祁连山中部不同树龄及不同生长率青海云杉径向生长对气候的响应*

李 卉 詹思敏 冉依林 张凌楠** 刘晓宏

(陕西师范大学地理科学与旅游学院,陕西 西安 710119)

摘要:为了研究不同年龄及不同初始生长率树木径向生长对气候因子的响应,本研究采集祁连山青海云杉(*Picea crassifolia*)树木年轮样芯作为样本,计算树木年龄与初始生长率,并根据两者之间的关系,将所有样芯划分为年龄组与生长率组.分别将两组样芯的单根年表与气候因子进行Pearson相关分析.研究显示两组树木均表现出与前一年8月、当年5和6月降水量及前一年8月至当年6月累积降水显著正相关,与前一年和当年6、7月的月平均温度显著负相关.年龄组的树木中,老龄树比幼龄树对于当年6月的月总降水量和前一年8月至当年6月累积降水的响应更加强烈;而生长率组的树木则表现为初始生长快的树木比初始生长慢的树木对前一年6月的月总降水量和前一年8月至当年6月累积降水有更强的响应.不同树龄及不同初始生长率的树木对当年6月平均温度的响应无明显差异.在森林经营管理中应加强对初始生长过快和树龄过大树木的管理和保护.

关键词:树木年轮; 树龄; 初始生长率; 气候响应

中图分类号:P942

DOI:10.19789/j.1004-9398.2020.01.010

0 引 言

树木作为重要的自然资源,它的生长受自身遗传因素和气候因素的影响[1].树木自身的遗传因素可能会影响到树木寿命的长短和生长的速度,进而影响树木对气候要素的响应[2].随着年龄的增加,树木茎干粗度和高度也随之增加,从而导致水分运输距离增加[3];另外,树木根系也会不断生长,从土壤中的吸收养分和水分的能力增强.二者都可能导致树木生长对气候的响应随年龄的变化而改变[4-5].树木初始生长率的快慢差异也会影响树木对于气候因子的响应.同时有研究显示初始生长率较低的树木比初始生长率高的树木拥有更长的寿命,而初始生长率快的树木可生存的时间长短则不尽相同[6-7].不同树龄与不同初始生长率的树木对气候因子的响应略有差异[8].

关于不同树龄树木对气候因子响应的研究主要分为两种观点:一种是老龄树比幼龄树对气候响应更敏感[9-10].例如,对于意大利阿尔卑斯山高欧洲落叶松(*Larix decidua*)和瑞士石松(*Pinus cembra*)的研究表明,2个树种对气候要素响应一致,且响应程度随年龄增加而加强[11];同样,奥地利阿尔卑斯山的挪威云杉(*Picea abies*)对5—6月的降水的响应随着年龄的增加而增强[10].另一种观点则为幼龄树比老龄树对气候响应更敏感[12-13].例如,对于青藏高原东南部色季拉山长苞冷杉(*Abies georgei* var *smithii*)的研究显示幼龄树比老龄树对气候的响应更显著[14];在西天山的研究显示树龄小于210岁的雪岭云杉(*Picea schrenkiana*)对于气候更加敏感[15];对于葡萄牙西北部的海岸松(*Pinus pinaster*)的研究也显示幼龄树的早材宽度比老龄树对气候响应更敏感,而老龄树的晚材宽度则对气候更敏感[16].老龄树对气候因子的敏感性低,可能是由于生长率的下降使得树木生长所需的资源减少;而幼龄树的径向生长对气候更敏感,可能是由于幼龄树根系浅,吸收不到更多的水分与养分,因此降水少或高温导致的蒸发加剧使幼树获取的水分变化更剧烈,生长更易受到气候的影响[17].研究不同树龄树木对于气候因子响

收稿日期:2019-04-28

*国家自然科学基金青年基金项目(41801024);中国博士后科学基金面上项目(2018M640946);陕西省博士后科学基金面上项目(2018BSHEDZZ30);中央高校基本科研业务费专项资金(GK201803050,GK201801007)

**通信作者:zln@snnu.edu.cn

首都师范大学学报(自然科学版)

应差异,对于分析祁连山森林树龄结构、预测森林发展动态有着重要意义[18]. 现有关于不同初始生长率树木对气候因子的响应的研究,大多是通过分析初始生长率对于树龄的影响,从而探究不同初始生长率树木与气候因子的相关关系,而直接比较不同初始生长率树木对气候因子响应差异的研究还比较少. 例如,在崆峒山的研究显示生长缓慢的树木对生长季前期的降水更为敏感[19]. 同样,在树木年轮学中,通常利用初始生长率较低、生长缓慢的老龄树来进行气候重建,这也从侧面反映了初始生长缓慢的树木对于气候有着更强的响应[20].

祁连山是中国西部重要的水源涵养区,是维护青藏高原生态平衡、维持河西走廊绿洲稳定、保障西部地区生态安全的天然屏障,是我国生物多样性保护的优先区域,也是西北地区重要的生物种质资源库. 虽然在祁连山已经进行了很多树轮气候学的研究,但关注不同树龄及初始生长率青海云杉对气候响应的研究还很有限. 本研究以祁连山隆畅河林场的青海云杉(*Picea crassifolia*)作为研究对象,探究不同树龄及不同初始生长率树木径向生长对于气候因子的响应,主要探究:树木年龄与初始生长率间的关系;初始生长率相近、不同树龄的树木对气候因子响应的差异;树龄一致时不同初始生长率的树木对气候因子响应的差异.

