

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

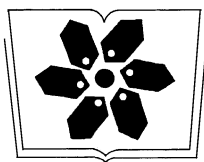
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第4期 Vol.33 No.4 **2013**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 4 期 2013 年 2 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 森林水源涵养功能的多尺度内涵、过程及计量方法 王晓学,沈会涛,李叙勇,等 (1019)
- 植物叶片水稳定同位素研究进展 罗伦,余武生,万诗敏,等 (1031)
- 城市景观格局演变的生态环境效应研究进展 陈利顶,孙然好,刘海莲 (1042)
- 城市生物多样性分布格局研究进展 毛齐正,马克明,邬建国,等 (1051)
- 基于福祉视角的生态补偿研究 李惠梅,张安录 (1065)

个体与基础生态

- 土著菌根真菌和混生植物对羊草生长和磷营养的影响 雷垚,郝志鹏,陈保冬 (1071)
- 干旱条件下 AM 真菌对植物生长和土壤水稳定性团聚体的影响 叶佳舒,李涛,胡亚军,等 (1080)
- 转 *mapk* 双链 RNA 干扰表达载体黄瓜对根际土壤细菌多样性的影响 ... 陈国华,弭宝彬,李莹,等 (1091)
- 北京远郊区臭氧污染及其对敏感植物叶片的伤害 万五星,夏亚军,张红星,等 (1098)
- 茅苍术叶片可培养内生细菌多样性及其促生潜力 周佳宇,贾永,王宏伟,等 (1106)
- 低温对蝶蛹金小蜂卵成熟及其数量动态的影响 夏诗洋,孟玲,李保平 (1118)
- 六星黑点豹蠹蛾求偶行为与性信息素产生和释放的时辰节律 刘金龙,荆小院,杨美红,等 (1126)
- 氟化物对家蚕血液羧酸酯酶及全酯酶活性的影响 米智,阮成龙,李姣蓉,等 (1134)
- 不同温度对脊尾白虾胚胎发育与幼体变态存活的影响 梁俊平,李健,李吉涛,等 (1142)

种群、群落和生态系统

- 生态系统服务多样性与景观多功能性——从科学理念到综合评估 吕一河,马志敏,傅伯杰,等 (1153)
- 不同端元模型下湿地植被覆盖度的提取方法——以北京市野鸭湖湿地自然保护区为例 崔天翔,官兆宁,赵文吉,等 (1160)
- 基于光谱特征变量的湿地典型植物生态类型识别方法——以北京野鸭湖湿地为例 林川,官兆宁,赵文吉,等 (1172)
- 浮游植物群落对海南小水电建设的响应 林彰文,林生,顾继光,等 (1186)
- 菹草种群内外水质日变化 王锦旗,郑有飞,王国祥 (1195)
- 南方红壤区 3 种典型森林恢复方式对植物群落多样性的影响 王芸,欧阳志云,郑华,等 (1204)
- 人工油松林恢复过程中土壤理化性质及有机碳含量的变化特征 胡会峰,刘国华 (1212)
- 不同区域森林火灾对生态因子的响应及其概率模型 李晓炜,赵刚,于秀波,等 (1219)

景观、区域和全球生态

- 快速城市化地区景观生态安全时空演化过程分析——以东莞市为例 杨青生,乔纪纲,艾彬 (1230)
- 海岸带生态系统健康评价中能质和生物多样性的差异——以江苏海岸带为例 唐得昊,邹欣庆,刘兴健 (1240)
- 干湿交替频率对不同土壤 CO₂ 和 N₂O 释放的影响 欧阳扬,李叙勇 (1251)

西部地区低碳竞争力评价..... 金小琴,杜受祜 (1260)

基于 HEC-HMS 模型的八一水库流域洪水重现期研究 郑 鹏,林 韵,潘文斌,等 (1268)

基于修正的 Gash 模型模拟小兴安岭原始红松林降雨截留过程 柴汝杉,蔡体久,满秀玲,等 (1276)

长白山北坡不同林型内红松年表特征及其与气候因子的关系..... 陈 列,高露双,张 赞,等 (1285)

资源与产业生态

河西走廊绿洲灌区循环模式“农田-食用菌”生产系统氮素流动特征 李瑞琴,于安芬,赵有彪,等 (1292)

施肥对旱地花生主要土壤肥力指标及产量的影响..... 王才斌,郑亚萍,梁晓艳,等 (1300)

耕作措施对土壤水热特性和微生物生物量碳的影响..... 庞 绪,何文清,严昌荣,等 (1308)

基于改进 SPA 法的耕地占补平衡生态安全评价 施开放,刁承泰,孙秀锋,等 (1317)

学术争鸣

基于生态-产业共生关系的林业生态安全测度方法构想 张智光 (1326)

中国生态学会 2013 年学术年会征稿须知 (I)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 318 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 34 * 2013-02



封面图说: 石羊河——石羊河流域属大陆性温带干旱气候,气候特点是:日照充足、温差大、降水少、蒸发强、空气干燥。石羊河源出祁连山东段,河系以雨水补给为主,兼有冰雪融水成分。上游的祁连山区降水丰富,有雪山冰川和残留林木,是河流的水源补给地。中游流经河西走廊平地,形成武威和永昌等绿洲,下游是民勤,石羊河最后消失在腾格里沙漠中。随着石羊河流域人水矛盾的不断加剧,水资源开发利用严重过度,荒漠化日趋严重,民勤县的生态环境已经相当恶化,继续下去将有可能变成第二个“罗布泊”。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201209181309

陈列, 高露双, 张赞, 张思行, 赵秀海. 长白山北坡不同林型内红松年表特征及其与气候因子的关系. 生态学报, 2013, 33(4): 1285-1291.

