

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

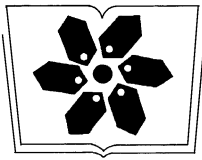
Acta Ecologica Sinica



第31卷 第21期 Vol.31 No.21 **2011**

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 31 卷 第 21 期

2011 年 11 月 (半月刊)

目 次

基于景观格局理论和理想风水模式的藏族乡土聚落景观空间解析——以甘肃省迭部县扎尕那村落为例·····	史利莎,严力蛟,黄璐,等 (6305)
武夷山风景名胜区景观生态安全度时空分异规律·····	游巍斌,何东进,巫丽芸,等 (6317)
旅游地道路生态持续性评价——以云南省玉龙县为例·····	蒋依依 (6328)
城市空间形态紧凑度模型构建方法研究·····	赵景柱,宋瑜,石龙宇,等 (6338)
丹顶鹤多尺度生境选择机制——以黄河三角洲自然保护区为例·····	曹铭昌,刘高焕,徐海根 (6344)
西南喀斯特区域水土流失敏感性评价及其空间分异特征·····	凡非得,王克林,熊鹰,等 (6353)
流域尺度海量生态环境数据建库关键技术——以塔里木河流域为例·····	高凡,闫正龙,黄强 (6363)
雌雄异株植物鼠李的生殖分配·····	王娟,张春雨,赵秀海,等 (6371)
长白山北坡不同年龄红松年表及其对气候的响应·····	王晓明,赵秀海,高露双,等 (6378)
不同高寒退化草地阿尔泰针茅种群的小尺度点格局·····	赵成章,任珩,盛亚萍,等 (6388)
残存银杏群落的结构及种群更新特征·····	杨永川,穆建平, TANG Cindy Q, 等 (6396)
濒危植物安徽羽叶报春两种花型的繁育特性及其适应进化·····	邵剑文,张文娟,张小平 (6410)
神农架海拔梯度上 4 种典型森林的乔木叶片功能性状特征·····	罗璐,申国珍,谢宗强,等 (6420)
不同植被恢复模式下煤矸石山复垦土壤性质及煤矸石风化物的变化特征·····	王丽艳,韩有志,张成梁,等 (6429)
火烧对黔中喀斯特山地马尾松林分的影响·····	张喜,崔迎春,朱军,等 (6442)
内蒙古高原锦鸡儿属植物的形态和生理生态适应性·····	马成仓,高玉葆,李清芳,等 (6451)
古尔班通古特沙漠西部梭梭种群退化原因的对比分析·····	司朗明,刘彤,刘斌,等 (6460)
白石砬子国家级自然保护区天然林的自然稀疏·····	周永斌,殷有,殷鸣放,等 (6469)
黑龙江省东完达山地区东北虎猎物种群现状及动态趋势·····	张常智,张明海 (6481)
基于 GIS 的马铃薯甲虫扩散与河流关系研究——以新疆沙湾县为例·····	李超,张智,郭文超,等 (6488)
2010 年广西兴安地区稻纵卷叶螟发生动态及迁飞轨迹分析·····	蒋春先,齐会会,孙明阳,等 (6495)
B 型烟粉虱对寄主转换的适应性·····	周福才,李传明,顾爱祥,等 (6505)
利用 PCR-DGGE 方法分析不同鸡群的盲肠微生物菌群结构变化·····	李永洙, Yongquan Cui (6513)
鸡粪改良铜尾矿对 3 种豆科植物生长及基质微生物量和酶活性的影响·····	张宏,沈章军,阳贵德,等 (6522)
铜绿微囊藻对紫外辐射的生理代谢响应·····	汪燕,李珊珊,李建宏,等 (6532)
10 种常见甲藻细胞体积与细胞碳、氮含量的关系·····	王燕,李瑞香,董双林,等 (6540)
冬季太湖表层底泥产毒蓝藻群落结构和种群丰度·····	李大命,孔繁翔,于洋,等 (6551)
城市机动车道颗粒物扩散对绿化隔离带空间结构的响应·····	蔺银鼎,武小刚,郝兴宇,等 (6561)
新疆城镇化与土地资源产出效益的空间分异及其协调性·····	杨宇,刘毅,董雯,等 (6568)
山东潍坊地下水硝酸盐污染现状及 $\delta^{15}\text{N}$ 溯源·····	徐春英,李玉中,李巧珍,等 (6579)
增温对宁夏引黄灌区春小麦生产的影响·····	肖国举,张强,张峰举,等 (6588)
一种估测小麦冠层氮含量的新高光谱指数·····	梁亮,杨敏华,邓凯东,等 (6594)
黄河上游灌区稻田 N_2O 排放特征·····	张惠,杨正礼,罗良国,等 (6606)
专论与综述	
植物源挥发性有机物对氮沉降响应研究展望·····	黄娟,莫江明,孔国辉,等 (6616)
植物种群更新限制——从种子生产到幼树建成·····	李宁,白冰,鲁长虎 (6624)
研究简报	
遮荫对两个基因型玉米叶片解剖结构及光合特性的影响·····	杜成凤,李潮海,刘天学,等 (6633)
学术信息与动态	
科学、系统与可持续性——第六届工业生态学国际大会述评·····	石海佳,梁赛,王震,等 (6641)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 340 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 37 * 2011-11	