1 研究区概况

祁连山作为我国西北部重要山脉之一,东起乌鞘岭,西至阿尔金山东段,地势西北高、东南低;其东部受东亚季风影响,西部受西风带影响,两风带在祁连山中部交汇,降水由东南向西北逐渐减少,温度也随之逐渐降低. 祁连山海拔高度为 2 500 ~ 4 500 m,植被表现出明显的垂直地带性,祁连山的优势针叶树种青海云杉和祁连圆柏主要分布在海拔 2 650 ~ 3 200 m[13]. 青海云杉具有较高的气候敏感性,适合用于研究祁连山树木径向生长对气候因子的响应.

2 样品采集处理和气象资料收集

2.1 样品采集和处理

2016 年 8 月于祁连山中部的隆畅河林场采样,选取无人类活动干扰或其他自然灾害影响、树木竞争较小,经纬度一致(38°46′48″N,99°39′36″E),海拔不同的 3 个采样地进行取样,采样点分别为 LCH1、LCH2、LCH3,相关详细信息见表 1. 选定采样点树木后,在树木距离地面 1.3 m 处使用的生长锥(直径 5.15 mm)沿平行坡面和垂直坡面方向各钻取 1 个树芯并按照标准的树木年轮处理方法对样芯进行处理[21]:样芯固定、阴干、打磨,并根据年轮的宽窄进行初步定年[22]. 利用 Lintab 6 树木年轮宽度仪测量树轮宽度[23].

2.2 气象资料收集

研究过程中采用的气象数据来源于距离采样点较近的野牛沟气象站和肃南气象站,其具体信息见表 2. 通过计算 2 个气象站 1960—2013 年的月平均温度、月总降水量发现降水集中在 7 和 8 月,温度较高的月份为 6—8 月(图 1). 由于气象站和采样点海拔不一致,因此采用反距离权重方法计算采样点的月总降水量[24],并根据气温直减率计算样点处的月平均温度[25]. 选用树轮形成前一年 6 月至当年 10 月的月总降水和月平均温度作为气候因子,分析树木径向生长与气候因子的相关关系.

表 1 采样点信息

样点名称	海拔/m	平均树高/m	平均胸径/cm	郁闭度
LCH1	3 010	15.5	17.8	0.40
LCH2	2 836	14.9	19.3	0.46
LCH3	2 754	11.7	14.7	0.43

表 2 祁连山采样点周围气象站信息

气象站名称	气象站海拔/m	位于采样点方位	经度/E	纬度/N
野牛沟	3 320	南部	99°35′	38°25′
肃南	2 312	西北部	99°37′	38°50′

首都师范大学学报(自然科学版)

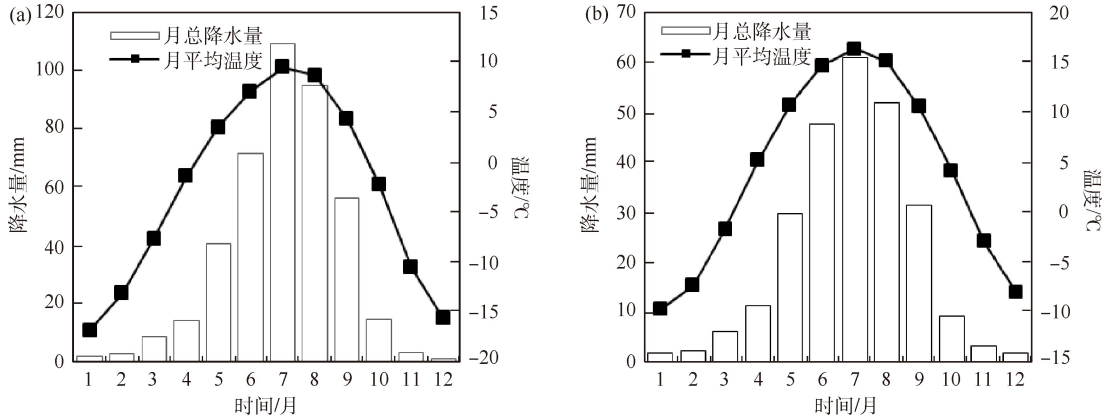


图 1　2 个气象站逐月平均气温和月总降水量(1960—2013 年)

(a)野牛沟气象站;(b)肃南气象站

3　分析方法

3.1　年表建立

使用 Cofecha 软件对初步定年的每个采样点定年的结果和测量得到的轮宽序列进行检验,再用 Arstan 软件中步长 50 年的样条函数对原始树轮宽度序列进行去趋势[26],最终得到各采样点的总年表及每根样芯的标准年表[21].

