relation between the precipitation of March, April, July in

* [收稿日期] 2010-06-16

[基金项目] 国家科技支撑计划项目(2007BAC03A02-06-03); 林业公益性行业科研专项(200804010)

[作者简介] 康永祥(1963—), 男, 陕西乾县人, 副教授, 主要从事树木学研究。E-mail: kangchenj@yahoo.com.cn

current year and tree-ring index series of plot No. 1,2,3 while there was a positive relation between the precipitation of March, April, July in current year and tree-ring index series of plot No. 4. Response Function analysis indicated that the variable of Response Function on the climate elements (temperature and precipitation) at plot 1 of the lowest altitude took the largest proportion within the research plots, while, compared with the precipitation, the variable of Response Function on the temperature at plot 4 of the highest was much bigger. 【Conclusion】 There is a significant difference about the variation of ring-width index between the highest altitude and other elevations. Through Response Function analysis, the contribution rate of climatic factors to chronological tables of the lowest altitude reaches the peak value, but for the highest within research plots, the growth response of *L. chinensis* on temperature is much more sensitive than precipitation.

Key words: *Larix chinensis*; altitude gradient; ring width; climate change

全球气候变暖直接影响到地球生态系统的稳定性和持续性,并将严重威胁人类的生存空间和可持续发展,因此探求气候变化对生态环境和生态系统的影响具有十分重要的战略意义。森林是陆地生态系统的主体,高山林线是其极端生境的代表,也是气候变化的敏感区域。近年来,依据树木年轮与气候变化的关系,国内外学者在世界不同区域的高山地区开展了许多研究工作,这些工作多集中在交叉定年和过去大尺度历史气候的恢复方面^[1-2],而对气候变化后林线树木生长的响应机理研究较少^[3]。太白红杉分布于我国秦岭地区的高山、亚高山地带,垂直分布海拔高度为 2 850~3 500 m,是秦岭高山林线森林的建群种,因此是研究气候变化的理想树种。本研究以陕西省太白县 38 年(1970—2007 年)的气象资料为依据,通过建立标准年表,对太白红杉年轮指数与气候要素进行了相关性和响应函数分析,探讨了太白红杉年轮宽度对气候变化的响应,以期阐明在不同海拔高度条件下,气候变化对树木生长的影响程度,为进一步研究气候变化对山地生态系统的影响奠定基础。

1 研究区自然概况与研究方法

1.1 自然概况

太白山位于陕西省境内的秦岭山脉中段,地理坐标为 N 33°49′~34°10′,E 107°19′~107°58′。本研究样地位于太白山海拔 3 000~3 400 m 的太白红杉林内,上界即为林线高度,上接亚高山灌丛,下接巴山冷杉林带。高山区域地形复杂,属典型的高山气候类型,年平均气温 1.8~2.1℃,年均降雨量 800~900 mm,无霜期 5 月下旬至 9 月中旬,土壤冻结期约 7~8 个月,土壤类型以森林草甸土为主^[4]。

1.2 采样方法

在位于海拔 3 100,3 200,3 300 和 3 400 m 的太白红杉林内,于同一坡向和坡位处分别设立采样点,4 个采样点依次编号为 1,2,3,4(表 1)。采样点一般选在土层薄、坡度较大、树木生长受人类活动影响小的地方。在每个采样点设置 2 个规格为 20 m×20 m 的样方,在样方内选取树高大于 3 m 的样树,采用生长锥法,在离地面 1.3 m 处钻取 2 个木芯作为样本,并记录样树的胸径、基径、冠径、树高等数据。

表 1 采样点概况

Table 1 Information of sample plots

采样点 Sampling site	北纬 North latitude	东经 East longitude	坡向 Slope direction	海拔高度/m Elevation	坡位 Slope position	样本量(样芯/样树) Sample number
1	33°00.253′	107°48.635′	南偏东 South east	3 100	上坡位 Upper slope	44/22
2	34°00.143′	107°48.561′	南偏东 South east	3 200	上坡位 Upper slope	22/11
3	33°59.718′	107°48.685′	南偏西 South west	3 300	上坡位 Upper slope	42/21
4	33°59.883′	107°48.389′	南偏东 South east	3 400	上坡位 Upper slope	38/19