封面图说: 鹤立——丹顶鹤是世界 15 种鹤数量极小的一种,主要栖息在沼泽、浅滩、芦苇塘等湿地,以捕食小鱼虾、昆虫、蛙蚺、软体动物为主,也吃植物的根茎、种子、嫩芽。善于奔驰飞翔,喜欢结群生活。丹顶鹤属迁徙鸟类,主要在我国的黑龙江、吉林、俄罗斯西伯利亚东部、朝鲜北部以及日本等地繁殖。在长江下游一带越冬。在中国文化中有“仙鹤”之说。被列为中国国家一级重点保护野生动物名录,濒危野生动植物种国际贸易公约绝对保护的 CITES 附录一物种名录。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

王晓明, 赵秀海, 高露双, 姜庆彪. 长白山北坡不同年龄红松年表及其对气候的响应. 生态学报, 2011, 31(21): 6378-6387.

Wang X M, Zhao X H, Gao L S, Jiang Q B. Age-dependent growth responses of *Pinus koraiensis* to climate in the north slope of Changbai Mountain, North-Eastern China. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(21): 6378-6387.

长白山北坡不同年龄红松年表及其对气候的响应

王晓明, 赵秀海*, 高露双, 姜庆彪

(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: 运用树木年轮气候学方法, 研究了长白山北坡红松 (*Pinus koraiensis*) 不同年龄年表特征及其与气候因子间的关系, 以期揭示年龄因素对年表的潜在影响。结果表明, 平均年龄为 63a 的红松低龄年表与平均年龄为 184a 的高龄年表对气候的响应明显不同: 低龄红松径向生长与当年 1、2 月平均温度负相关 ($P < 0.05$), 同时也受到上年及当年多个月份的月平均最高温度或最低温度的影响, 但与降水的相关性未达到显著水平; 高龄红松径向生长则与月平均温度间的关系不明显, 而与当年 1、2、4、6、7、9 月的月平均最高温度正相关, 与当年 4 月、9 月的月平均最低温度负相关, 同时受到上年 5 月及当年 5 月月总降水量的影响。因此, 年龄因素对红松年表的气候响应方面存在一定影响, 且高龄年表对气候响应的敏感性更高, 包含有更多的气候信息。

关键词: 红松; 年龄; 温度; 降水

Age-dependent growth responses of *Pinus koraiensis* to climate in the north slope of Changbai Mountain, North-Eastern China

WANG Xiaoming, ZHAO Xiuhai*, GAO Lushuang, JIANG Qingbiao

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

Abstract: Tree rings can record the past climatic conditions which allows for retrospective analyses of climate-growth relationships. Generally, it is assumed that the relationships between tree growth and climate conditions are age-independent, as long as the biological growth trends related to tree age are removed from the tree-ring data through detrending. However, if trees of different ages respond differently to climatic conditions, a dendroclimatic analysis based on even-aged samples may be biased in capturing climatic variability throughout the length of the chronology. To evaluate the importance of this effect, in the present study we analyzed the role of tree age in affecting radial growth response to climate in Korean pine (*Pinus koraiensis*).