Chen L, Gao L S, Zhang Y, Zhang S X, Zhao X H. Characteristics of tree-ring chronology of *Pinus koraiensis* and its relationship with climate factors on the northern slope of Changbai Mountain. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(4): 1285-1291.

长白山北坡不同林型内红松年表特征及其 与气候因子的关系

陈 列, 高露双, 张 赞, 张思行, 赵秀海*

(北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083)

摘要:运用树木年轮学的基本原理和方法,选取了长白山北坡保存完好的典型性植被阔叶红松林,探讨了杨桦红松林和椴树红松林内建群种红松(*Pinus koraiensis*)径向生长对气候要素的响应。结果表明,长白山北坡红松的径向生长对降水较为敏感,杨桦红松林和椴树红松林中,红松年轮宽度均与当年7月以及上一年9月的降水呈显著正相关关系。不同林型内红松的生长与气候因子的关系也有差异。椴树红松的年轮宽度还与上年7月的降水显著负相关,与当年3、4月份的平均气温呈显著正相关。而杨桦红松林内红松年轮宽度和平均温度没有显著的相关关系。特征年分析进一步验证了响应函数相关分析的结果,即当年生长季以及上年生长季末的降水充足促进了红松的径向生长;椴树红松林中,初春温度的升高有利于红松的生长。

关键词:年轮学;径向生长;红松;气候因子

Characteristics of tree-ring chronology of *Pinus koraiensis* and its relationship with climate factors on the northern slope of Changbai Mountain

CHEN Lie, GAO Lushuang, ZHANG Yun, ZHANG Sixing, ZHAO Xiuhai*

Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

Abstract: We used the dendrochronology method to investigate the radial growth of *Pinus koraiensis* response to climate change in the poplar-birch Korean pine forest and linden-Korean pine forest on the northern slope of Changbai Mountain, Northeastern China. The result indicated that the radial growth of *Pinus koraiensis* was sensitive to precipitation and *Pinus koraiensis* growing in two forest types responded to climate differently. Response function showed that monthly total precipitation in current July and previous September significantly positively affected tree growth of *Pinus koraiensis* in both forest types. In linden-Korean pine forest, ring width was also significantly negatively correlated with precipitation in the previous July and was significantly positively correlated with mean temperature of current March and Spring. Ring width in poplar-birch Korean pine forest did not show any significant correlation with mean temperature. Point year analysis confirms the result of response function analysis, indicating that precipitation in the current growing season and the end of previous growing season positively affected the radial growth of *Pinus koraiensis*, and temperature increasing in Spring positively affected radial growth of *Pinus koraiensis*.

Key Words: dendrochronology; climate change; radial growth; *Pinus koraiensis*

基金项目:国家林业公益性行业科研专项项目(200904022);国家“十二五”科技支撑计划项目(2012BAC01B03)资助

收稿日期:2012-09-18; 修订日期:2012-12-24

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhaoxh@bjfu.edu.cn

自 20 世纪以来中国东北地区升温明显,1900—1999 间温度升高了 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[1-2]。同时,东北东部地区的降水变化也较为剧烈^[3]。温度和降水等气象因子的变化对树木的生长有着重要影响。树木年轮记录了树木自身生长与外界环境变化的响应^[4]。以往研究表明树轮宽度与气象因子有着明显的相关关系^[4-6]。利用树木年轮可以从时间和空间尺度上探讨气候变化对树木生长的影响,从机理上解释环境变化影响树木生长的原理。在全球气候发生明显变化的背景下,利用树轮资料研究树木生长与气象因子的关系显得更为重要。

长白山地区气候变化剧烈,是我国东部开展树轮研究较早的区域之一^[7]。其保存完好的高山垂直植被带是我国东北地区森林生态系统的典型代表,是研究气候与树木生长关系的理想地区。以往该地区的树轮研究多集中于高海拔(1300m 以上)的针叶林^[8-9]或林线位置(2000m)的岳桦林^[10],而低海拔地区的树轮研究相对较少^[11]。阔叶红松林是长白山地区水平地带性植被,分布于海拔 500—1100m,红松是该森林类型的建群种。前人已对上下限红松的生长与气候的关系做了探讨,取得了一定的成果^[12-14]。但对于适合红松生长的海拔区域内红松生长的气候响应机制研究还很少。

本文以树木年代学的方法探究了长白山北坡中海拔地区不同林型内建群种红松径向生长对气候变化的响应,是对该地区已有研究的补充,为预测未来气候变化如何影响红松生长提供依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

长白山位于我国东北地区吉林省东南部的中朝交界处,北纬 $41^{\circ}23'$ — $42^{\circ}36'$,东经 $126^{\circ}55'$ — $129^{\circ}08'$,是我国乃至全球自然生态系统保存最完整的地区之一。本地区气候属于受季风影响的温带大陆性气候,具有冬季寒冷而漫长,夏季温暖多雨而短暂的特点。全区水热状况的特点是水量充沛,热量不足,湿润状况良好。年平均气温为 $1.18\text{ }^{\circ}\text{C}$,年累积降水量为 600—1340mm。降水多集中在夏季,6—9 月份降水量占全年降水量的 80%。年相对湿度在 70% 左右。

