

DOI:10.12403/j.1001-1498.20220144

# 西藏色季拉山西藏红杉径向生长对气温和降水波动的响应

于德水<sup>1,2,3,4</sup>, 卢杰<sup>1,2,3,4\*</sup>, 张萌<sup>1,2,3,4</sup>, 张新生<sup>1,2,3,4</sup>

(1. 西藏农牧学院高原生态研究所, 西藏 林芝 860000; 2. 西藏高原森林生态教育部重点实验室, 西藏 林芝 860000; 3. 西藏林芝高山森林生态系统国家野外科学观测研究站, 西藏 林芝 860000; 4. 西藏高寒植被生态安全重点实验室, 西藏 林芝 860000)

**摘要:** [目的] 基于色季拉山地区特有树种西藏红杉年轮样芯, 研究西藏红杉径向生长对气温和降水量的波动响应。[方法] 利用树木年代学的方法, 结合 TASP-Win 及 ARSTAN 程序建立标准年表, 采用 Pearson 及 bootstrap 的计算方式将年轮宽度指数与 1961—2020 年气温及降水分别进行相关分析。[结果] 径向生长在气温波动前后存在较大的差异。在气温波动前西藏红杉与前一年 8 月, 当年 1 月及 6 月平均气温呈正相关 ( $P < 0.05$ ), 与前一年 9—10 月及 12 月平均降水呈正相关, 与前一年 8 月降水呈负相关, 与 1 月至 12 月的相对湿度呈显著正相关 ( $P < 0.01$ )。在气温发生波动后, 与当年 3—12 月平均气温呈负相关, 与前一年 8 月及当年 6 月降水为显著正相关。[结论] 藏东南地区的气候条件极为特殊, 气候的波动导致水热条件发生变化是限制西藏红杉径向生长的主要原因, 在非生长季, 气温短暂的变化对树木径向生长同样有着显著的影响。

**关键词:** 西藏红杉; 树木年轮; 气候波动; 色季拉山

**中图分类号:** S718.45

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-1498(2023)01-0091-09

树木年轮气候学起源于 20 世纪初, 当 Douglass A E 观测太阳黑子活动时发现, 树木生长与外界环境的变化存在着某种紧密的关系<sup>[1]</sup>。在随后的研究中被证明, 环境因素所导致大气中的水热条件发生变化, 而这种变化将会影响树木的生长, 甚或将致使树木群落发生衰退<sup>[2-3]</sup>。青藏高原地区气候自 20 世纪 90 年代末至今, 气温上升的趋势日益显著<sup>[4-5]</sup>。对于农业生产<sup>[6-7]</sup>、物种多样性<sup>[8]</sup>、灾害防治<sup>[9]</sup>、社区内日常活动<sup>[10]</sup> 产生了严重的影响。其次, 随着气温的升高, 导致局部地区的林线发生了明显的抬升<sup>[11]</sup>, 而与之对应的雪线及永冻冰川呈现出显著的退后变化<sup>[12]</sup>。当前树木学家认为, 春季气温直接影响径向生长<sup>[13-14]</sup>, 且与当年 6—7 月的温度呈显著正相关<sup>[15-16]</sup>。同时, 树木径向生长受海拔的影响存在着“分异响应”<sup>[14,17-19]</sup>, 致使相同树种在同一地区

中的不同海拔梯度, 表现出对水热条件出现截然不同的响应变化。分异响应的出现对于研究古气候重建或未来气候的预测有着宝贵的科研价值。藏东南地区作为青藏高原中的特殊生态环境, 受印度洋暖流的影响, 形成了罕见的亚高山温带半湿润气候区。在区域内选择特有树种, 分析其径向生长与气候变化之间的关系, 判断其生长过程中的响应因子, 将有助于了解该区域内的气温变化情况, 并针对该地区的特有树种开展有效的科学防护, 为当地物种多样性的保护提供理论支撑。

色季拉山位于念青唐古拉山脉, 山脉的形成隔绝了来自印度洋的洋流, 但在该影响下, 也形成了藏东南地区独特的生态气候。当前在该地区已开展了大量的树木年轮研究, 如: 张齐兵等<sup>[20]</sup> 利用树木年轮分析树木生理与气候波动之间的关系; 刘晓

收稿日期: 2022-03-30 修回日期: 2022-06-24

基金项目: 科技部国家野外科学观测站(生态系统)运行补助项目(2021—2025); 西藏高寒植被生态安全重点实验室研究生开放基金(STAQ-2021Y-3)

\* 通讯作者: 卢杰, 博士, 教授, 博士生导师。主要研究方向: 高原植物生态和植物保护。联系方式: 18989040417 E-mail: tibetlj@163.com

宏等<sup>[21]</sup>利用林芝冷杉探究冷杉<sup>13</sup>C序列所受气候因子影响等诸多方面的研究,但基础性研究仍存在不足:前人的研究结论多数采用了当地的优势树种,而针对特有树种与气候之间的响应关系则缺少深入的研究分析;在进行气象分析的过程中尺度过大,虽然从宏观角度分析整体气候有着明显的优势,但由于将部分地区的特有气候选择剔除,因而针对有着特殊气候的区域并不能很好的表达。本研究将采用西藏地区特有树种西藏红杉(*Larix griffithii* Hoof)进行分析,由于其径向生长对气候的变化有着十分敏感的响应,在开展相关气候-树木径向生长之间的联系时常作为实验研究树种<sup>[22-27]</sup>。并分析其径向生长过程中对气候的响应情况,探讨树木年轮宽度指数与水气要素之间的关系,并确定树木在生长过程中限制因素的影响时间,为保护西藏红杉林及维持色季拉山森林生态系统的稳定提供理论基础。