3.2　数据分组和相关分析

虽然 3 个采样点海拔略有差异,但通过对 3 个海拔采样点分别建立年表,并分析 3 个总年表与气候因子的相关关系(1960—2013 年),发现其无显著差异(图 2),故将 3 个采样点数据进行合并. 在确定树木年轮时只保留树心一侧最后 1 个年轮距离树心距离 <2.0 cm 的样芯,并使用直尺结合目测的方法确定髓心,用年轮的数量及估计的缺失树轮数量计算树木的年龄[27-28]. 本研究地青海云杉生长良好,年轮宽度较宽,且树木在幼年时生长较快,因此距离髓心 2.0 cm 处缺失的年轮数量较为有限,不会过于影响对树龄的估计. 由于胸径处的树木年龄代表每棵树生命的早期阶段,因此通过平均每棵树前 40 年的原始年轮宽度(包括缺失年轮的数量)来计算初始生长率(单位: mm/y). 为分析树龄与初始生长率的关系,使用聚类分析将样本划分为 3 组,Ⅰ组为树龄大但初始生长率很低的样本,Ⅱ组为树龄小而初始生长率高的样本,Ⅲ组则是树龄与初始生长率均很低的样本. 根据对所有单根样芯年表聚类结果可看出,Ⅰ和Ⅲ组的初始生长率相近(初始生长率 <1.8 mm/y),可合并用来反映树龄对于径向生长与气候因子相关关系的影响,合并为年龄组;Ⅱ组和Ⅲ组的树龄相近(树龄 <125 岁),可合并用来反映初始生长率对径向生长与气候因子相关关系的影响,合并为生长率组(图 3). 本研究共采集 133 根树芯作为样本,分组后,年龄组有样芯 65 根,生长率组有样芯 95 根. 计算单根年表与气候因子在 1960—2013 年的 Pearson 相关系数. 用线性拟合分析树龄及初始生长率与径向生长和气候要素相关系数绝对值的关系.

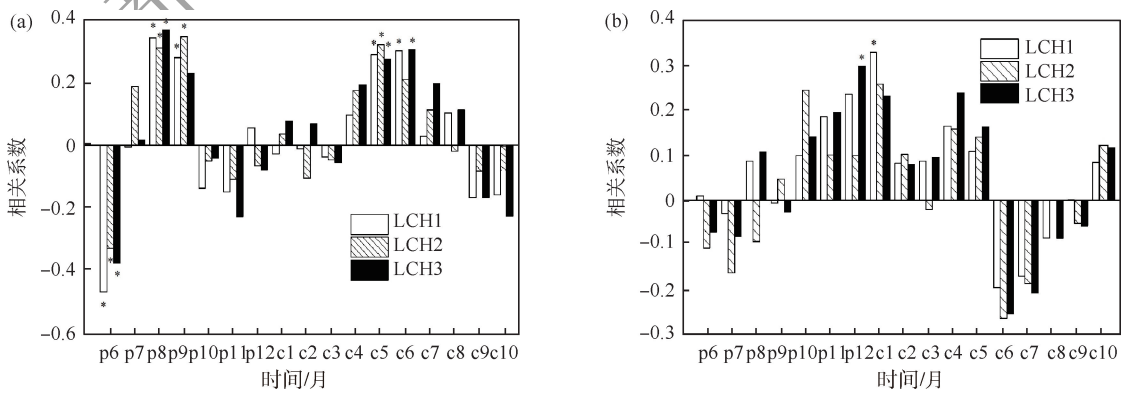


图 2　3 个采样地总年表与气候因子的相关关系(1960—2013 年)

(a)与降水的关系;(b)与月平均温度的关系

注: $^{*}P<0.05$.

郑州轻工业学院(自然科学版)

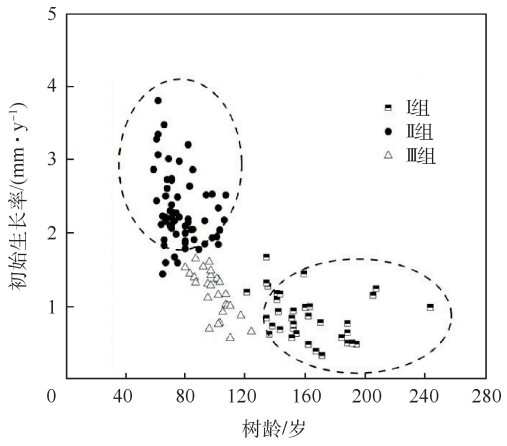


图 3 树龄与树木初始生长率关系

4 结 果

4.1 样地年表及单根年表与气候因子的相关关系分析

通过对树木径向生长与不同月份气候因子的相关分析可以看出,年龄组的树木径向生长与前一年 8 月降水(Pp8)、当年 6 月降水(Pc6)以及前一年 8 月至当年 6 月的累积降水(Pp8c6)存在着显著的正相关关系;其中约 50% 的样芯年表与 Pp8 显著正相关关系,70% 的样芯年表与 Pc6、Pp8c6 显著正相关关系[图 4(a)]. 同时年龄组的树木与前一年 6 月的月平均温度(Tp6)、前一年 7 月的月平均温度(Tp7)、当年 6 月的月平均温度(Tc6)和当年 7 月的月平均温度(Tc7)呈现出显著负相关关系:表现为约 45% 的样芯年表与 Tp6 显著负相关关系,约 65% 的样芯年表与 Tp7 显著负相关关系,75% 的样芯年表与 Tc6、Tc7 显著负相关关系[图 4(b)]. 生长率组的树木也表现为与 Pp8、Pc6 以及 Pp8c6 存在正相关关系,其中约 50% 的样芯年表与 Pp8 显著正相关关系,约 70% 的样芯年表与 Pc6 和 Pp8c6 显著正相关关系[图 4(c)]. 此外,生长率组 70% 的样芯年表与 Tp7、Tc6 和 Tc7 表现出显著负相关关系[图 4(d)].