长白山地区红松的垂直分布一般在海拔 500—1200m 之间,单株红松可达 1400m。红松喜好温和湿润的气候条件,对温度的适应幅度较大。红松喜光,耐寒力强,不耐干旱,喜湿润、土层深厚、肥沃、排水和通气良好的微酸性土壤。

1.2 样本采集

2008 年,在杨桦红松林(H1)和椴树红松林(H2)内,分别设置 5 个 $20\text{m}\times 20\text{m}$ 样方,选择样方内林冠层的红松,在胸高处(距地面 130cm)用生长锥钻取树芯,每株树锥取两个树芯样本。取样方向与山坡坡向垂直,以避免坡度的影响造成年轮挤压现象。采样点内红松应至少达到 30 棵,若样方内数量过少,无法满足样本量要求,可在样方附近随机补取样木。采样点概况见表 1。

表 1 采样点基本情况

Table 1 Description of sampling sites

样地编号 No. of plots	林型 Forest type	纬度 Latitude	经度 Longitude	海拔/m Elevation	样本量(树芯/棵) Sample(cores/trees)
H1	杨桦红松林	$N42^{\circ}20.211'$	$E128^{\circ}05.705'$	784	56/30
H2	椴树红松林	$N42^{\circ}13.684'$	$E128^{\circ}04.573'$	1042	60/30

1.3 年表建立

样芯采回后固定,风干和打磨以达到树木年轮学分析的要求,然后测量年轮宽度并交叉定年。本文运用 LinTab5 年轮分析仪器在 0.001mm 水平上测量树轮宽度。为保证测量和定年的准确性,用 COFECHA 程序对交叉定年作进一步检验^[15],剔除问题较大的树芯。最终保留 H1 样点的 26 棵树 50 个样芯,H2 样点的 27 棵树 52 个样芯。

本论文运用 ARSTAN 软件,采用步长 35a 的样条函数法消除与树龄相关的生长趋势(简称去趋势),并对去趋势的序列以双重平均法合成标准年表(STD)。采样点森林郁闭度高,树木间竞争激烈,为消除竞争对树

木生长的影响,又以时间序列的自回归模型对去趋势的序列进行再次标准化,以双权重平均法将差值序列合成差值年表(RES)。由于 RES 的统计特征要好于 STD(表 2),因此本文用 RES 代替红松的径向生长来分析与气候的响应关系。

表 2 红松标准化和差值年表统计特征及公共区间(1930—2008)分析

Table 2 Statistic characteristics and common interval (1930—2008) analysis of standard and residual chronologies of *Pinus koraiensis*

样点 Sites 年表种类 Chronology type	H1		H2	
	STD	RES	STD	RES
可靠年表区间	1951—2008		1925—2008	
标准差 Standard deviation	0.1854	0.1706	0.2288	0.1600
平均敏感度 Mean sensitivity	0.1795	0.1916	0.1834	0.1778
一阶自相关系数 Autocorrelation order 1	0.2991	-0.0275	0.4943	-0.032
树与树间相关系数 Mean correlation among radii	0.576	0.594	0.604	0.620
信噪比 Signal-to-noise ratio	4.147	4.590	5.903	6.697
样本总体代表性 Express population signal	0.806	0.821	0.855	0.870
第一主成分所占方差量 Variance in first eigenvector	34.81%	36.67%	39.35%	41.51%

1.4 气候资料来源

本研究选取了长白山地区松江气象站点的月平均温度和月降水量 2 种气候要素。采用 Kendall^[16] 和 Double-mass 方法^[17] 检验对气象站气候资料进行均一性检验,结果表明气候资料无随机突变和明显不均匀分布情况,可用来代表自然气候的变化。

1.5 数据分析

本文采用响应函数来分析树木生长对气候的响应关系,统计过程应用树轮研究学专用软件 DENDROCLIM2002 程序来实现,显著水平 $P < 0.05$ ^[18]。以往研究表明树木生长受到当年和上一年气候因子的影响^[4],故本文选取上一年 6 月到当年 9 月的逐月气候变量(包括月平均温度和月降水量)与树轮标准化年表进行响应函数分析。同时还采用特征年分析^[15]的方法来探究造成宽轮和窄轮的气候因素。

2 结果

2.1 年表的基本统计特征

平均敏感度(MS)是年轮宽度逐年变化状况,主要反映气候的短周期变化或高频变化。H1 和 H2 的平均敏感度均较高(表 2),说明红松生长对气候变化敏感。从图 1 可以看出,椴树红松林(H2)年轮宽度的波动幅度更大,说明 H2 内的红松更适合于做年轮气候学的分析。两个样点树与树之间的相关系数均达到 0.6(表 2),说明树木径向生长很好的反映了气候变化的一致性。另外,信噪比,样本的总体代表性和第一主成分所