## 1 研究区域与方法

### 1.1 研究区域概况

色季拉山位于藏东南林芝地区境内,属念青唐古拉山脉。主体山峰位于 $93^{\circ}12' \sim 95^{\circ}35' E$ ,  $29^{\circ}10' \sim 30^{\circ}15' N$ 之间<sup>[28]</sup>。山体主要走向为从西北至东南,坡向呈东西向,平均海拔3 000 m以上,色季拉山最高峰为5 300 m;最低谷位于帕隆藏布峡谷,海拔2 000 m左右,在印度洋季风的影响下,季节变化干湿分明<sup>[29]</sup>。实验区内林分郁闭度为0.6,坡向为北坡,坡度为 $33^{\circ}$ 。年平均气温 $8.32^{\circ}C$ ,最低气温常出现在每年1月(月均温 $0.24^{\circ}C$ ),最高气温常出现在每年7月(月均温 $15.56^{\circ}C$ ),全年平均降水量(MAP)762.77 mm,主要集中于6—9月(月均降水量 $>120$  mm)(图1)。植被垂直分布明显,随海拔的上升,从高山阔叶林至高山草甸逐级分布<sup>[30]</sup>,林下植被以三花杜鹃(*Rhododendron triflorum* Hook)、褐背柳(*Salix daltoniana* Anderss)、草玉梅(*Anemone rivularis* Buch)等为主。

西藏红杉作为西藏地区的特有树种,当前分布地主要集中于西藏东南地区海拔3 100~4 100 m,且多与冷杉树种形成大规模的混交林。西藏红杉受环境因素的影响,生长周期缓慢,在当地的实验开展中很少有人关注西藏红杉本身的生长状况。同时,受本世纪的气温及上世纪的西部开发建设所影

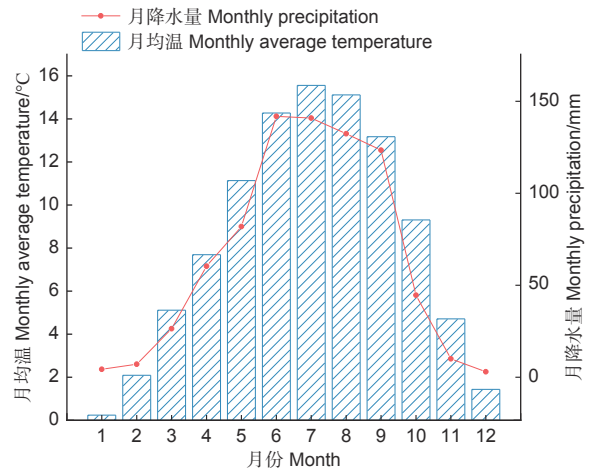


图1 观测研究站1961—2020年月平均温度和月降水量

Fig. 1 The monthly mean temperature and monthly precipitation of the Research Station from 1961 to 2020

响,西藏红杉的纯林及高龄树( $>100$  a)已极少能见。当前在藏东南地区所知的现存西藏红杉树,多数树龄在50~70 a左右。在近几年的色季拉山国家生态公园的保护下,在部分人迹稀少,山谷断崖之间存在有小面积的西藏红杉纯林。西藏红杉受生长地的环境影响,以及自身生长的特殊性,树木本身对于外界环境的响应十分敏感,在当地作为一种监测气候环境的指示性树种有着极高开发潜能。

### 1.2 研究方法

1.2.1 树轮资料和年表建立 野外采集样品依照国际树轮数据库(international tree-ring data bank, ITRDB)的标准,2021年7月在色季拉山海拔3 400 m附近的3个西藏红杉聚集地内随机选择30株孤立树进行采集(图2),每株树木沿东南和西北两个方向,相互垂直钻取2根树芯,在胸径处取样,共钻取60根树木年轮样芯。在室内对树芯样品进行预处理,待样本自然阴干后,将其表面打磨光滑,直至肉眼可清晰分辨树木的早晚材之间的界线为止。

利用Lintab<sup>TM</sup>6.0树轮宽度测量仪(精度0.01 mm)对采集的树芯宽度进行测量,同时结合TASP-Win程序,进行交叉定年检验,对其中部分伪年轮或丢失年轮进行修正,最终包含有56根树芯检验通过,采用ARSTAN程序进行标准化处理,采用步长为0.6的样条函数进行拟合,去除气候因子以外的影响因素。最后建立树轮宽度年表。

1.2.2 气象数据处理 本实验中气象数据来源于

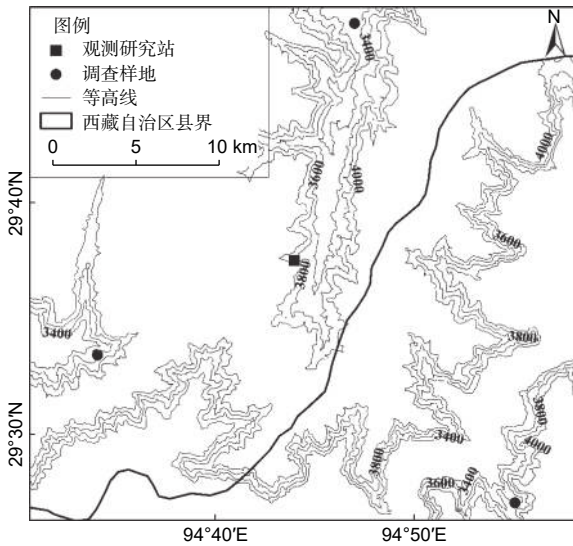


图 2 研究区域内调查样地及观测研究站位点

Fig. 2 Mapping of sample plots and observation stations in the study area

西藏林芝高山森林生态系统国家野外科学观测研究站(简称观测研究站), 地理坐标  $94^{\circ}42'36.90''$  E,  $29^{\circ}38'41.87''$  N; 海拔 3 800 m (图 2); 存在的部分遗漏数据由中国气象局国家气象科学数据 (<http://data.cma.cn/>) 提供<sup>[31]</sup>, 整理 1961—2020 年以来的月均温、月最低气温、月最高气温、月平均降水量等气候数据, 同时考虑到海拔的影响, 将获取的初始数据进行修正, 依照海拔每上升 100 m 气温下降  $0.6^{\circ}\text{C}$  的规则对获取的气象数据进行处理, 并将处理过的部分数据与气象局所监测的气象数据进行趋势变化对比, 其结果在 SPSS 26 中采用 Pearson 相关性检验, 其变化趋势大体通过 ( $P < 0.05$ ) 检验, 符合研究内允许误差。