1.3 气象数据的处理及选择

气象数据全部来自太白县气象局,气象局地理坐标为: N 34°03′30.04″,E 107°19′16.72″,海拔高度 1 552 m。选取 1970—2007 年的月总降水量、年总降水量、月平均气温、年总气温数据作为基本气象数据。

太白山高山区域的气候环境与太白县气象资料所反映的气候环境有一定差异。由于山区地形复杂,气候台站较少,野外气候考察往往只是短期的行为,结果不具备代表性,因此山地研究所需要的气候资料大多是通过山区周边地区的气候资料推算得

到的^[4]。本研究将 Tang 等^[5]的各海拔、坡向递减率推算方法作为气温数据的推算依据,以傅抱璞等^[6]于 1983 年研究得出的推算公式 $p_z = p_{h_0} + a[(2H - Z) \cdot Z - (2H - h_0) \cdot h_0]$,作为降水数据的推算依据,分别推算出 4 个海拔高度的气温和降水量。式中: p_z 为某一海拔高度降水量; p_{h_0} 为最大降水高度(H)以下某一参考高度(h_0)的降水量; Z 为海拔高度; a 为区域参数,秦岭南坡 $a = 7.843 \times 10^{-5}$,北坡 $a = 4.795 \times 10^{-5}$ 。

由于树木年轮生长除受当年的气候条件影响外,还受前一年秋季到冬季气象条件的影响。因此,本研究将冬季(前一年 11 月—当年 3 月)、春季(当年 4—5 月)、夏季(当年 6—8 月)、秋季(当年 9—10 月)的平均气温和降水量以及当年 3—10 月各月的平均气温和降水量作为气候因子。

1.4 年轮数据处理

1.4.1 年轮宽度的测量 将所有的样芯进行干燥、打磨处理后,通过 WinDENDRO™ 年轮分析系统扫描,对基于样品的计算机图像进行测量、定年,最后得出年轮数量及材芯样本的年轮宽度序列。

1.4.2 平均敏感度的测定 年轮宽度的逐年变化是衡量气候对树木生长影响的重要指标。在树木年轮的气候研究中,将年轮宽度逐年变化状况作为树木对气候反应的敏感度,一般认为,树木的年轮宽窄变化越大,表明其对环境变化的反应越敏感^[6]。所以,在进行数据处理之前,首先要对样树年轮数据进行敏感度分析。

平均敏感度(MS)按下式^[7]计算:

$$MS = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \left| \frac{2(x_{i+1} - x_i)}{x_{i+1} + x_i} \right| \quad (1)$$

式中: n 为样树的年轮总个数, x_i 为第 i 个年轮的宽度值, x_{i+1} 为第 $i+1$ 个年轮的宽度值。

1.4.3 年轮数据的标准化 为了消除生理特性和立地环境对树木生长的影响,必须将由气候变化引起的年轮变化从时间序列中抽取出来,因此要对年轮数据进行标准化处理^[7]。依据年轮宽度序列特点,选用合适的曲线函数消除其他因素对年轮宽度的缓慢影响后,即可得到仅受气候因子影响所形成的新的年轮宽度序列,再以新的年轮序列除以原年轮宽度序列,即得年轮指数。

根据太白红杉年轮生长序列特点,本研究选用多项式函数对年轮宽度进行标准化,具体方程式为^[7]:

$$I(t) = \frac{d(t)}{D(t)} \quad (2)$$

$$D(t) = a + bt + ct^2 \quad (3)$$

式中: $I(t)$ 为年轮指数, $d(t)$ 为 t 年时的年轮宽度测量值, $D(t)$ 为 t 年时的年轮宽度预计生长值(通过生长模型来计算), t 为树龄。

年轮指数序列总平均值为 1.0,最小值 >0 ,一般多在 2.0 以下,这样的年轮宽度序列即为进一步分析的基本数据^[7-9]。

1.4.4 信噪比 通过方差分析,可得总年表平均指数的方差贡献(即气候信息),剩余的即可认为是非气候因素形成的噪音。信噪比(SNR)是年表中气候信息与其他噪音的比值,用来度量所有样本所表达共有的环境信息量的多少。一般来讲, SNR 值越大越好。

1.4.5 平均相关系数 序列间的平均相关系数可用来度量不同年轮宽度序列间年轮宽度变化的同步性;不同树间的平均相关系数则可用来度量不同样树间的年轮宽度变化的同步性。相关系数高,则证明由样本所建成的年表包含的环境信息丰富,适合于树木年代气候学研究^[9]。