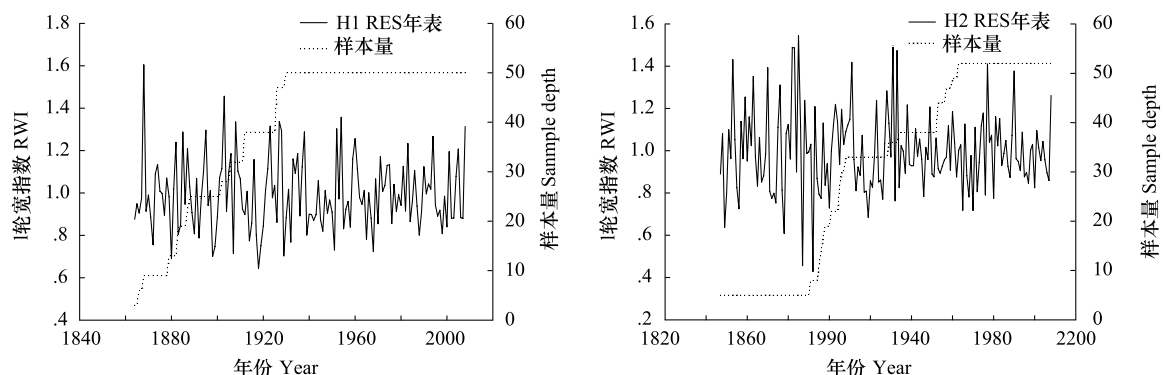


图 1 H1 和 H2 样地内红松差值年表

Fig. 1 Residual chronologies of *Pinus koraiensis* in poplar-birch (H1) and linden-Korean pine forest (H2)

解释的方差量都比较高(表2),进而证实了红松适合于年轮气候学研究。

2.2 径向生长对气候因子的响应

在杨桦红松林内(H1),红松的年轮宽度和平均温度没有显著的相关关系(图2),红松的年轮宽度和当年7月与上一年9月的降水呈显著正相关关系(图2)。说明在杨桦红松林,温度不是影响红松生长的主要因子,红松的径向生长主要受当年生长季以及上年生长季末降水的影响。在椴树的阔叶红松林内(H2),红松的年轮宽度与当年3、4月份的平均气温呈显著正相关(图3),说明生长季前的升温对红松生长有积极影响。降水方面,红松的年轮宽度和当年的6、7月呈显著正相关(图3),说明生长季的降水对红松生长有着重要影响。同时,红松的年轮宽度也与上一年9月的降水呈显著正相关,与上一年7月的降水呈显著负相关(图3)。

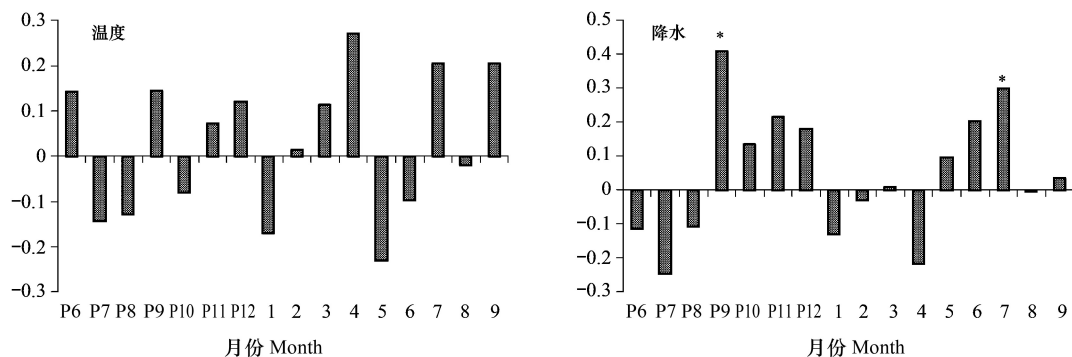


图2 杨桦红松林内红松差值年表与气候因子的关系

Fig. 2 Response function analysis for the relationship between residual chronology of *P. koraiensis* and climate factors in poplar-birch Korean pine forest

* 在0.05的水平上显著相关,p表示前一年

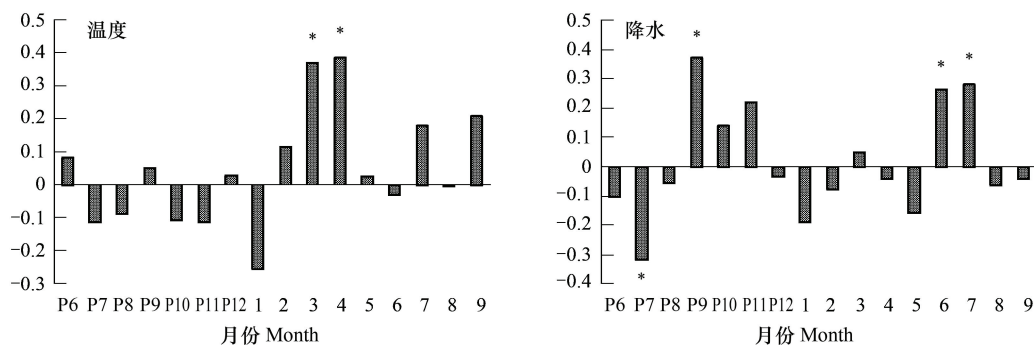


图3 椴树红松林内红松差值年表与气候因子的关系

Fig. 3 Response function analysis for the relationship between residual chronology of *P. koraiensis* and climate factors in linden-Korean pine forest

* 在0.05的水平上显著相关,P表示前一年

2.3 特征年分析

在有气候数据记录的1960—2008年间,杨桦红松林(H1)样点内红松在1968年出现了极窄年份,当年生长量为0.735mm,较历年平均年生长量降低了0.4mm。通过分析极端年份的气候因子特征,发现1968年当年7月和上一年9月的降水量均低于历史平均水平,差值分别为373mm和570mm(图4)。同时,1968年7月份的温度也低于历史平均水平(图4)。这说明当年7月的低温和降水异常,以及上一年9月的降水偏少是产生窄轮的主要原因。椴树红松林(H2)的红松则在1970年表现出极窄的轮宽,仅为0.619mm,较历年平均年生长量降低了0.38mm。1970年3月份的月平均气温低于历史平均水平(低7℃)(图5)。在降水方面,无论是在红松生长旺盛期的当年7、8月份,还是在红松生长末期的上一年9月,1970年的月平均降水量均低于历