运用 SPSS 26 采用 Pearson 分析法, 分析月平均气温、最低气温、最高气温、平均降水、相对湿度的年际变化趋势。采用 Pearson 及 bootstrap 等相关性分析方法, 分析的过程由 SPSS 26 计算完成, 利用 Origin 2019b 制图。

## 2 结果与分析

### 2.1 研究区域气候变化特征

研究区 1961—2020 年间的平均温度、平均降水量如图 3, 年均降水量、年均气温呈显著上升趋势。研究区域内年均温度在 1999 年出现较大波动, 1998 年出现了近 50 a 的极低气温, 而在 2004 年出现了近 50 a 以来的极高气温, 自 1999 年后气温年波动较大, 且从 2005 年始至 2014 年, 出

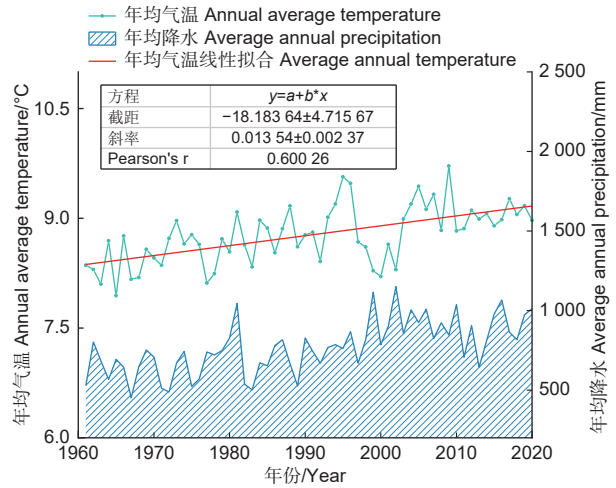


图 3 观测研究站 (1961—2020 年) 年平均温度、年平均降水变化趋势

Fig. 3 Trends of annual average temperature and annual average precipitation to Research Station (1961—2020)

现了连续 10 年的年降水量骤减。

### 2.2 年表特征

为了使标准统计年表有更多的气象信息, 同时希望年表中可以包含更多的小波段信号, 基于以上两点需求选择标准年表 (STD) (图 4) 进行气候-树木径向生长的相关性分析, 运用 ARSTAN 程序计算了树木宽度年表的统计参数 (表 1), 包括有平均敏感度 ( $MS$ )、第一主成分 ( $PC1$ )、标准偏差 ( $SD$ )、一阶自相关系数 ( $AC1$ )、信噪比 ( $SNR$ )、样品总体代表性 ( $EPS$ ) 和样品相关系数 ( $R1$ )。其中标准年表的  $MS$ 、 $SD$ 、 $R1$  数值越大, 表明树木对气候的变化越敏感;  $SNR$  越大, 年表中包含的气象信号越多;  $EPS$  和  $PC1$  可以表示采样树木对研究区域树木的整体代表性, 尤其是  $EPS$  ( $>0.85$ ) 表明树木对气候之间的响应程度较好;  $AC1$  越大表明气候对树木的“滞后性”越强。

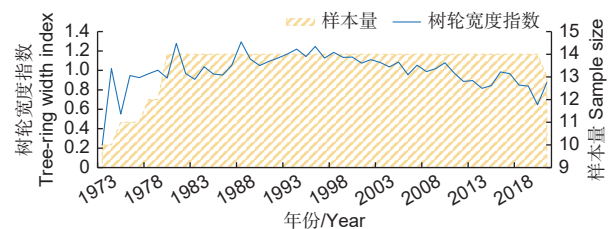


图 4 西藏红杉标准年表

Fig. 4 The standard chronology of *L. griffithii*

### 2.3 径向生长与温湿度之间的关系

西藏红杉径向生长与温湿度相关分析如图 5 所

表1 西藏红杉标准年表统计特征

Table 1 Statistical characteristics of the standard chronology of *L. griffithii*

样本量(树/样芯) Sample size(tree/cores)	56/60
年表时段 Chronology span	1972—2020
平均敏感度 Mean sensitivity (MS)	0.122
公共区间 Common period(year)	1972—2020
第一主成分 The first principal component (PC1) /%	47.8
标准偏差 Standard deviation (SD)	0.168
一阶自相关系数 First order autocorrelation (AC1)	0.361
信噪比 Signal-noise ratio (SNR)	19.538
样品总体代表性 Expressed population signal (EPS)	0.911
样本相关系数 Mean-inter-series-correlation (R1)	0.319

示, 径向生长对年平均温的响应强度较低, 与上一年 8—11 月之间的相关性较弱 ( $P>0.05$ ), 但存在有较明显的滞后性现象。但主要与 5—6 月生长季前期的气温存在显著正相关性 ( $P<0.05$ )。与年月均降水的相关性较强, 与上一年 8 月的降水存在显著的负相关 ( $P<0.01$ ), 与上一年 12 月的降水存在显著的正相关 ( $P<0.01$ )。而与当年 3 月, 5 月的降水存在明显的负相关 ( $P<0.05$ ), 表明上一年的降水量对研究区域内的西藏红杉径向生长有较大的影响。