In the north slope of Changbai Mountain, Northeast China, we sampled 49 trees of Korean pine, which were grouped into two age classes: the younger 50—90 years old trees (young cambial age group, YCA), and the trees older than 130 years (large cambial age group, LCA). Standard and residual chronologies of both YCA and LCA were developed and analyzed in response function and correlation analyses. Statistically significant differences existed between these chronologies and the growth response to climate variables varied between the two age classes. Standard LCA chronology had higher mean sensitivity, standard deviation, and signal-to-noise ratio as compared to respective YCA chronology, suggesting higher amount of climate-related information contained in LCA chronology.

Correlation analysis showed that the radial growth of YCA was negatively affected by mean monthly temperature of current January and February, mean monthly minimum temperature of previous September and current March and September, and it was positively correlated with mean monthly maximum temperature of previous November and of the

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项 (20100400204, 200904022)

收稿日期: 2011-03-23; 修订日期: 2011-09-14

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

current May. The radial growth of LCA was positively correlated with mean monthly maximum temperature of current January, February, April, June, July and September, and negatively correlated with mean monthly minimum temperature of current April and September. Growth of LCA trees was positively correlated with monthly precipitation of both previous and current May. Response analysis revealed that radial growth in YCA group negatively responded to mean monthly temperature of current January, while LCA trees positively responded to mean monthly maximum temperature during current May and September. The tree-ring growth of YCA was largely correlated with monthly temperature, and the radial growth of LCA was affected by both temperature and precipitation.

Furthermore, we checked the tree-ring width annually during the period of 1982 to 2007 and noticed that in 1985, the tree-ring increment in YCA increased sharply, while the increment of LCA did not show any obvious increase in that year. In 1988, the tree-ring width in LCA trees was clearly below long-term average, while no such pattern was present in YCA trees. Examination of instrumental climate data revealed that in 1985, the temperature was below long-term average in January and March, and clearly above the average in May. In 1988, the temperature in current February was below average significantly. These climatic anomalies were likely responsible for tree ring growth depressions in above-mentioned years. These observations revealed that climate conditions might affect tree-ring growth differently between trees possessed different ages. The assumption of age-independent climate-growth relationship was probably invalid for Korean pine in Changbai Mountain. Physiological processes and hydraulic constraints related to tree age could possibly be the main causes of these age-dependent effects, which required consideration during development of sampling strategies.

Key Words: Korean pine; age; temperature; precipitation

树木年轮对气候变化的记录具有逐年连续和时间确定等特点,已成为研究气候变化的重要资料。树木年轮受到气候变化和自身生理机制的共同作用,随树龄增加树轮宽度会发生一定的变化趋势^[1],因此在利用树轮宽度序列重建或预测气候变化之前,应剔除这种与树龄相关的生长趋势,从而最大限度的保留气候信息。在树轮气候学研究中,通常采用一系列去趋势方法,将与生理因素相关的生长趋势予以剔除^[1]。然而,关于去除生理趋势后年表是否仍受到年龄因素的影响以及不同年龄年表对气候因子的响应是否一致等方面仍存在一定争议^[2]。如果不同年龄树木的生长对气候状况的响应机制不同,那么基于同龄样本而建立的年表则无法涵盖影响树木生长的全部气候信息^[2-3]。围绕着这些争议,国内外开展了一系列相关研究。

一些研究表明年龄对年表并没有特殊影响。Kirpatrick 等对美国东北部的黑桦(*Betula lenta* L.)年表的研究发现,没有证据表明年表的可靠程度会随年表时间序列的增加而增加^[4];Colenutt 等发现分别利用高山落叶松(*Larix lualii*)高龄和低龄样本建立起的年表对气候的响应基本一致^[5];Esper 等针对瑞士石松(*Pinus cembra*)的研究也显示,不同年龄的年表中包含的气候信号并没有明显差别^[6];Wilson 和 Elling 对德国南部挪威针杉(*Picea abies* L.)和银枞(*Abies alba*)的研究表明,较为“年轻”的年表和较为“年老”的年表对于气候的响应并没有明显不同^[7]。