1.4.6 样本的一阶自相关 样本一阶自相关的大小反映了上一年气候状况对当年年轮宽度生长的影响。一阶自相关系数大,则上年气候对当年年轮宽度生长影响强,反之则上年气候对当年年轮宽度生长影响弱^[7]。

1.4.7 样本量的总体代表性 交叉定年需要较多的样本来消除非气候因子的噪声干扰,但在实际工作中不可能采集非常多的样本,因而可用样本总体代表性(EPS)度量样本量的代表性^[1]。

$$EPS(t) = \frac{r_{tt}}{r_{tt} + (1 - r_{tt})/t} \quad (4)$$

式中: t 为样本数, r_{tt} 为不同树间的相关系数。

EPS 是样本数的函数,即随着样本数的增加样本的群体代表量会相应增大。现在很多研究都指出,年表可以接受的最低 EPS 值为 0.85^[7-10]。

2 结果与分析

2.1 不同海拔太白红杉年轮宽度序列的差异

在树木年轮生态学研究,对原始年轮数据应建立某些统计模式,采用参数化的统计量进行统计检验^[10]。太白红杉年轮宽度序列的检验结果见表 2。由表 2 可以看出,样本序列与主序列间的平均相关系数以 2 号采样点最高,其次是 1 号采样点,4 号采样点最低;4 个采样点太白红杉年轮宽度序列的平均敏感度介于 0.144~0.213,其中 1 号采样点最

高,整体表现为先降低后升高的敏感趋势;一阶自相关关系数值均较低,但随海拔的升高表现为先升高后降低的变化趋势,表明本研究区域的林木年轮生长整体受上一年气候变化的影响较弱。

表 2 不同海拔太白红杉年轮宽度序列的交叉定年统计量

Table 2 Statistics of datecrossing of tree-ring width series of *L. chinensis* at different altitudes

采样点 Sampling site	海拔高度/m Elevation	样本量 (样芯/样树) Sample number	平均相关系数 Correlation	平均年轮宽度/mm Mean ring-width	一阶自相关系数 First-order autocorrelation	平均敏感度 Mean sensitivity
1	3 100	44/22	0.558	0.320	0.067	0.213
2	3 190	22/11	0.725	1.705	0.161	0.144
3	3 300	42/21	0.525	0.578	−0.035	0.208
4	3 400	38/19	0.240	1.523	−0.277	0.189

2.2 不同海拔太白红杉年轮指数序列统计结果的比较

表 3 列出了 4 个采样点太白红杉年轮指数序列的统计特征及其公共区间(1970—2007 年)的分析结果。由表 3 可以看出,各参数统计量发生了很大变化,与表 2 太白红杉年轮宽度序列交叉定年统计量相比,统计值整体有所提高,如平均敏感度明显提高至 0.216~0.284,一阶自相关系数也发生了明显

的变化。这说明,经过标准化后的年轮指数序列能更准确的反映各海拔采样点的气候信息。

从表 3 公共区间分析数据可以看出,不同海拔样地的样本总体代表性最小值为 0.862,符合≥0.85的可接受水平,信噪比和第一主成分解释方差比较高,均达到了进一步分析的要求^[11]。这说明太白红杉随着海拔高度的变化,其年轮指数对气候变化的响应是显著的。

表 3 太白红杉年轮指数序列统计特征及公共区间分析结果

Table 3 Statistics of tree-ring width index of *L. chinensis* and analysis results of common interval

采样点 Sampling site	各序列统计量 Statistics of series				公共区间分析结果 Analysis result of common interval				
	年轮指数均值 Mean ring-index	平均敏感度 Mean sensitivity	平均标准差 Average standard deviation	一阶自相关系数 First order autocorrelation	树间相关系数 Correlation between trees	树内相关系数 Correlation between samples	信噪比 Signal to noise	样本总体代表性 Subsample signal strength	第一主成分解释方差 Variance in first eigenvector
1	0.983	0.280	0.175	0.165	0.537	0.576	24.13	0.913	0.891
2	1.012	0.216	0.154	0.135	0.541	0.642	22.41	0.862	0.857
3	1.009	0.277	0.171	0.016	0.528	0.563	21.85	0.901	0.825
4	0.974	0.284	0.157	0.163	0.487	0.521	23.46	0.887	0.895