史平均水平(图5)。

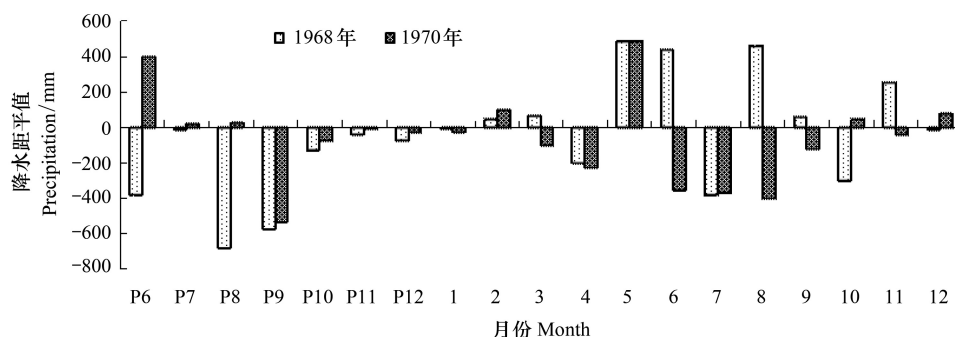


图4 降水量单年分析(1968年、1970年)距平分析

Fig. 4 Single year analysis of monthly precipitation in 1968 and 1970

p 表示前一年

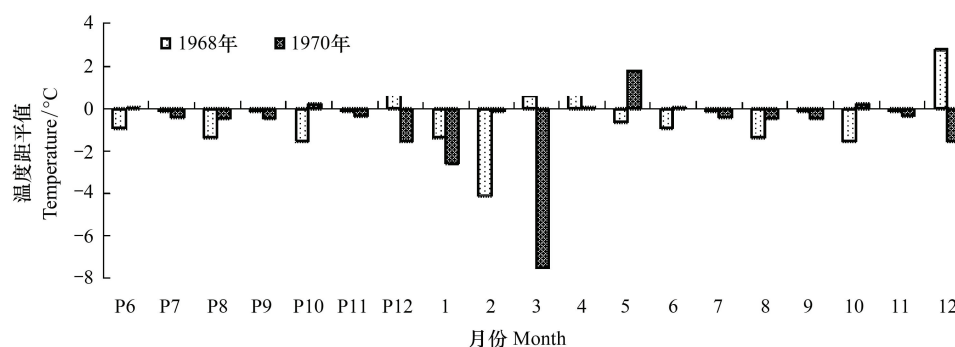


图5 温度单年分析(1968年、1970年)距平分析

Fig. 5 Single year analysis of monthly temperature in 1968 and 1970

3 讨论

3.1 径向生长与气候因子的关系

杨桦红松林内红松的径向生长主要受降水影响。7月是红松的生长旺季,也是降水最多的月份,高温高湿的气候条件十分有利于树木的光合作用,生产出足够的光合产物促进树木的生长^[19]。反之,7月的温度最高,蒸发量相对较大,降水不足便会抑制树木的径向生长^[4]。9月处于生长季末期,树木仍能进行一定的光合作用,丰富的降水有利于红松光合产物的积累以及土壤水分的涵养,为来年树木的生长提供充足的养分和良好的条件^[20-21]。生长季末期降水的“滞后效应”在其它针叶树种上也有所体现^[22]。

椴树红松林内红松的径向生长受温度和降水共同影响。初春(3和4月)温度升高促进了形成层活动提早,有利于树木及早打破休眠,从而延长了生长季,有利于树木的生长^[23]。另外,春季气温升高加速林地积雪的融化和地温的升高,有利于根系活动,从而促进了树木的生长^[24]。其他研究表明,同为五针松的华山松也受到初春温度的重要影响^[25-26]。同杨桦红松林类似,椴树红松林内红松的年轮宽度与当年生长季(6和7月)以及上一年生长季末(9月)的降水呈显著正相关。同时,上年7月的降水成为当年红松生长的限制因子。这可能是因为7月是红松生长最旺盛的时期,充足的降水大大促进了树木的光合作用,消耗了过多的光合产物,减少了营养物质的积累,从而影响到来年树木的生长。陈力等^[12]研究也发现,红松生长与上年7月的降水显著负相关。上一年生长季优越的气候条件限制来年树木的生长,这一现象在其他树木年轮研究中也有所体现^[27]。

本研究表明,无论是在杨桦或椴树红松林内,当年生长季和上一年生长季末的降水对红松的径向生长均有着重要影响,这与前人的研究结果一致。例如,高露双等^[13]发现红松的径向生长与当年7月的降水呈显著

正相关;Yu 等^[28]的研究结果也表明,生长季的丰富降水促进了红松的径向生长;李广起等^[14]发现上一年生长后期(8 和 9 月)的降水与红松年轮宽度有着明显的正相关关系。长白山地区虽然降雨量较大,但是降水仍然是影响红松生长的主要因子,这可能与红松自身的喜湿特性密切相关。

杨桦红松林内红松生长仅与降水显著相关,而在椴树红松林内,温度也成为影响红松生长的主要因子。这种差异可能与两样点所处的海拔相关。以往研究表明,降水是分布下限树木生长的限制因子^[29-30],而分布上限树木的生长则受低温限制^[31-32]。杨桦红松林所处海拔较低,温度条件适宜,故红松对气候因子的响应只反映在降水上。椴树红松林所处海拔较高,接近于红松分布的上限,该样点的温度环境更寒冷,因此红松对温度更为敏感。温度的升高,尤其是春季温度的升高,延长了生长季,有利于红松的早期生长。Yu 等^[28]研究发现,生长在上限的红松与 3 月和 4 月的温度呈显著正相关。同时,其他研究也表明上限红松的径向生长与生长季的温度呈明显的正相关关系^[13-14]。