西藏红杉径向生长与研究区域内最高气温均存在明显的负相关 ( $P<0.05$ ), 仅与当年 3 月, 5 月, 8 月, 11 月的最高气温表现出不明显的相关性。同时西藏红杉的径向生长与当年最低气温均表现出极其显著的相关性 ( $P<0.01$ )。表明研究区域内的最低气温是影响西藏红杉径向生长的主要因子之一, 研究区域内的相对湿度均表现出负相关 ( $P<0.05$ ), 仅 3 月及 10 月与其生长过程的相关性较为脆弱。

由图 6 可以看出, 在气温发生波动前, 西藏红杉主要受气温的影响较大, 与前一年 8 月, 当年 1 月及 6 月呈正相关 ( $P<0.05$ ), 同时存在有多月受降水量的影响, 与前一年 9—10 月及 12 月呈正相关 ( $P<0.05$ ), 且与前一年 8 月呈负相关 ( $P<0.05$ ), 且在降温前与当年 6 月的降水量并不显著。而在降温后, 与气温关系多数变为负相关 ( $P<0.05$ ), 仅当年 1 月的气温表现出较为明显的正相关。而降水则与前一年 8 月的降水量呈现出显著正相关性 ( $P<0.01$ ), 与前一年 11 月表现出

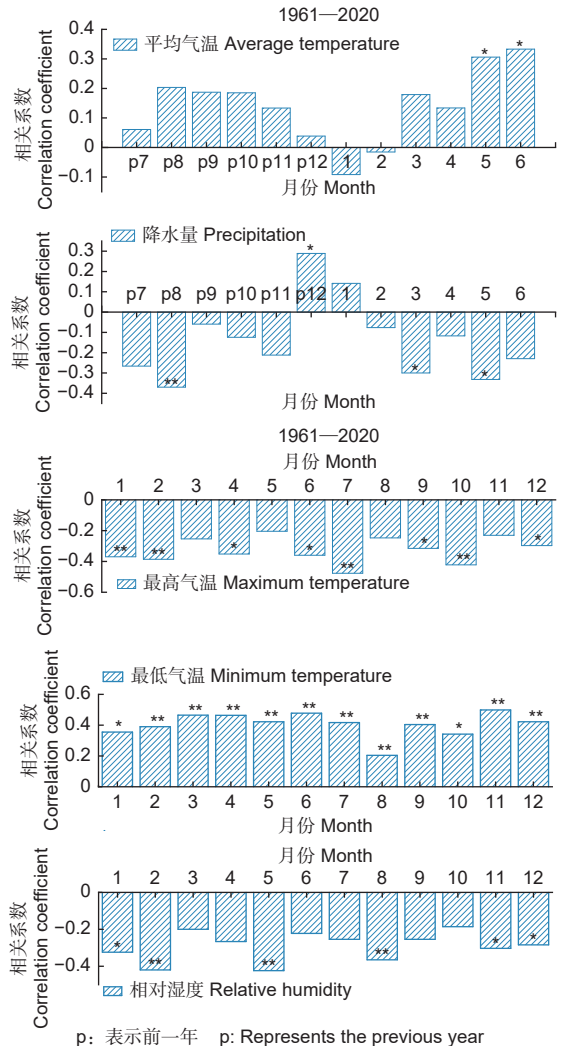


图5 研究区域内西藏红杉标准年表与气候的相关性系数

Fig. 5 Correlation coefficient between standard chronology and monthly average temperature and precipitation

显著的负相关 ( $P<0.05$ ), 且与当年 2 月的降水呈显著的负相关 ( $P<0.05$ )。在降温前, 与气温的相关性主要是正相关性, 而气温发生波动后多数气温变为负相关性。表明西藏红杉的径向生长在温度较低的时期主要受前一年气温影响而有着显著的滞后效应, 在温度较高的期间, 西藏红杉径向生长则主要受降水的控制, 可以推断出西藏红杉的径向生长在不同时期内所受到的主要环境因子是不同的。

由图 7 所示, 在 1998 年波动前最高气温主要在 6 月、7 月及 10 月表现出显著的相关特征 ( $P<0.01$ )。但在气温发生波动后, 当年 3 月及 6—8 月的最高气温对树木径向生长表现出显著的负相关 ( $P<0.01$ ), 而 10 月份的最高气温对树木径向生长的影响力则出现明显的下降。同时 3 月的最高