2.3 不同海拔太白红杉年轮指数序列与气候要素的相关分析

太白山各海拔采样点太白红杉年轮指数序列与气象要素的相关分析结果见表 4。从表 4 可以看出,各海拔太白红杉年轮指数序列与月均温的关系为:在 1,2,3 号采样点,年轮指数序列与 3,4 月份月均温均呈正相关关系,但未达到显著相关水平;相反,4 号样地与 3,4 月份月均温呈负相关关系,其中与 3 月份均温的相关系数为−0.41,达到显著水平($P<0.05$);1,2,3 号采样点年轮指数序列与 6,7 月均温均呈正相关,而 4 号采样点与其均呈负相关,相关系数分别为−0.51($P<0.01$)和−0.37($P<0.05$)。

各海拔年轮指数序列与月降水量的相关关系为:除 3 号采样点年轮指数序列与 4 月降水量呈正相关外,1,2,3 号采样点年轮指数序列与 3,4 月降水量均呈负相关关系,其中 1 号采样点年轮指数序列与 4 月降水量的相关系数达−0.42($P<0.05$),3 号采样点

年轮指数序列与 3 月降水量的相关系数达−0.47($P<0.01$);4 号样地年轮指数序列与 3,4 月份月降水量均呈正相关关系;1,2,3 号采样点的年轮指数序列与 7 月降水量呈负相关,而 4 号采样点与 7 月降水量却呈正相关关系,进一步体现了 4 号样地与 1,2,3 号样地在年轮指数序列与各月份降水量相关性上的明显差异。

各采样点与其他月份月均温和降水量的相关系数均较小,且变化规律不明显。

太白红杉年轮指数序列与春季温度和降水量的相关关系为:1,2,3 号样地的年轮指数序列与春季温度之间呈正相关,其中 1 号样地的相关系数为 0.32,达显著水平,而高海拔 4 号样地年轮指数序列与春季温度呈负相关关系;年轮指数序列与春季降水量的相关性随海拔的升高而呈递减趋势,高海拔地区与降水量之间的关系较小。1,2,3 号样地太白红杉年轮指数序列与夏季温度正相关,相关性整体不高,而高海拔 4 号样地表现为显著负相关;4 号样

地与夏季降水量的相关性虽不高,但仍然表现为负相关关系。秋季降水量与高海拔 4 号样地的年轮指数序列为负相关关系,与其他 3 个样地为不显著正

相关。各采样点太白红杉年轮指数与冬季温度和降水量的相关性均不显著。

表 4 不同海拔采样点太白红杉年轮指数序列与气象要素的相关分析结果

Table 4 Correlation between width and climate variables of *L. chinensis* at different altitudes

均温 Mean temperature	采样点 Sampling site				降水量 Precipitation	采样点 Sampling site			
	1	2	3	4		1	2	3	4
3 月 Mar.	0.16	0.14	0.17	-0.41 *	3 月 Mar.	-0.10	-0.29	-0.47 * *	0.19
4 月 Apr.	0.26	0.14	0.12	-0.12	4 月 Apr.	-0.42 *	-0.23	0.07	0.07
5 月 May	0.05	0.07	-0.05	-0.16	5 月 May	-0.13	0.03	0.07	0.04
6 月 Jun.	0.10	0.02	0.18	-0.51 * *	6 月 Jun.	0.10	0.29	0.20	-0.14
7 月 Jul.	0.11	0.30	0.12	-0.37 *	7 月 Jul.	-0.07	-0.01	-0.05	0.22
8 月 Aug.	-0.14	-0.22	-0.18	-0.06	8 月 Aug.	-0.07	-0.03	0.15	-0.29
9 月 Sep.	0.09	0.05	-0.05	-0.21	9 月 Sep.	0.05	0.28	0.10	0.18
10 月 Oct.	0.04	-0.06	-0.04	-0.08	10 月 Oct.	-0.07	0.30	0.19	0.16
春 Spring	0.32 *	0.14	0.05	-0.19	春 Spring	-0.35 *	-0.10	0.10	0.07
夏 Summer	0.02	0.02	0.04	-0.40 *	夏 Summer	-0.06	0.07	0.15	-0.19
秋 Autumn	0.08	-0.01	-0.05	-0.17	秋 Autumn	0.01	0.25	0.17	-0.21
冬 Winter	-0.16	0.07	0.03	-0.26	冬 Winter	0.15	-0.05	-0.21	-0.05

注:数据后标 * 表示相关性达显著水平($P<0.05$),标 * * 表示相关性达极显著水平($P<0.01$)。
Note: * at the end of data represents the correlation reaching significant level, * * at the end of data represents the correlation reaching more significant level.