而另一方面,则有越来越多的研究表明年龄因素的影响确实存在。Szeicz 和 MacDonald 对生长于加拿大高山森林树线处的白云杉(*Picea glauca*)的研究表明随着年龄的增大,其径向生长对夏季温度的响应降低^[8];Carre 和 Urbinati 对意大利东部阿尔卑斯山森林上限的欧洲落叶松(*Larix decidua*)和瑞士石松树的研究则表明树木年龄越大,对气候响应的敏感性越高^[9];Ettl 和 Peterson 对落基山冷杉(*Abies lasiocarpa*)的研究也表明年龄在树木生长对气候响应中存在一定影响^[10];Ogle 等研究发现年轮宽度与干旱程度之间的关系随树龄增大而呈现减小的趋势^[11]。Linderholm 和 Linderholm 对欧洲赤松(*Pinus sylvestris* L.)的研究表明年龄>250a 的年表比 100—250a 的年表对气候的敏感性更高,但对近 40a 来的气候响应分析结果显示,年龄约为 35a 的年表比年龄更大的年表具有更高的敏感性^[2]。Rozas 对不同年龄英国栎(*Quercus robur* L.)的研究表明树木生长对气候变量的响应并不一致,年轻的样本生长受到当年 6 月温度的影响,而年老的样本则受到夏季降水、冬季

和夏季温度的共同作用^[12]。Vieira 等对不同年龄法国海岸松(*Pinus pinaster*)的研究表明其年龄较小的个体对气候更加敏感,且生长季开始的较早^[13]。Rozas 等对香刺柏(*Juniperus thurifera*)的研究表明随着年龄的增加,其对气候的敏感度降低,年龄为 50—100a 的香刺柏对气候的响应最为敏感^[14]。

在我国,关于年龄对年表的影响的研究尚不多见,且结论差异较大。Yu 等在青藏高原针对祁连圆柏(*Sabina przewalskii*)的研究表明当样本年龄大于 200a 时,各年表间无明显差异^[15]。而 Wang 等在东北地区开展的研究表明,当兴安落叶松(*Larix gmelinii*)年龄>150a 与<150a 时对气候因子的响应不同^[3]。因此,为了进一步验证年龄因素对树木年轮年表及其对气候响应等方面的影响,本文以我国东北部重要的针叶树种红松(*Pinus koraiensis*)为研究目标,探讨其不同年龄年表的特点及其径向生长对气候响应的差异,这有助于更加科学、合理的开展树木年代学相关研究。

1 材料与方法

1.1 采样区概况

采样点位于长白山北坡海拔 800—1100 m 之间,该区域属于温带季风性气候,冬季寒冷漫长,夏季温暖多雨短暂。年平均气温为 3℃左右,7 月(热月)17—19℃,1 月(冷月)−15—−17℃,年平均降水量在 700—800 mm,年平均相对湿度 71%—72%,无霜期为 100—120 d。土壤为山地暗棕色森林土,土层厚度 20—100 cm。地势平坦,地形变化较小。

1.2 样本采集及处理

在 2007 年 7—8 月份进行了样本的采集工作。在采样区内进行样地调查发现,红松健康成树的胸径多分布于 15—70 cm 之间,且以 25—30 cm 和 40—45 cm 的居多,因此选择胸径在 25—30 cm 内的健康红松 20 株,40—45 cm 范围内的 30 株,在各株胸径处(距地面 130 cm)和基部(距地面约 30 cm 处)分别钻取树芯。按照 Stock^[16]的方法,在实验室内将所有样本进行晾干、固定、打磨等预处理后,利用 LinTab5 树轮宽度量测仪在 0.01 mm 精度下测量各树芯的树轮宽度。

1.3 样本年龄确定方法

部分并未取到髓心但最靠近髓心处的年轮弧仍然完整清晰的样芯,先通过公式 $d = (L^2 + 4h^2) / 8h$ ^[17-18] 确定其缺失半径 d ,即树芯上最靠近髓心的一个完整的年轮弧到髓心的距离, L 和 h 分别代表其宽度和高度。再进一步计算缺失的年轮数 N : $N = d / rw5$ ^[17-19],其中 $rw5$ 代表与图示年轮弧最接近的 5 个相毗邻的年轮弧的平均宽度(图 1)。

1.4 交叉定年及龄级的划分

利用 COFECHA^[20] 程序进行交叉定年,剔除了因心腐而过短的序列以及生长趋势变异的序列后,最终保留 68 个样本。其中胸径在 25—30 cm 范围内的 20 株红松有 30 个序列得以保留,年龄在 50—90a 之间,简称低龄样本(Young average Cambial Age samples, YCA),其平均年龄为 63a;另外 38 个序列来自于胸径为 40—45 cm 的 29 株红松,年龄均大于 130a,简称高龄样本(Large average Cambial Age samples, LCA),平均年龄为 184a,由此建立不同年龄的年表从而展开一系列的分析。