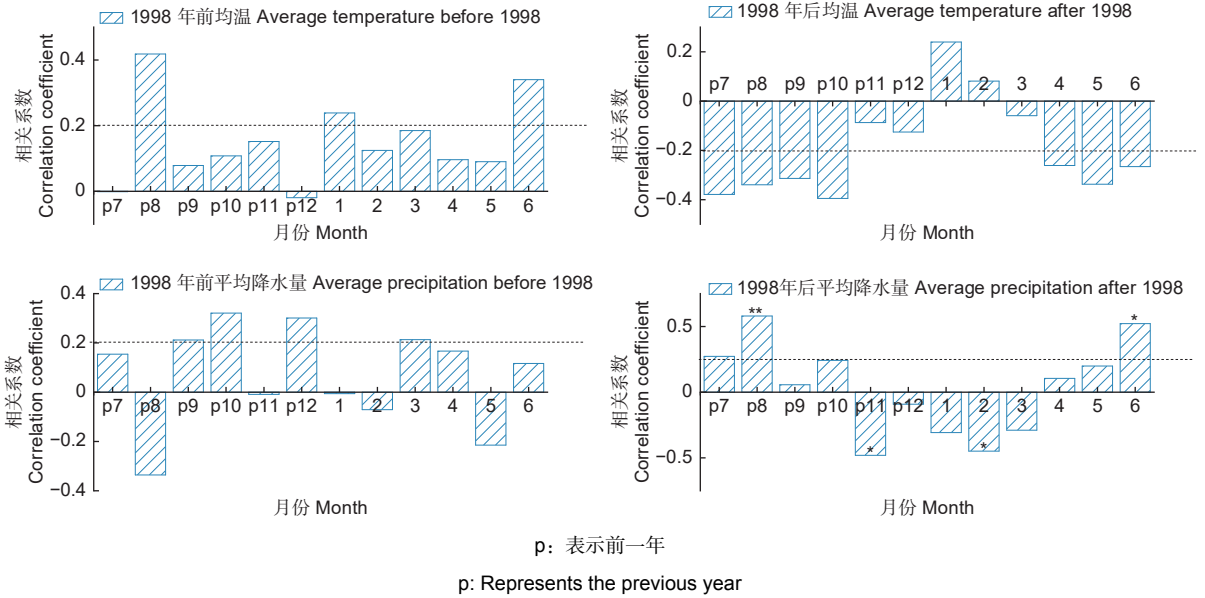


图 6 1998 年降温前后研究区域内均温及降水量变化趋势

Fig. 6 Variation trend of mean temperature and precipitation before and after cooling in 1998

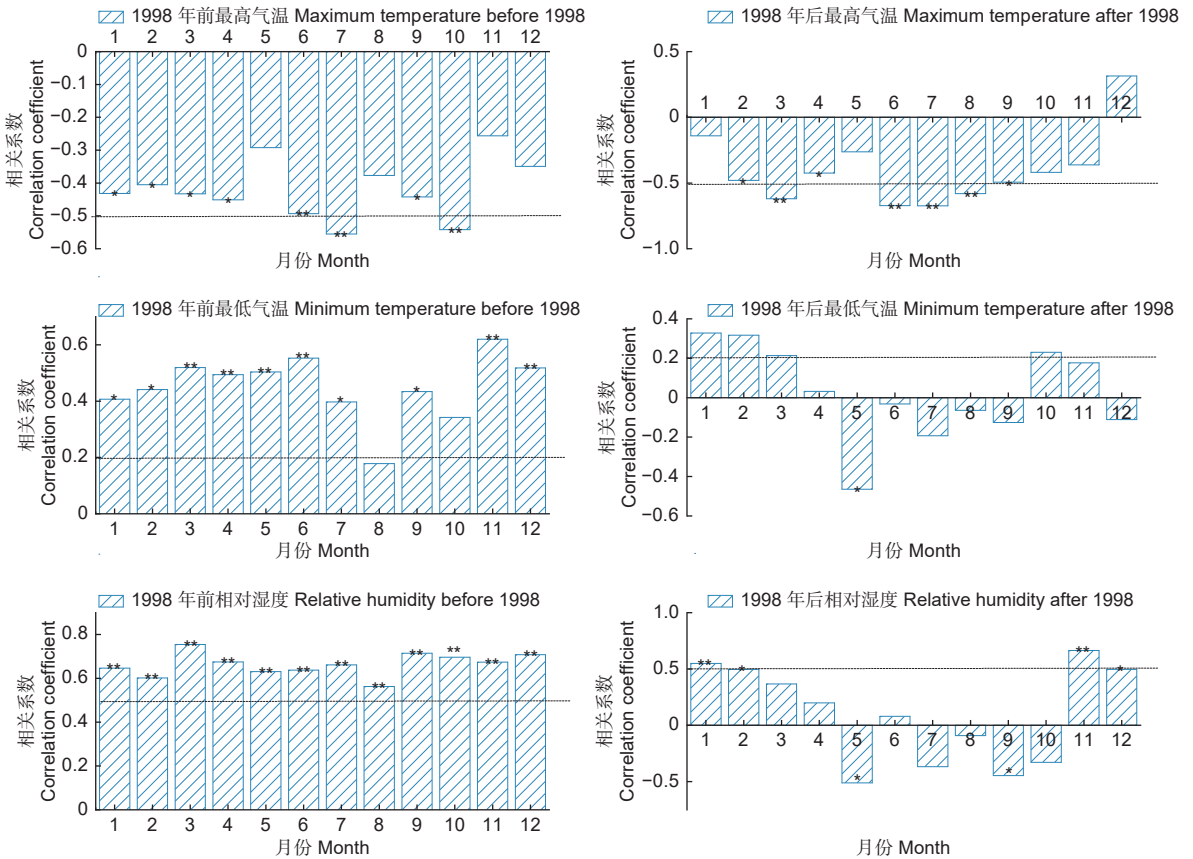


图 7 1998 年降温前后最高气温、最低气温、相对湿度变化趋势

Fig. 7 Variation trend of maximum temperature, minimum temperature, and relative humidity before and after cooling in 1998

气温在生长前期对树木径向生长的相关性有着明显的升高。树木径向生长对最低气温的响应也发生较

为显著的影响, 在降温前, 最低气温对树木径向生长的影响均表现出较为显著的正相关特征, 而气温

波动后,最低气温部分由原先的正相关转变为负相关,其中5月的最低气温由原先的显著的正相关性( $P<0.01$ )转变为显著的负相关性( $P<0.05$ )。相对湿度的变化与最低气温的变化趋势较为明显,变化情况也大体相似,但发现11月、12月的相对湿度仍然保持显著的正相关。证明在气温波动后,环境的变化对11月、12月的相对湿度影响较小,但5月、9月的相对湿度对树木径向生长的影响变为显著的负相关( $P<0.05$ )。