响应函数分析结果(图 1)显示,从整体上看,温度、降水量及二者共同影响对太白红杉年轮指数序列的响应函数解释量均随海拔高度的升高而下降;其中温度对高海拔 4 号样地年轮指数序列影响的解

释量较 3 号样地有所升高,但仍低于 1,2 号样地,说明高海拔太白红杉林与温度的关系较为密切,温度对其生长表现出一定的制约作用。

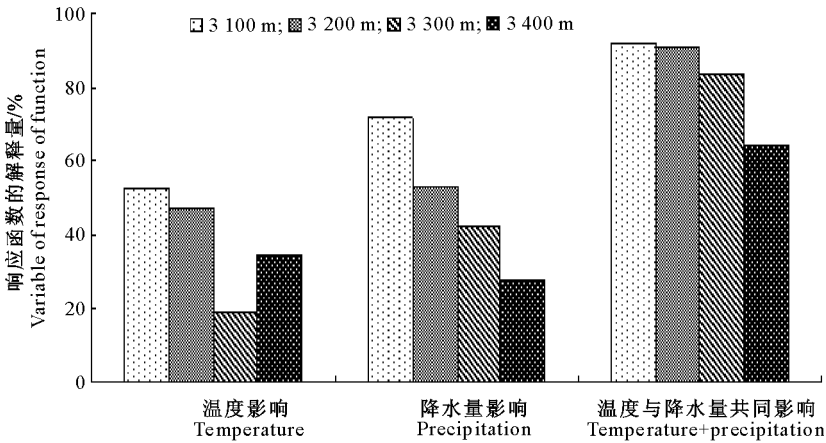


图 1 不同海拔太白红杉年轮径向生长对月均温和月降水量的响应分析

Fig.1 Response analysis between tree-ring radial growth of *L. chinensis* at different elevations and mean monthly temperature and total monthly precipitation

3 结论与讨论

本研究通过对太白山相同坡向不同海拔高度太白红杉年轮的调查可知,年轮宽度的变化随海拔的升高呈先增大后减小的趋势。这主要是因为低海拔采样点的树木生长密集,林木间竞争大,进而抑制了

树木生长;高海拔采样点由于土层较薄、光照强度较大,土壤含水量成为树木干物质生产的关键限制因子^[12],同时紫外线的辐射及风力对树木生长也有很大的影响。

太白红杉年轮指数序列与气候要素的相关分析结果显示,1,2,3 号样地年轮指数序列与气候要素

之间的相关性较为一致,而 4 号样地的相关性与其他样地之间存在明显差异。1,2,3 号采样点年轮指数序列与生长季初、中期温度均为正相关关系,而 4 号采样点与之均呈负相关关系。郑永宏等^[11]在对祁连圆柏的研究中发现,森林上限处祁连圆柏径向生长的限制性气候因子可能与其他样点存在差异。

1,2,3 号采样点年轮指数序列与 3,4 月温度呈正相关关系,生长季初期温度的升高有利于积雪融化,此时温度对树木生长的影响相当于降水量的影响。林线区域气候带属于寒带及亚寒带,一年中寒冷期较长,9 月开始降雪直至次年 5 月,春季积雪融化对树木生长起到的作用是不容忽视的。国内外的一些研究均表明,积雪以融水形式对树木的生长起到了重要作用^[13]。

4 号采样点年轮指数序列与 3,4 月温度呈负相关,主要原因是 4 号样地为太白山林线最上限,气候变化对树木生长的影响更为显著,Vaganov 等^[14]和 Peterson 等^[15]研究认为,温度升高能加速积雪融化和蒸发,增加山脊和南坡夏季的干旱频率,加速土壤含水量下降,导致干旱程度加重,进而对树木生长产生一定的限制作用。4 号样地年轮指数序列与 3 月降水量呈正相关关系,可见水分增加的确对树木生长有一定促进作用。