4.2 径向生长对气候响应与树龄及初始生长率的关系

在分析树木径向生长与气候因子相关关系的基础上,挑选出与超过 50% 的单根年表显著相关的气候因子进行进一步线性拟合分析,即年表与 Pc6、Pp8c6 以及 Tc6 相关系数绝对值与树木年龄、初始生长率进行线性拟合. 对于年龄组的树木而言,年表与 Pc6 和 Pp8c6 相关系数绝对值与树龄间存在显著的线性关系,其中树龄与 Pc6 相关系数绝对值的线性关系要强于树龄与 Pp8c6 相关系数绝对值的关系,老龄树对 Pc6 和 Pp8c6 的响应要强于幼龄树. 此外树木径向生长对 Tc6 的响应与树龄间不存在显著线性关系(图 5). 对于生长率组的树木而言,年表和 Pp6、Pp8c6 相关系数绝对值与初始生长率都存在着明显的线性关系,且 $P<0.01$,结果表明初始生长快的树木对 Pp6 和 Pp8c6 的响应要强于初始生长慢的树木. 年表与 Tc6 相关系数绝对值与初始生长率间也不存在显著线性关系(图 6).

5 讨 论

5.1 树木径向生长对降水和温度因子的响应

结果表明年龄组和生长率组的树木均表现出与前一年 8 月、当年 5、6 月及前一年 8 月至当年 6 月累积降水有显著正相关关系,这说明前一年夏季降水、当年生长季初期降水以及从上一生长季中期到本生长季中期的累积降水均对本研究区树木有普遍的影响作用. 前一年 8 月的丰沛降水可以缓解同时期高温引起的土壤干旱,降低树木遭受干旱胁迫的概率,使树木能储存更多的营养物质,为下一年生长提供有利条件[29]. 当年 6 月充沛的降水可以促进生长季初期形成层细胞的产生和分化,从而利于当年树木的径向生长[11]. 有研究发现祁连山树木径向生长与前一年夏季的降雨量呈显著正相关关系. 祁连山区域的青海云杉均普遍表现出来与前一年 8 月、当年 6—8 月的降水显著的相关性[20,30-31]. Song 等[32]研究青藏高原东北部祁连圆柏(*Sabina przewalskii*)和祁连山中部寺大隆林场的青海云杉与降水因子关系时,发现树木与当年夏季初期降水有着显著的相关关系. 前一年生长季中期到当年生长季中期充沛的累积降水对树木径向生长有明显的促进作用. 同样,河西走廊地区和祁连山西部的青海云杉以及贺兰山油松(*Pinus tabulaeformis*)也对前一年 7 月至当年 6 月的累积降水有着强烈响应,说明上一生长季中期到本生长季中期的累积降水对半干旱区和干旱区树木的径向生长有普遍的显著影响[33-35].

同时结果表明两组树木均表现出与前一年 6、7 月和当年 6、7 月的月平均温度有显著负相关关系,这说明前一年和当年夏季的高温会对本研究地树木径向生长造成明显的抑制作用. 树木径向生长与温度之间的显著负相关关系可能是因为高温加强

首都师范大学学报(自然科学版)