## 3 讨论

### 3.1 西藏红杉径向生长对气温变化的响应

树木径向生长与当年5—6月的月平均气温呈正相关( $P<0.05$ ),结果与海拔相似的其他地区的研究有着相同的结论<sup>[32-33]</sup>。最高气温的显著性高于其他影响因子( $P<0.01$ ),推测其可能是限制西藏红杉径向生长的气候因子之一,且西藏红杉径向生长与当年6—11月最高气温呈显著的负相关,这与前人的研究存在诸多共同之处<sup>[14,18,26,34]</sup>,这可能是由于地处高原山地区域紫外线辐射严重,极高的辐射使树木的蒸散量增加<sup>[35]</sup>,从而引发植物的生理性缺水,CO<sub>2</sub>光合成受阻,抑制树木形成层的分裂发育<sup>[36]</sup>。最低气温与径向生长呈正相关,与前人的研究存在相悖<sup>[37-38]</sup>。研究区域内全年平均最低气温在4℃至-3℃之间,极端最低气温仅为-14℃,由于最低气温相较其他研究区偏高,推测当最低气温在某一低温区间内时,西藏红杉的径向生长可能将随着最低气温的降低而增加,而在超出这一区间后将受到显著性的抑制。

### 3.2 径向生长对降水量的响应情况

西藏红杉径向生长与前一年8月及当年3—5月平均降水呈显著负相关,但与前一年12月平均降水呈正相关,与前人所述结论相仿<sup>[13,39-40]</sup>,然而对于前一年8月的降水与径向生长存在有较大的争议,有结论提出,高海拔地区主要受降水影响较为显著,但主要与当年降水存在正相关<sup>[41-42]</sup>。研究推测在高海拔地区降水对树木存在较为明显的滞后效应,此外西藏红杉可能是由于树种遗传特征,因此对降水量的影响较为敏感,从而表现出受降水的影响较大,这一结果与张齐兵在西藏东南地区所得的研究结果类似<sup>[20]</sup>。这可能是由于色季拉山地区处于高山寒带地区,受辐射影响致使在生长季末期蒸

发量增强,推测可能是存储水分以保护树木克服非生长期间的高蒸发量。

### 3.3 径向生长对湿度变化的响应

湿度可看作是温度与降水共同作用下所产生的结果,因而研究区内树木径向生长与相对湿度的相关性对比温度或降水某一单因素,其表达结果更为密切。西藏红杉径向生长与当年1—12月相对湿度多呈显著负相关( $P<0.05$ )。推测可能是在生长季开始阶段及结束阶段的水热的积累有助于树木形成更多的有机物,研究推测湿度的变化将可能是影响树木径向生长的一个综合性影响因子,当前有关空气湿度方向的研究相对较少,但研究结果与西伯利亚落叶松对水汽压的结论相吻合<sup>[18,32]</sup>,在高海拔地区湿度多被人所忽略,但结论表明湿度可能也作为一个关键的复合因子,对树木径向生长的影响可能要高于气温及降水的影响之和。

### 3.4 气温出现波动前后对树木径向生长的影响

自1998年出现气温波动后,树木对气温的响应由正相关转变为负相关,推测可能是由于气温骤减致使发生波动后树木的生理活动发生改变<sup>[43]</sup>,使树木无法有效的吸收土壤水分。此外在出现波动前后,年均降水量升高通常伴随着温度的降低,使得树木对水分的利用效能不增反减。相似研究结果如Philipp H等<sup>[44]</sup>在藏东南地区发现环境波动对树木径向生长的影响致使树木表达出显著的变化。值得注意的是,在冬季气温的波动性变化将可能会打破树木的正常休眠,此时虽然有充足的水分含量,但气温仍然未达到树木可以适应的范围内,树木无法正常利用水分,且伴随着高辐射的影响,树木的生长受到环境的压迫。因此在未来,气温的持续波动可能将会严重影响西藏红杉的演替生长,使现有生长区域内的西藏红杉群落缩减。

综上所述,温度的波动性变化可能将导致色季拉山西藏红杉径向生长对气温的响应发生变化,相似的研究如四川云杉(*Picea likiangensis* Pritz)<sup>[45]</sup>,大果红杉(*Larix potaninii* Batalin)<sup>[39]</sup>等在出现气温波动后也表现出相似的响应状况。而D'Arrigo等研究结论表明<sup>[46]</sup>,自20世纪中叶以来,北半球的树木年轮中发现树轮宽度和密度的变化均发现树木对气候响应的不稳定性,因此在今后研究过程中针对气候的不稳定性应进行合理的分析,同时在针对古树交叉定年的过程中要考虑到树木对气候波动

的不稳定性。

## 4 结论

西藏地区的特有树种西藏红杉非常适合探究气候与树木径向生长之间的响应。研究表明,色季拉山地区气温是限制西藏红杉径向生长的主要气象因子,尤其是最高气温是限制树木生长的主要因素;气温的不稳定性变化对高海拔地区的树木生长有着显著的影响;降水在3—5月及8月对树木的生长有着明显的限制,8月的降水将会影响树木第二年的径向生长。故在保护森林及环境监测的过程中要额外注重气温及降水的规律性变化,在色季拉山开展基于树木年轮的气候趋势预测和全球气温动态监测的过程中要关注气候-树木生长的稳定性问题。