4 号样地年轮指数序列与夏季 6、7 月温度之间表现为显著或极显著负相关。Rolland^[16]在研究中提到,最高海拔树木在强烈的太阳辐射下,其代谢会受到影响,进而导致树木自身缺水,使正常生长受到抑制。可见,夏季温度升高对树木径向生长的抑制作用更为明显。

通过响应函数分析发现,低海拔采样点 1 号样地气象要素(温度和降水量)在响应函数解释量中所占的比重较高。彭剑锋等^[17]在对阿尼玛卿山青海云杉的研究中也提出,低海拔的响应函数解释量最高。但和降水量相比,高海拔林线采样点 4 号样地温度的解释量明显较大,说明太白红杉生长对气温具有较强的敏感性。由于气候因子的响应结果因海拔的不同而产生一定的差异,因此,在今后进行树木年轮学研究时,应考虑在高、低海拔分别设立采样点,其中高海拔林线是研究温度变化对年轮影响的最有潜力的采样点。

[参考文献]

[1] Fritts H C. Trees rings and climate [M]. Mon: Academic Press,1976,376-412,534.

[2] 邵雪梅. 树木年代学的若干进展 [J]. 第四纪研究,1997,8(3): 265-271.
Shao X M. The research progress of dendrochronology [J]. Quaternary Science,1997,8(3):265-271. (in Chinese)

[3] 戴君虎,崔海亭. 国内外高山林线研究综述 [J]. 地理科学, 1999,19(3):243-249.
Dai J H,Cui H T. A review on the studies of alpine timberline [J]. Scientia Geographica Sinica,1999,19(3):243-249. (in Chinese)

[4] 任毅,刘明时,田联会,等. 太白山自然保护区生物多样性研究与管理 [M]. 北京:中国林业出版社,2000.
Ren Y,Liu M S,Tian L H,et al. The research and management of biodiversity in Taibai Mountain Preserve [M]. Beijing:The Forestry Press,2000. (in Chinese)

[5] Tang Z Y,Fang J Y. Temperature variation along the northern and southern slopes of Taibai Mt,China [J]. Agricultural and Forest Meteorology,2006,139:200-207.

[6] 傅抱璞,虞静明,李兆元. 秦岭太白山夏季小气候特点 [J]. 地理学报,1983,37(1):88-97.
Fu B P,Yu J M,Li Z Y. Characteristics of the summer microclimate in Taibai Mt of Qinling [J]. Acta Geographica Sinica, 1983,37(1):88-97. (in Chinese)

[7] 吴祥定. 树木年轮与气候变化 [M]. 北京:气象出版社,1990: 187-234.
Wu X D. The relationship between tree rings and climatic change [M]. Beijing:China Meteorological Press,1990:187-234. (in Chinese)

[8] 王晓春. 中国东北亚高山林线对全球气候变化的响应 [D]. 哈尔滨:东北林业大学,2004.
Wang X C. Response of subalpine timberline in northeast China to global climate change [D]. Harbin:Northeast Forestry University,2004. (in Chinese)

[9] 李江凤,袁玉江,由希尧,等. 树木年轮水文学研究与应用 [M]. 北京:科学出版社,2000.
Li J F,Yuan Y J,You X R,et al. The research and application of dendrohydrology [M]. Beijing:Science Press,2000. (in Chinese)

[10] 梁尔源. 白杆的树木年轮生态学研究 [C]. 北京:中国科学院植物研究所,2001.
Liang E Y. A dendroecological study of *Picea meyeri* [C]. Beijing:Institute of Botany,CAS,2001. (in Chinese)

[11] 郑永宏,梁尔源. 不同生境祁连圆柏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.
Zheng Y H,Liang E Y. Response of radial growth of Qilian juniper to climatic change under different habitats [J]. Journal of Beijing Forestry University,2008,30(3):7-12. (in Chinese)

[12] Tranquillini W. Physiological ecology of the alpine timberline: Tree existence at high altitudes with special reference to the European Alps [M]. Berlin:Springer-Verlag,1979.

[13] 李江凤,袁玉江. 雪在年轮生长中的作用 [J]. 新疆大学学报: 自然科学版,1984,1(2):85-92.