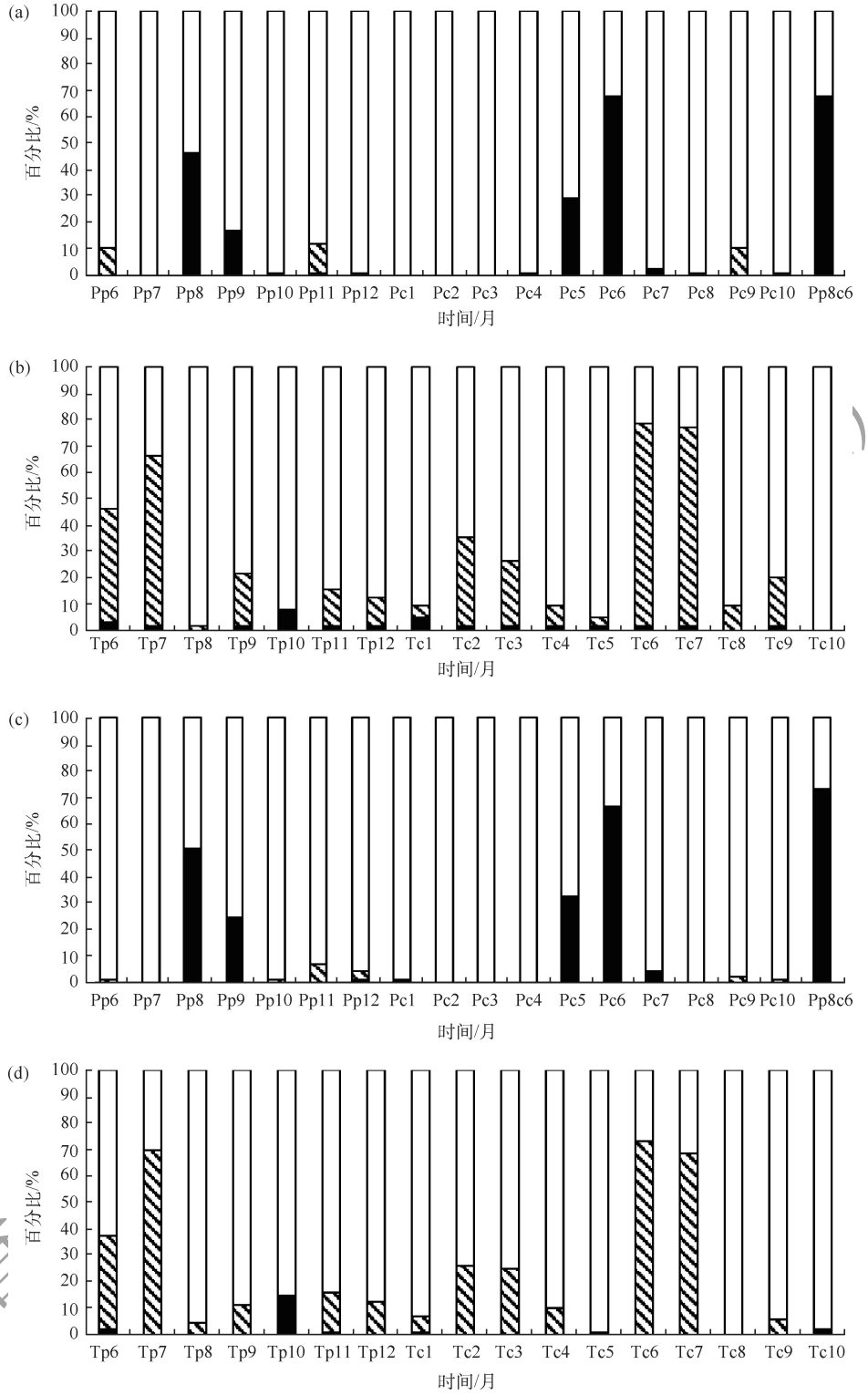


图 4　不同组单根样芯与气候因子相关系数比例

(a)年龄组树木与降水的相关系数比例;(b)年龄组树木与月均温的相关系数比例;

(c)生长率组与降水的相关系数比例;(d)生长率组与月均温的相关系数比例

注:□ 不显著;▨ 负显著;■ 正显著;P 为降水因子;T 为温度因子;p 为前一年月份;c 为当年月份.

了土壤表面的蒸发作用从而加剧干旱,同时高温导致叶片气孔关闭,降低光合作用速率,减少碳水化合物的产生,从而导致当年形成的年轮较窄[36]. 类似的情况也出现在祁连山中部,即青海云杉径向生长与当年夏季前期的温度表现出显著负相关关系[37]. 在天山中部和西部的低海拔地区,树木生长

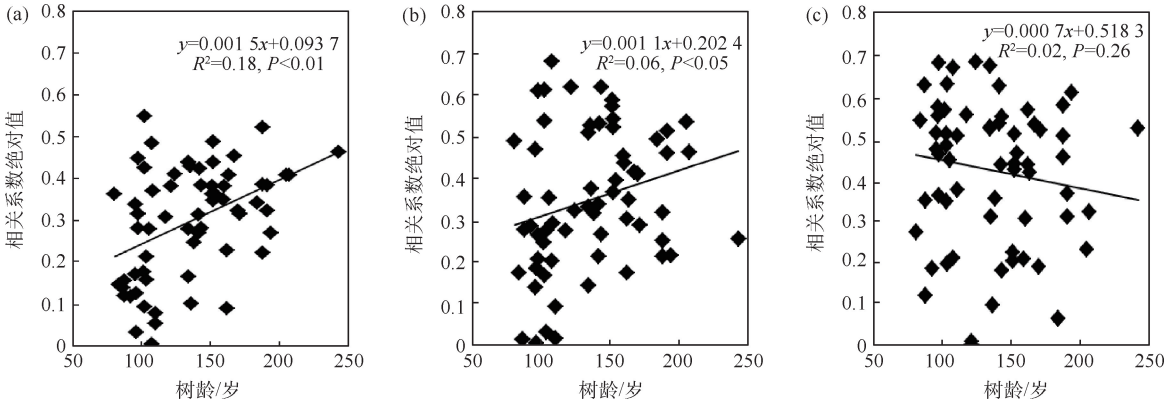


图 5 年龄组单根年表与气候因子相关系数绝对值与树龄的关系

(a) Pc6; (b) Pp8c6; (c) Tc6

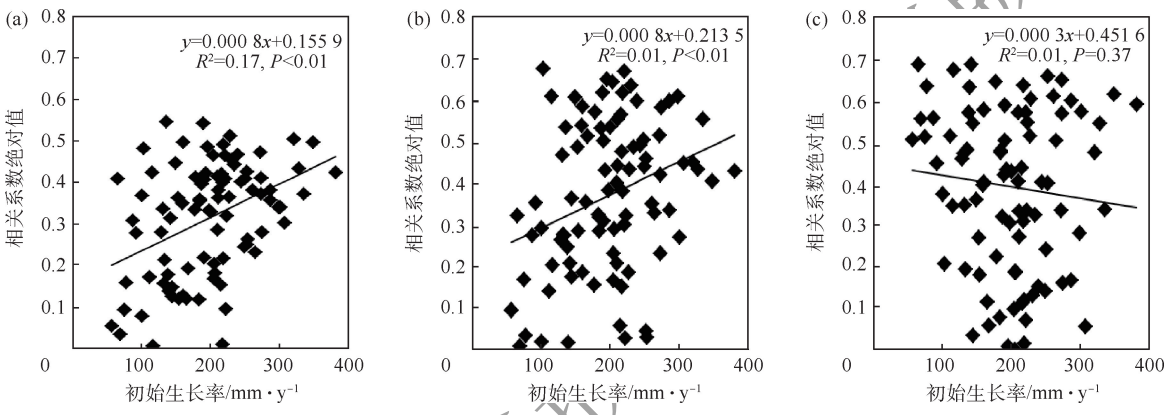


图 6 生长率组单根年表与气候因子相关系数绝对值与初始生长率的关系

(a) Pc6; (b) Pp8c6; (c) Tc6

也表现出与夏季温度显著负相关关系[38].