## 参考文献:

- [1] Douglass A E. Tree Growth and Climatic Cycles[J]. The Scientific Monthly, 1933, 37(6): 481-495.
- [2] 刘玉佳, 顾卓欣, 王晓春. 模拟气候变暖对东北兴安落叶松径向生长的影响[J]. 生态学报, 2017, 37(8): 2684-2693.
- [3] 陈亚宁, 李玉朋, 李 稚, 等. 全球气候变化对干旱区影响分析[J]. 地球科学进展, 2022, 37(2): 111-119.
- [4] 史继清, 甘臣龙, 边 多, 等. 1981—2015年西藏全区气候季节的变化[J]. 冰川冻土, 2018, 40(6): 1110-1119.
- [5] Qibin Z, Ouya F. Tree Rings Circle an Abrupt Shift in Climate. [J]. Science, 2020, 370(6520): 1037-1038.
- [6] 次仁央金, 吴 尧, 陈 阜, 等. 气候变暖对西藏林芝地区作物生产的影响[J]. 中国农业大学学报, 2021, 26(8): 33-42.
- [7] 丁 锐, 史文娇. 1993—2017年气候变化对西藏谷物单产的定量影响[J]. 地理学报, 2021, 76(9): 2174-2186.
- [8] 武 爽, 冯险峰, 孔玲玲, 等. 气候变化及人为干扰对西藏地区草地退化的影响研究[J]. 地理研究, 2021, 40(5): 1265-1279.
- [9] Yunsheng Wang, Mianping Zheng, Lijuan Yan, et al. Influence of the regional climate variations on lake changes of Zabuye, Dangqiong Co, and Banking Co salt lakes in Tibet[J]. Journal of Geographical Sciences, 2019, 29(11): 1895-1907.
- [10] 闫立娟. 气候变化对西藏湖泊变迁的影响(1973—2017)[J]. 地球学报, 2020, 41(4): 493-503.
- [11] 庞 鑫, 张 萌, 石松林, 等. 近65年来四川红杉径向生长对气候变暖的响应[J]. 应用与环境生物学报, 2021, 27(3): 568-576.
- [12] 叶庆华, 姚檀栋, 郑红星, 等. 西藏玛旁雍错流域冰川与湖泊变化及其对气候变化的响应[J]. 地理研究, 2008(5): 1178-1190, 1228.
- [13] Gradel A, Ganbaatar B, Nadaldorj O, et al. Climate-growth Relationships and Pointer Year Analysis of a Siberian Larch (*Larix Sibirica* Ledeb.) Chronology From the Mongolian Mountain Forest Steppe Compared to White Birch (*Betula platyphylla* Sukaczew)[J]. Forest Ecosystems, 2017, 4(1): 1-12.
- [14] Liang J, Ruhong X, Changliang Q, et al. Comparison of the Responses of Radial Growth to Climate Change for Two Dominant Coniferous Tree Species in the Eastern Qilian Mountains, Northwestern China. [J]. International Journal of Biometeorology, 2021(11): 1-14.
- [15] 尚华明, 魏文寿, 袁玉江, 等. 树木年轮记录的阿勒泰436 a来6月温度变化[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(8): 116-121.
- [16] 张瑞波, 尚华明, 魏文寿, 等. 树轮 $\delta^{13}C$ 记录的阿勒泰地区近160 a夏季气温变化[J]. 沙漠与绿洲气象, 2014, 8(2): 34-40.
- [17] 周子建, 江 源, 董满宇, 等. 长白山北坡不同海拔红松径向生长-气候因子关系对气温突变的响应[J]. 生态学报, 2018, 38(13): 4668-4676.
- [18] 焦 亮, 马 罗, 张同文, 等. 基于树轮记录的阿尔泰山中段1798年以来6—7月平均最低气温变化研究[J]. 生态学报, 2021, 41(5): 1944-1958.
- [19] 焦 亮, 王玲玲, 李 丽, 等. 阿尔泰山西伯利亚落叶松径向生长对气候变化的分异响应[J]. 植物生态学报, 2019, 43(4): 320-330.
- [20] Qin T, Qibin Z, Xing C. Tree - ring Reconstructed Diurnal Temperature Range on the Eastern Tibetan Plateau and Its Linkage to El Niño - Southern Oscillation[J]. International Journal of Climatology, 2020, 41(3): 1696-1711.
- [21] 刘晓宏, 秦大河, 邵雪梅, 等. 西藏林芝冷杉树轮稳定碳同位素对气候的响应[J]. 冰川冻土, 2002(5): 574-578.
- [22] 张 萌, 石松林, 石春明, 等. 川西高原4种典型针叶树径向生长对气候因子的响应[J]. 生态学杂志, 2021, 40(7): 1947-1957.
- [23] Zhu H, Xu P, Shao X, et al. Little Ice Age Glacier Fluctuations Reconstructed for the Southeastern Tibetan Plateau Using Tree Rings[J]. Quaternary International, 2013, 283: 134-138.
- [24] Yang D, Yang F, Niu Z, et al. Tree Ring Evidence of the Retreat History of the Zepu Glacier on the Southeastern Tibetan Plateau Since the Little Ice Age[J]. Quaternary International, 2021, 604: 60-67.
- [25] Zhu H, Shao X, Zhang H, et al. Trees Record Changes of the Temperate Glaciers on the Tibetan Plateau: Potential and Uncertainty[J]. Global and Planetary Change, 2019, 173: 15-23.
- [26] Sijar B, Man K D, Prakash C A, et al. Climate Variability and Associated Response of *Larix Griffithii* in Kanchenjunga Conservation Area of Nepal[J]. Applied Ecology and Environmental Sciences, 2018, 6(1): 23-30.
- [27] Hochreuther P, Loibl D, Wernicke J, et al. Ages of Major Little Ice Age Glacier Fluctuations on the Southeast Tibetan Plateau Derived From Tree-ring-based Moraine Dating[J]. Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2015, 422: 1-10.
- [28] 任毅华, 周尧治, 侯 磊, 等. 色季拉山急尖长苞冷杉种群不同龄级立木的空间分布格局[J]. 生态学报, 2021, 41(13): 5417-5424.