3.2 特征年对径向生长与气候因子关系的验证

通过选取有代表性的年份分析气候因子对树木生长的影响,从而验证前面响应函数的相关分析结果。特征年分析结果表明无论在杨桦(H1)或椴树(H2)红松林内,当年 7 月和上一年 9 月的降水偏少是引起窄轮的主要原因。从而进一步验证了响应函数所得到的结果,即当年生长季以及上一年生长季末的降水是决定红松年轮宽度的主要因素。结果同时指出,生长季的温度(杨桦红松林)和初春温度(椴树红松林)偏低也是形成窄轮的重要原因。这也和本文响应函数以及前人的研究结果相一致。生长季充足的降水和适宜的温度使得红松生长旺盛期的水热条件达到最佳,保证了红松宽轮的形成;上一年生长季末的降水有利于营养物质积累,促进了来年树木的生长,是形成红松宽轮的重要因素;在椴树红松林内处,生长季前的升温有利于红松打破休眠,及早进入生长季,也是影响红松生长的重要因子。

References:

- [1] Qian W H, Zhu Y F. Climate change in China from 1880 to 1998 and its impact on the environmental condition. *Climatic Change*, 2001, 50: 419-444.
- [2] Qian W, Qin A. Spatial-temporal characteristics of temperature variation in China. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 2006, 93: 1-16.
- [3] Guo Q Y. Analysis of the intensity index and the change of East Asia wind. *Acta Geographica Sinica*, 1983, 38: 207-217.
- [4] Fritts H C. *Tree rings and climate*. London: Academic Press, 1976.
- [5] Chen Z J, Chen W, He X Y, Shao X M, Sun Y, Zhang C T, Liu T H. 2007. Development of Chinese pine tree-ring width chronology in Fuling Mausoleum, Shenyang of northeastern China. *Journal of Beijing Forestry University*, 2007, 29 (4): 100-109.
- [6] Zheng Y H, Liang E Y, Zhu H F, Shao X M. Response of radial growth of Qilian juniper to climatic change under different Habitats. *Journal of Beijing Forestry University*, 2008, 30(3): 7-12.
- [7] Shao X M, Wu X D. Reconstruction of climate change on Changbai Mountain, Northeast China using tree-ring data. *Quaternary Sciences*, 1997, 3: 76-85.
- [8] Yu D P, Wang S Z, Tang L N, Dai L M, Wang Q L, Wang S X. Relationship between tree-ring chronology of *Larix olgensis* in Changbai Mountains and the climate change. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(1): 14-20.
- [9] Yu D P, Wang Q L, Wang G G, Dai L M. Dendroclimatic response of *Picea jezoensis* along an altitudinal gradient in Changbai Mountains. *Science in China: Series E*, 2006, 49: 150-159.
- [10] Yu D P, Wang G G, Dai L M, Wang Q L. Dendroclimatic analysis of *Betula ermanii* forests at their upper limit of distribution in Changbai Mountain, Northeast China. *Forest Ecology Management*, 2007, 240: 105-113.
- [11] Gao L S, Zhang C Y, Zhao X H, Gadow K V. Gender-related climate response of radial growth in dioecious *Fraxinus mandshurica* Trees. *Tree-Ring Research*, 2010, 66(2): 105-112.
- [12] Chen L, Wu S H, Dai E F. Analysis of the tree-ring width chronologies of *Pinus koraiensis* and *Larix olgensis* on Changbai Mountains, Northeast China. *Geographical Research*, 2011, 30(6): 1147-1155.
- [13] Gao L S, Wang X M, Zhao X H. Response of *Pinus koraiensis* and *Picea jezoensis* var. *komarovii* to climate in the transition zone of Changbai Mountain, China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2011, 35 (1): 27-34.
- [14] Li G Q, Bai F, Sang W G. Different responses of radial growth to climate warming in *Pinus koraiensis* and *Picea jezoensis* var. *komarovii* at their