5.2 树木径向生长对气候因子响应强度与树龄的关系

对于年龄组的树木而言,老龄树比幼龄树对于前一年 6 月降水和前一年 8 月至当年 6 月的累积降水响应更加强烈. 但树木径向生长与当年 6 月的月平均温度相关系数绝对值与树龄不存在显著线性关系. 这可能是因为老龄树的光合作用要明显小于幼龄树,而老龄树自身复杂的生理结构会消耗更多营养物质,更容易受到外界降水因子的影响[39-40]. Rossi 等[41]的研究发现老龄树春季的活动会受到较粗的树干和较厚的树皮影响,因此老龄树运输水分时可能比幼龄树更困难,老龄树比幼龄树更容易受到降水的影响. 类似的研究结果有,在奥地利阿尔卑斯山较为干旱的针叶混交林中,挪威云杉(*Picea abies*)对 5—6 月的降水响应会随着树龄的增加而增强[11];对于罗马尼亚喀尔巴阡山的挪威云杉和加拿大西北部麦卡锡山和富兰克林山的黑云杉(*Picea mariana*)的研究都表现出老龄树对气候更敏感的特点[42-43].

径向生长与当年 6 月平均温度响应与树龄间不存在显著线性关系,说明高温对各年龄树木生长的抑制作用较为一致. Sun 和 Liu[44]将黄土高原东部油松划分为 3 个等年龄组,研究结果也表明各年龄组树木径向生长均表现出与前一年 6 月、当年 6 与 7 月的降水显著正相关关系,与当年 6 月平均温度负相关关系的特征. 对阿尔卑斯山中部瑞士石松的研究结果显示,不同树龄年表与气候因子的相关关系无明显差别,由此认为树龄不影响树木生长对气候的响应,即树木径向生长对气候的敏感性与树龄无明显关系[45].

5.3 树木径向生长对气候因子响应强度与初始生长率的关系

研究显示生长率组树木的径向生长对前一年 6 和 8 月至当年 6 月累积降水的响应与初始生长率都存在着明显的线性关系,即初始生长快的树木对前一年 6 和 8 月至当年 6 月累积降水的响应比初始生

长慢的树木更强.这可能是由于初始生长较快的树木自身具有较为发达的生理系统,对于降水有更加强烈的响应.但也有研究提出树木生长过快会导致地上生物量与地下生物量的比值太高,对碳水化合物的投入减少,从而使得抗病菌能力减弱,降低呼吸效率,影响树木对气候因子的响应[46].树木径向生长对当年 6 月的月平均温度的响应与初始生长率间不存在显著线性关系,表明不同生长率树木对温度的响应是较为一致的.这可能是由于在温度较高的夏季,水分缺失会抑制树木的生长,树木会选择在气候较为适宜的春季和早夏开始形成层活动并产生管胞或导管,使生长更加迅速[16].

5.4　树龄与初始生长率间的关系

分析树木树龄与初始生长率的关系显示,在本研究区树龄大的树木都具有较低的初始生长率,即初始生长慢的树通常比初始生长快的树能存活至更大的寿命.初始生长过慢的树木由于在生长前期将过多资源分配给木质部,用以防止病原菌的袭击,从而导致新陈代谢速率降低,抵抗力增强使树木寿命延长[47].初始生长快的树增加了短期内生存的可能性,但是对防御的投入较少,使得树木根部发育不良,易降低树木存活率[5].有研究也证明初始生长较快的树木因为养分好,竞争力强,有一定竞争优势.但这些生长较快的树木木材密度低,抗性差,因此更容易过早死亡,导致此部分抵抗力差的树木年龄普遍不高[4].

6　结　论

在本研究区内,年龄组和生长率组树木均表现出与前一年 8 月、当年 5 和 6 月及前一年 8 月至当年 6 月的累积降水有显著正相关关系,同时也表现出与前一年 6、7 月和当年 6、7 月的月平均温度有显著负相关关系.对于年龄组树木而言,老龄树比幼龄树对于降水的响应更加强烈,不同年龄树木对夏季中期温度的响应较为一致.对于生长率组的树木而言,初始生长快的树木对降水的响应比初始生长慢的树木更强烈,但不同初始生长率树木对夏季中期温度的响应亦无明显差别.研究区树木也表现出树木寿命越长其初始生长率越低的特点,而初始生长率低且年龄小的树木对降水的响应最不敏感.在森林经营管理中应对初始生长过快和树龄过大的树木加强管理和保护.

参 考 文 献

[1] 张国华.古树衰老状况及生理生化特性研究[D].北京:首都师范大学,2009.

[2] 刘敏.中国东北红松生长对气候变化的响应及其动态研究[D].哈尔滨:东北林业大学, 2017.

[3] YODER B J, RYAN M G, WARING R H. Evidence of reduced photosynthetic rates in old trees[J]. Forest Science, 1994, 40(3): 513 – 527.