- [29] 罗 伦, 旦 增, 朱立平, 等. 藏东南色季拉山气温和降水垂直梯度变化[J]. 高原气象, 2021, 40 ( 1 ): 37-46.
- [30] 高 辉, 刘丽娟, 方江平. 西藏色季拉山森林群落沿海拔梯度变化格局[J]. 广西师范大学学报 ( 自然科学版 ), 2020, 38 ( 6 ): 122-130.
- [31] 罗 伦, 国家青藏高原科学数据中心. 藏东南高山环境综合观测研究站气象观测数据(2007—2017)[Z]: 国家青藏高原科学数据中心, 2018.
- [32] 周 鹏, 黄建国, 梁寒雪, 等. 不同海拔温度和降水对新疆阿尔泰山西伯利亚落叶松径向生长的影响[J]. 热带亚热带植物学报, 2019, 27 ( 6 ): 623-632.
- [33] 薛儒鸿, 焦 亮, 刘小萍, 等. 新疆阿尔泰山不同海拔西伯利亚落叶松径向生长对气候变化的响应稳定性评价[J]. 生态学杂志, 2021, 40 ( 5 ): 1275-1284.
- [34] 黄力平, 高亚琪, 李 云, 等. 阿尔泰山中东部西伯利亚落叶松生长量及其对气候变化的响应研究[J]. 干旱区地理, 2015, 38 ( 6 ): 1169-1178.
- [35] 全先奎, 王传宽. 帽儿山17个种源落叶松针叶的水分利用效率比较[J]. 植物生态学报, 2015, 39 ( 4 ): 352-361.
- [36] 李书恒, 侯 丽, 史阿荣, 等. 基于Biome-BGC模型及树木年轮的太白红杉林生态系统对气候变化的响应研究[J]. 生态学报, 2018, 38 ( 20 ): 7435-7446.
- [37] 丁晓娟, 陈蜀江, 黄铁成, 等. 阿尔泰山南坡西伯利亚落叶松生长量与气候变化的关系[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30 ( 2 ): 98-103.
- [38] 康 剑, 蒋少伟, 黄建国. 阿尔泰山萨彦岭4种优势树种径向生长对气候因子的响应[J]. 生态学报, 2020, 40 ( 17 ): 6135-6146.
- [39] 张 贇, 尹定财, 田 昆, 等. 滇西北海拔上限大果红杉径向生长对气候变化的响应[J]. 应用生态学报, 2017, 28 ( 9 ): 2805-2812.
- [40] 秦 进, 白红英, 李书恒, 等. 长白山南北坡高山林线太白红杉对气候变化的响应差异[J]. 生态学报, 2016, 36 ( 17 ): 5333-5342.
- [41] Vitas A. Climatically Induced Light Rings of European Larch (*Larix Decidua* Mill. ) in Lithuania[J]. Trees, 2018, 32(3): 791-800.
- [42] 全先奎, 王传宽. 兴安落叶松光合特性对环境的适应及其影响因素[J]. 科学通报, 2016, 61 ( 20 ): 2273-2286.
- [43] 刘兰娅, 勾晓华, 张 芬, 等. 升温对祁连山东部青海云杉径向生长的影响[J]. 应用生态学报, 2021, 32 ( 10 ): 1-9.
- [44] Hochreuther P, Wernicke J, Griesinger J, *et al.* Influence of the Indian Ocean Dipole on Tree-ring  $\delta^{18}O$  of Monsoonal South-east Tibet[J]. Climatic Change, 2016, 137(1): 217-230.
- [45] 管增艳, 金亚宁, 许 倩, 等. 川西云杉人工林径向生长对气候变化的响应[J]. 应用与环境生物学报, 2021, 27 ( 3 ): 560-567.
- [46] D'arrigo R, Wilson R, Liepert B, *et al.* On the 'divergence Problem' in Northern Forests: a Review of the Tree-ring Evidence and Possible Causes[J]. Global and Planetary Change, 2007, 60(3): 289-305.



# Response of Radial Growth of *Larix griffithii* to Temperature and Precipitation Fluctuation in Tibet Shergyla Mountain

YU De-shui<sup>1,2,3,4</sup>, LU Jie<sup>1,2,3,4</sup>, ZHANG Meng<sup>1,2,3,4</sup>, ZHANG Xin-sheng<sup>1,2,3,4</sup>

(1. Institute of Tibet Plateau Ecology, Tibet Agricultural & Animal Husbandry University, Nyingchi, Tibet 860000, China; 2. Key Laboratory of Forest Ecology in Tibet Plateau (Tibet Agricultural & Animal Husbandry University), Ministry of Education, Nyingchi, Tibet 860000, China; 3. Lin Zhi National Forest Ecosystem Observation & Research Station of Tibet, Nyingchi, Tibet 860000, China; 4. Key Laboratory of Alpine Vegetation Ecological Security in Tibet, Nyingchi Tibet 860000, China)

**Abstract:** [Objective] To study the response of radial growth of *Larix griffithii* Hoof to temperature and precipitation based on the annual ring core of *L. griffithii* collected in the Shergyla Mountain. [Method] The standard chronology was established by using the tree chronology method combined with TASP-Win and ARSTAN programs. Pearson and bootstrap calculation methods were used to analyze the correlation between ring width index and temperature and precipitation from 1961 to 2020. [Result] There were significant differences in radial growth before and after temperature fluctuation. Before the temperature fluctuation, the radial growth was positively correlated with the average temperature in January and June of the year and August of the previous year ( $P < 0.05$ ). It was positively correlated with the average precipitation from September to October and December of the previous year and negatively correlated with that in August of the previous year. And It was significantly positively correlated with the relative humidity from January to December ( $P < 0.01$ ). After the temperature fluctuation, the radial growth was negatively correlated with the average temperature from March to December and positively correlated with the precipitation in August and June of the previous year. [Conclusion] The climatic conditions in Southeast Tibet are extremely special. The uneven hydrothermal conditions caused by climate fluctuations is the main reason for the radial growth change of *L. griffithii*. The short-term change of temperature in the non-growing season also has a significant indigenous impact on the radial growth of trees.

**Keywords:** *Larix griffithii*; Tree-ring; climatic fluctuation; Shergyla Mountain

(责任编辑: 彭南轩)