- upper elevational limits in Changbai Mountain, China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2011, 35 (5): 500-511.
- [15] Holmes R L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin*, 1983, 43: 69-78.
- [16] Kendall M G. *Rank Correlation Methods*. London: Charles Griffin, 1975.
- [17] Korner C, Paulsen J. A world-wide study of high altitude treeline temperatures. *Journal of Biogeography*, 2004, 31: 713-732.
- [18] Biondi F, Waiu K. DENDROCLIM2002: a C++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies. *Computer and Geosciences*, 2004, 30: 303-311.
- [19] Buckley B M, Wilson R J S, Kelly P E, Larson D W, Cook E R. Inferred summer precipitation for southern Ontario back to AD 610, as reconstructed from ring widths of *Thuja occidentalis*. *Canadian Journal of Forest Research*, 2004, 34: 2541-255.
- [20] Liang E Y, Shao X M, Hu Y X, Lin J X. Dendroclimatic evaluation of climate-growth relationships of Meyer spruce (*Picea meyeri*) on a sandy substrate in semi-arid grassland, North China. *Trees*, 2001, 15: 230-235.
- [21] Sang W G, Wang Y X, Su H X, Lu Z H. Response of tree ring width to rainfall gradient along the Tianshan Mountains of northwestern China. *Chinese Science Bulletin*, 2007, 52 (21): 2954-2962.
- [22] Peng J F, Gou X H, Chen F H, Liu P X, Zhang Y, Fang K Y. Characteristics of ring-width chronologies of *Picea crassifolia* and their responses to climate at different elevations in the Anyemaqen Mountains. *Acta Ecologica Sinica*. 2007, 27(8): 3268-3276.
- [23] Mäkinen H, Nöjd P, Kahle H P, Neumann U, Tveite B, Mielikäinen K, Röhle H, Spiecker H. Large-scale climatic variability and radial increment variation of *Picea abies* (L.) Karst. in central and northern Europe. *Trees*, 2003, 17: 173-184.
- [24] Kujansuu J, Yasue K, Koike T, Abaimov A P, Kajimoto T, Takeda T, Tokumoto M, Matsuura Y. Climatic responses of tree-ring widths of *Larix gmelinii* on contrasting north-facing and south-facing slopes in central Siberia. *Journal of Wood Science*, 2007, 53: 87-93.
- [25] Shao X M. Radial growth of Huashan Pine and its response to climate. *Journal of Chinese Geography*, 1994, 4(3/4): 88-102.
- [26] Shao X M, Wu X D. Tree-ring chronologies for *Pinus armandi* Franch from Huashan, China. *Acta Geographica Sinica*, 1994, 49 (2): 174-181.
- [27] Zhao Z J, Tan L Y, Kang W D, Liu Q J, Li J Q. Responses of *Picea likiangensis* radial growth to climate change in the Small Zhongdian area of Yunnan Province, Southwest China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, 23(3): 603-609.
- [28] Yu D P, Wang Q W, Wang Y, Zhou W M, Ding H, Fang X M, Jiang S W, Dai L M. Climatic effects on radial growth of major tree species on Changbai Mountain. *Annals of Forest Science*, 2011, 68: 921-933.
- [29] Dittmar C, Zech W, Elling W. Growth variation of common beech (*Fagus sylvatica* L.) under different climatic and environmental conditions in Europe-a dendroecological study. *Forest Ecology and Management*, 2003, 173: 63-78.
- [30] Peng J F, Gou X H, Chen, F H, Li J B, Liu P X, Zhang Y. Altitudinal variability of climate-tree growth relationships along a consistent slope of Anyemaqen Mountains, northeastern Tibetan Plateau. *Dendrochronologia*, 2008, 26: 87-96.
- [31] Wilson R J S, Luckman B H. Tree-ring reconstruction of maximum and minimum temperatures and the diurnal temperature range in British Columbia, Canada. *Dendrochronologia*, 2002, 20: 257-268.
- [32] Frank D, Eeper J. Characterization and climate response patterns of a high-elevation, multi-species tree-ring network in the European Alps. *Dendrochronologia*, 2005, 22: 107-121.

参考文献:

- [3] 郭其蕴. 东亚夏季风强度指数及其变化的分析. *地理学报*, 1983, 38(3): 207-217.
- [5] 陈振举, 陈玮, 何兴元, 邵雪梅, 孙雨, 张春涛, 付印东, 刘铁红. 沈阳福陵油松年轮度年表的建立. *北京林业大学学报*, 2007, 29(4): 100-109.
- [6] 郑永宏, 梁尔源, 朱海峰, 邵雪梅. 不同生境祁连山圆柏径向生长对气候变化的响应. *北京林业大学学报*, 2008, 30(3): 7-12.
- [7] 邵雪梅, 吴祥定. 利用树轮资料重建长白山区过去气候变化. *第四纪研究*, 1997, 17(1): 76-85.
- [8] 于大炮, 王顺忠, 唐立娜, 代力民, 王庆礼, 王绍先. 长白山北坡落叶松年表及其与气候变化的关系. *应用生态学报*, 2005, 16(1): 14-20.
- [12] 陈力, 吴绍洪, 戴尔阜. 长白山红松和落叶松树轮宽度年表特征. *地理研究*, 2011, 30(6): 1147-1155.
- [13] 高露双, 王晓明, 赵秀海. 长白山过渡带红松和鱼鳞云杉径向生长对气候因子的响应. *植物生态学报*, 2011, 35 (1): 27-34.
- [14] 李广起, 白帆, 桑卫国. 长白山红松和鱼鳞云杉在分布上限的径向生长对气候变暖的不同响应. *植物生态学报*, 2011, 35 (5): 500-511.
- [22] 彭剑峰, 勾晓华, 陈发虎, 刘普幸, 张永, 方克艳. 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. *生态学报*, 2007, 27(8): 3268-3276.
- [26] 邵雪梅, 吴祥定. 华山树木年轮年表的建立. *地理学报*, 1994, 49 (2): 174-181.
- [27] 赵志江, 谭留夷, 康东伟, 刘琪璟, 李俊清. 云南小中甸地区丽江云杉径向生长对气候变化的响应. *应用生态学报*, 2012, 23(3): 603-609.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 4 February, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Concepts, processes and quantification methods of the forest water conservation at the multiple scales WANG Xiaoxue, SHEN Huitao, LI Xuyong, et al (1019)
- Advances in the study of stable isotope composition of leaf water in plants LUO Lun, YU Wusheng, WAN Shimin, et al (1031)
- Eco-environmental effects of urban landscape pattern changes: progresses, problems, and perspectives CHEN Liding, SUN Ranhao, LIU Hailian (1042)
- An overview of advances in distributional pattern of urban biodiversity MAO Qizheng, MA Keming, WU Jianguo, et al (1051)
- Ecological compensation boosted ecological protection and human well-being improvement LI Huimei, ZHANG Anlu (1065)