[4] MALCOIM H, KELLY P M, PILCHER J R. Climate from tree rings[M]. New York:Cambridge University, 1982.

[5] PALOMA R B, JAIME M G, SARAH Y. Climatic stress during stand development alters the sign and magnitude of age-related growth responses in a subtropical mountain pine[J]. PLoS One, 2015, 10(5): 76 – 80.

[6] CHRISTOF B. Trade-offs between growth rate, tree size and lifespan of mountain pine (*Pinus montana*) in the Swiss National Park[J]. PLoS One, 2016, 11(3): e0150402.

[7] ELISABETH R, CAROLINE H, CHRISTOF B. Effects of growth rates, tree morphology and site conditions on longevity of Norway spruce in the northern Swiss Alps[J]. European Journal of Forest Research, 2012, 131(4): 1117 – 1125.

[8] 路明.祁连山东部不同针叶树种径向生长监测研究[D].兰州:兰州大学, 2016.

[9] 李彩娟,陈拓,王波,等.树轮异常结构的研究进展[J].生态学杂志,2019,38(5):1538 – 1550.

[10] ZHANG F, GOU X H, LIU W H, et al. Individual and time-varying tree-ring growth to climate sensitivity of *Pinus tabuliformis* Carr and *Sabina przewalskii* Kom in the eastern Qilian Mountains, China[J]. Trees-Structure and Function, 2013, 27(2): 359 – 370.

[11] CARRER M, URBINATI C. Age-dependent tree-ring growth responses to climate in *Larix decidua* and *Pinus cembra*[J]. Ecology, 2004, 85(3): 730 – 740.

[12] WANG X C, ZHANG Y D, MCRAE D J. Spatial and age-dependent tree-ring growth responses of *Larix gmelinii* to climate in northeastern China[J]. Trees-Structure and Function, 2009, 23(4): 875 – 885.

[13] HAAVIK L J, STAHLE D W, STEPHEN F M. Temporal aspects of *Quercus rubra* decline and relationship to climate in

首都师范大学学报(自然科学版)

the Ozark and Ouachita Mountains, Arkansas[J]. Canadian Journal of Forest Research, 2011, 41(4): 773 – 781.

[14] LI X X, LIANG E Y, JOZICA G, et al. Age dependence of xylogenesis and its climatic sensitivity in Smith fir on the south-eastern Tibetan Plateau[J]. Tree Physiology, 2013, 33(1): 48 – 56.

[15] WU G J, XU G B, CHEN T, et al. Age-dependent tree-ring growth responses of Schrenk spruce (*Picea schrenkiana*) to climate: a case study in the Tianshan Mountain, China[J]. Dendrochronologia, 2013, 31(4): 318 – 326.

[16] JOANA V, FILIPE C, CRISTINA N. Age-dependent responses of tree-ring growth and intra-annual density fluctuations of *Pinus pinaster* to Mediterranean climate[J]. Trees-Structure and Function, 2009, 23(2): 257 – 265.

[17] SCHUSTER R, OBERHUBER W. Age-dependent climate-growth relationships and regeneration of *Picea abies* in a drought-prone mixed-coniferous forest in the Alps[J]. Canadian Journal of Forest Research, 2013, 43(7): 609 – 618.

[18] BLACK B A, COLBERT J, PEDERSON N. Relationships between radial growth rates and lifespan within North American tree species[J]. Ecoscience, 2008, 15(3): 349 – 357.

[19] FANG K Y, CHEN D, GOU X H, et al. Influence of non-climatic factors on the relationships between tree growth and climate over the Chinese Loess Plateau[J]. Global and Planetary Change, 2015, 132: 54 – 63.

[20] 秦嘉海,魏淑莲,金自学,等.不同针叶林对祁连山森林灰褐土理化性质和水源涵养功能的影响[J].水土保持通报,2010,30(5):84 – 87.

[21] FRITTS H C. Tree rings and climate [M]. London: Academic Press, 2012:78.

[22] YAMAGUCHI D K, COOK E R, KAIRIUKSTIS L A. Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences[J]. Kluwer Academic Publishers, 1990, 65(2): 95 – 103.

[23] RINN F. TSAP-Win: time series analysis and presentation for dendrochronology and related applications [M]. Heidelberg Germany: Frank Rinn, 2003: 251.

[24] 王晓东.长白山北坡林线对气候变化的响应过程研究[D].长春:东北师范大学,2011.

[25] 霍玉侠.树轮宽度记录的新疆北疆地区气候变化研究[D].兰州:兰州大学,2017.

[26] COOK E R. A time series analysis approach to tree ring standardization[M]. Tucson:The University of Arizona, 1985.

[27] APPLEQUIST M B. A simple pith locator for use with off-center increment cores[J]. Journal of Forestry Research, 1958, 56(2): 141.

[28] CHRISTOF B, THOMAS T V. Increased early growth rates decrease longevities of conifers in subalpine forests[J]. Oikos, 2009, 118(8): 1130 – 1138.

[29] TIAN Q H, GOU X H, ZHANG Y, et al. May-June mean temperature reconstruction over the past 300 years based on tree rings in the Qilian Mountains of the Northeastern Tibetan Plateau[J]. Iawa Journal, 2009, 30(4): 421 – 434.

[30] CHEN F, YUSN Y J, WEI W S, et al. Tree-ring-based annual precipitation reconstruction for the Hexi Corridor, NW China: consequences for climate history on and beyond the mid-latitude Asian continent[J]. Boreas, 2013, 42(4): 1008 – 1021.