Li J F, Yuan Y J. Affect of snow in tree-ring [J]. Journal of Xinjiang University; Natural Science Edition, 1984, 1(2): 85-92. (in Chinese)

[14] Vaganov E A, Hughes M K, Kirdyanov A V, et al. Influence of snowfall and melt timing on tree growth in subarctic Eurasia [J]. Nature, 1999, 400: 149-151.

[15] Peterson D W, Peterson D L, Ettl G J. Growth response of subalpine fir to climatic variability in the Pacific Northwest Canadian [J]. Journal of Forest Research, 2002, 32: 1503-1517.

[16] Rolland C. Tree-ring and climate relationships for *Abies alba* in the internal Alps [J]. Tree-Ring Bulletin, 1993, 53: 1-11.

[17] 彭剑锋, 勾晓华, 陈发虎, 等. 阿尼玛卿山地不同海拔青海云杉树轮生长特性及其对气候的响应 [J]. 生态学报, 2007, 27(8): 3268-3276.

Peng J F, Gou X H, Chen F H, et al. Characteristics of ring-width chronologies of *Picea crassifolia* and their responses to climate at different elevations in the Anyemaqen Mountains [J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(8): 3268-3276. (in Chinese)

(上接第 140 页)

[20] 卜玉山, 邵海林, 王建程. 不同覆盖材料对玉米幼苗生长和土壤养分含量及分布的影响 [J]. 水土保持学报, 2002, 16(3): 40-42.

Bu Y S, Shao H L, Wang J C. Effects of different mulching materials on corn seedling growth and soil nutrients contents and distributions [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2002, 16(3): 40-42. (in Chinese)

[21] 赵爱琴, 李子忠, 龚元石. 生物降解地膜对玉米生长的影响及其田间降解状况 [J]. 中国农业大学学报, 2005, 10(2): 74-78.

Zhao A Q, Li Z Z, Gong Y S. Effects of biodegradable mulch film on corn growth and its degradation in field [J]. Journal of China Agricultural University, 2005, 10(2): 74-78. (in Chinese)

[22] 钱桂琴, 沈善铜, 朱启泰. 生物降解淀粉树脂地膜应用试验初报 [J]. 江苏农业科学, 1997(5): 52-53.

Qian G Q, Shen S T, Zhu Q T. Application of biodegradable starch resin film preliminary report [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 1997(5): 52-53. (in Chinese)

[23] 张永明. 可降解地膜覆盖玉米试验 [J]. 甘肃农业, 2006(1): 207.

Zhang Y M. Degradable plastic film covering test [J]. Gansu Agriculture, 2006(1): 207. (in Chinese)

[24] 关新元, 尹飞虎, 刘齐锋. 降解地膜在棉花上应用效果初探 [J]. 新疆农垦科技, 2001(4): 37-38.

Guan X Y, Yin F H, Liu Q F. Degradable plastic film applied on the cotton [J]. Xinjiang Reclamation Science, 2001(4): 37-38. (in Chinese)

[25] 杨韵娟, 李崇刚, 王敏茹. 浅析双降解地膜的试验与应用 [J]. 黑龙江环境通报, 1999, 23(2): 44-46.

Yang Y J, Li C G, Wang M R. On the two-degradable plastic film testing and application [J]. Heilongjiang Environmental Journal, 1999, 23(2): 44-46. (in Chinese)

[26] 章 剑. 降解膜使用效果比较 [J]. 安徽农学通报, 2005, 11(3): 23.

Zhang J. Comparison of degradation of membrane used [J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2005, 11(3): 23. (in Chinese)

[27] 张喜英, 裴 冬, 由懋正. 几种作物的生理指标对土壤水分变动的阈值反应 [J]. 植物生态学报, 2000, 24(3): 280-283.

Zhang X Y, Pei D, You M Z. Response of leaf water potential, photosynthesis and stomata conductance to varying soil moisture in four crops: winter wheat, corn, sorghum and millet [J]. Acta Phytocologica Sinica, 2000, 24(3): 280-283. (in Chinese)

[28] 李建奇. 地膜覆盖对春玉米产量、品质的影响机理研究 [J]. 玉米科学, 2008, 16(5): 87-92, 97.

Li J Q. The mechanism study of the influences of plastics film mulch on grain yield and seed quality of spring maize [J]. Journal of Maize Sciences, 2008, 16(5): 87-92, 97. (in Chinese)