Autecology & Fundamentals

- Effects of indigenous AM fungi and neighboring plants on the growth and phosphorus nutrition of *Leymus chinensis* LEI Yao, HAO Zhipeng, CHEN Baodong (1071)
- Influences of AM fungi on plant growth and water-stable soil aggregates under drought stresses YE Jiashu, LI Tao, HU Yajun, et al (1080)
- The effect of transgenic cucumber with double strands RNA of *mapk* on diversity of rhizosphere bacteria CHEN Guohua, MI Baobin, LI Ying, et al (1091)
- The ambient ozone pollution and foliar injury of the sensitive woody plants in Beijing exurban region WAN Wuxing, XIA Yajun, ZHANG Hongxing, et al (1098)
- Diversity and plant growth-promoting potential of culturable endophytic bacteria isolated from the leaves of *Atractylodes lancea* ZHOU Jiayu, JIA Yong, WANG Hongwei, et al (1106)
- Effects of the low temperature treatment on egg maturation and its numerical dynamics in the parasitoid *Pteromalus puparum* (Hymenoptera: Pteromalidae) XIA Shiyang, MENG Ling, LI Baoping (1118)
- Circadian rhythm of calling behavior and sexual pheromone production and release of the female *Zeuzera leuconotum* Butler (Lepidoptera: Cossidae) LIU Jinlong, JING Xiaoyuan, YANG Meihong, et al (1126)
- Influence of fluoride on activity of carboxylesterase and esterase in hemolymph of *Bombyx mori* MI Zhi, RUAN Chenglong, LI Jiaorong, et al (1134)
- Effects of water temperature on the embryonic development, survival and development period of larvae of ridgetail white prawn (*Exopalaemon carinicauda*) reared in the laboratory LIANG Junping, LI Jian, LI Jitao, et al (1142)

Population, Community and Ecosystem

- Diversity of ecosystem services and landscape multi-functionality: from scientific concepts to integrative assessment LÜ Yihe, MA Zhimin, FU Bojie, et al (1153)
- Research on estimating wetland vegetation abundance based on spectral mixture analysis with different endmember model: a case study in Wild Duck Lake wetland, Beijing CUI Tianxiang, GONG Zhaoning, ZHAO Wenji, et al (1160)
- Identifying typical plant ecological types based on spectral characteristic variables: a case study in Wild Duck Lake wetland, Beijing LIN Chuan, GONG Zhaoning, ZHAO Wenji, et al (1172)
- Responses of phytoplankton community to the construction of small hydropower stations in Hainan Province LIN Zhangwen, LIN Sheng, GU Jiguang, et al (1186)
- Diurnal variation of water quality around *Potamogeton crispus* population WANG Jinqi, ZHENG Youfei, WANG Guoxiang (1195)
- Effects of three forest restoration approaches on plant diversity in red soil region, southern China WANG Yun, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (1204)
- Dynamics of soil physical-chemical properties and organic carbon content along a restoration chronosequence in *Pinus tabulaeformis* plantations HU Huifeng, LIU Guohua (1212)
- Probability models of forest fire risk based on ecology factors in different vegetation regions over China LI Xiaowei, ZHAO Gang, YU Xiubo, et al (1219)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Landscape ecological security dynamics in a fast growing urban district: the case of Dongguan City YANG Qingsheng, QIAO Jigang, AI Bin (1230)
- The difference between exergy and biodiversity in ecosystem health assessment: a case study of Jiangsu coastal zone TANG Dehao, ZOU Xinqing, LIU Xingjian (1240)
- Impacts of drying-wetting cycles on CO₂ and N₂O emissions from soils in different ecosystems OUYANG Yang, LI Xuyong (1251)
- Evaluation of low-carbon competitiveness in Western China JIN Xiaoqin, DU Shouhu (1260)
- Flood return period analysis of the Bayi Reservoir Watershed based on HEC-HMS Model ZHENG Peng, LIN Yun, PAN Wenbin, et al (1268)
- Simulation of rainfall interception process of primary korean pine forest in Xiaoxing'an Mountains by using the modified Gash model CHAI Rushan, CAI Tiju, MAN Xiuling, et al (1276)
- Characteristics of tree-ring chronology of *Pinus koraiensis* and its relationship with climate factors on the northern slope of Changbai Mountain CHEN Lie, GAO Lushuang, ZHANG Yun, et al (1285)

Resource and Industrial Ecology

- Nitrogen flows in "crop -edible mushroom" production systems in Hexi Corridor Oasis Irrigation Area LI Ruiqin, YU Anfen, ZHAO Youbiao, et al (1292)
- Effects of fertilization on soil fertility indices and yield of dry-land peanut WANG Caibin, ZHENG Yaping, LIANG Xiaoyan, et al (1300)
- Effect of tillage and residue management on dynamic of soil microbial biomass carbon PANG Xu, HE Wenqing, YAN Changrong, et al (1308)
- Evaluation of eco-security of cultivated land requisition-compensation balance based on improved set pair analysis SHI Kaifang, DIAO Chengtai, SUN Xiufeng, et al (1317)

Opinions

- Methodology for measuring forestry ecological security based on ecology-industry symbiosis: a research framework ZHANG Zhiguang (1326)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索自然奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 4 期 (2013 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 4 (February, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元