[31] GAO L L, GOU X H, YANG D, et al. Dendroclimatic response of *Picea crassifolia* along an altitudinal gradient in the eastern Qilian Mountains, Northwest China[J]. Arctic Antarctic and Alpine Research, 2013, 45(4): 491 – 499.

[32] SONG W Q, ZHU L J, ZHANG X, et al. Comparison of growth-climate relationship of Sabina przewalskii at different timberlines along a precipitation gradient in the northeast Qinghai-Xizang Plateau, China[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2018, 42(1): 66 – 77.

[33] LIANG E Y, SHAO X M, LIU X H. Annual precipitation variation inferred form tree rings since AD 1770 for the western Qilian Mountain, northern Tibetan Plateau[J]. Tree-Ring Research, 2009,12(2):57 – 62.

[34] ZHANG L N, JIANG Y, ZHAO S D, et al. Different responses of the radial growth of conifer species to increasing temperature along altitude gradient: *Pinus tabulaeformis* in the Helan Mountains (Northwestern China)[J]. Polish Journal of Ecology, 2016, 64(4): 509 – 525.

[35] LITTELL J S, PETERSON D L, TJOELKER M. Douglas-fir growth in mountain ecosystems: water limits tree growth from stand to region[J]. Ecological Monographs, 2008, 78(3): 349 – 368.

[36] LIANG E Y, SHAP X M, ECKSTEIN D, et al. Spatial variability of tree growth along a latitudinal transect in the Qilian Mountains northeastern Tibetan Plateau[J]. Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere, 2010, 40(2): 200 – 211.

首都师范大学学报(自然科学版)

[37] 徐金梅,鲍甫成,吕建雄.祁连山青海云杉径向生长对气候的响应[J].北京林业大学学报,2012,34(2):1-6.
[38] WANG T, REN H B, MA K P. Climatic signals in tree ring of *Picea schrenkiana* along an altitudinal gradient in the central Tianshan Mountains, northwestern China[J]. Trees-Structure and Function, 2005, 19(6): 736-742.
[39] BOND B J. Age-related changes in photosynthesis of woody plants[J]. Trends in Plant Science, 2000, 5(8): 349-353.
[40] MEINZER F, LACHENBRUCH B, Dawson T. Size- and age-related changes in tree structure and function[M]. Corvallis: Springer Netherlands, 2011.
[41] ROSSI S, DEDLAURIERS A, ANFODILLO T, et al. Age-dependent xylogenesis in timberline conifers[J]. New Phytologist, 2008, 177(1): 199-208.
[42] PRIMICIA I, CAMATERO J, JANDA P, et al. Age, competition, disturbance and elevation effects on tree and stand growth response of primary *Picea abies* forest to climate[J]. Forest Ecology and Management, 2015, 354: 77-86.
[43] SZEICA J M, MACDONALD G M. Age-dependent tree-ring growth responses of subarctic white spruce to climate[J]. Canadian Journal of Forest Research, 1994, 24(1): 120-132.
[44] SUN J Y, LIU Y. Age-independent climate-growth response of Chinese pine (*Pinus tabulaeformis Carrière*) in North China[J]. Trees-Structure and Function, 2015, 29(2): 397-406.
[45] ESPER J, NIEDERER R, BEBI P, et al. Climate signal age effects-evidence from young and old trees in the Swiss Engadin[J]. Forest Ecology and Management, 2008, 255(11): 3783-3789.
[46] CAILLERET M, NOURTIER M, AMM A, et al. Drought-induced decline and mortality of silver fir differ among three sites in southern France[J]. Annals of Forest Science, 2014, 71(6): 643-657.
[47] DANIELE C, OLAF S K, ROLSTAD J. Age and growth patterns of old Norway spruce trees in Trillemarka forest, Norway[J]. Scandinavian Journal of Forest Research, 2013, 28(3): 232-240.

The Climate Response of Radial Growth of *Picea crassifolia* with Different Ages and Different Initial Growth Rates in the Middle of Qilian Mountains

LI Hui　ZHAN Simin　RAN Yilin　ZHANG Lingnan　LIU Xiaohong

(School of Geography and Tourism, Shaanxi Normal University, Xi'an Shaanxi　710119)

Abstract: In order to detect the relationships between the climatic factors and radial growth of trees with different ages and different initial growth rates, tree cores of Qinghai *Picea crassifolia* in the Qilian Mountains were collected as the samples to calculate the ages and initial growth rates of trees. Cores were divided into age group and growth rate group according to the relationships between tree ages and initial growth rates. Pearson correlation coefficients were calculated between single chronology and climate factors. Results showed that trees of two groups had the significant and positive correlation with the total precipitation in the previous August, the current May and June and that from the previous August to the current June, and the significant and negative correlation with the mean monthly temperature in the previous and the current June and July. In the age group, old trees showed stronger response to precipitation in the previous June and that from the previous August to the current June than young trees. In the growth rate group, trees with higher initial growth rates showed stronger response to precipitation in the previous June and that from the previous August to the current June than trees with lower initial growth rates. The responses of trees with different ages and initial growth rates to the mean monthly temperature in the current June were similar. We should strengthen the management and protection for trees that grow too fast and are too old in the forest management.

Keywords: tree-ring; tree age; initial growth rate; climatic response

首都师范大学学报(自然科学版)