1.5 年表的建立

鉴于采样区属于湿润地区,因此通过 ARSTANwin^[21]以步长为 32 的样条函数(SPL)去掉与树龄相关的生长趋势和树木之间因竞争造成的低频波动,最终得到标准年表(STD)和差值年表(RES)。对年轮宽度指数序列进行公共区间分析,所取公共时段为 1965—2007 年。

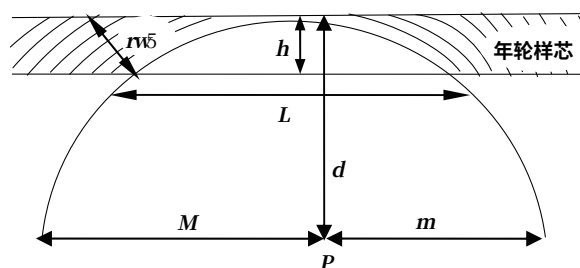


图 1 估测树芯样本缺失年轮数目方法示意图

Fig. 1 Estimation of the missing rings of a tree-ring core

由 Rozas^[17] 的图修改而成; P 代表髓心所在位置, d 表示树芯样本上最靠近髓心的一个完整年轮弧到髓心的垂直距离, L 和 h 分别代表该年轮弧的宽度和高度, $rw5$ 代表与该年轮弧最接近的 5 个相毗邻的年轮弧的平均宽度

1.6 气候资料

本文采用中国科学院长白山森林生态系统定位站(128°28'E, 42°24'N; 海拔 738 m) 1982—2007 年的气候数据, 包括月平均温度(Mean monthly temperature, T_m)、月平均最高温度(Mean monthly maximum temperature, $T_{\max}$)、月平均最低温度(Mean monthly minimum temperature, $T_{\min}$)和月降水量(Monthly precipitation, P_m)。采用 Kendall 方法^[22]检查了气候数据序列是否存在突变点, 用 Double-mass 方法^[23]检查了序列的非随机变化, 结果表明, 该站气候数据不存在突变点, 因此可以用来代表自然气候变化。

1.6 不同年龄红松年表与气候因子间的关系

为进一步比较不同年龄红松年表之间的差异, 利用 Dendro2002 程序^[24]在 0.05 显著性水平上对不同年龄红松树轮宽度指数与逐月气候因子的简单相关分析和响应分析。响应分析是一种多元回归方法, 它首先通过主成分分析以去除逐月气候因子间的自相关, 再与年轮资料做逐步回归, 然后将各主分量的回归系数转换回对应原始气候资料的回归系数, 并以回归系数的大小和正负表示树木生长对气候要素的响应关系^[25-26]。响应分析可以同时表征树木生长对多个气候要素的联系, 但由于其回归系数的置信区间可能被估计过窄, 导致过分强调某些气候要素的作用^[27]。为获得树木生长与气候要素间更为全面的关系, 简单相关分析也被应用于本研究。由于长白山地区红松生长季为每年 5—9 月, 且树木生长对气候响应存在一定的滞后性, 故选择上年 5 月到当年 9 月共 17 个月的气候指标进行相关分析及响应分析。

2 结果与分析

2.1 不同年龄红松年表基本统计特征的分析

低龄样本年表和高龄样本年表的统计特征及其公共区间分析结果见表 1。

表 1 低龄样本与高龄样本树轮年表的统计特征及公共区间分析

Table 1 Statistics characters of chronologies and common intervals analysis for YCA and LCA

年表类型 Chronology type	低龄样本 YCA		高龄样本 LCA	
	STD	RES	STD	RES
标准差 Standard deviation	0.175	0.136	0.127	0.122
一阶自相关系数 Autocorrelation order 1	0.579	0.139	0.275	-0.038
平均敏感度 Mean sensitivity	0.134	0.152	0.124	0.141
树间相关系数 Correlation between trees	0.298	0.252	0.248	0.239
信噪比 Signal-to-noise ratio	12.779	10.115	12.973	12.377
样本总体代表性 Expressing population signal	0.927	0.910	0.928	0.925

由表 1 可知, 各年表样本总体代表性均超过了 90%, 因此均能够很好的反映该地带特定年龄组树木年轮的基本特征。低龄样本和高龄样本各年表树间相关系数差别不大, 均在 0.25 左右, 说明各低龄样本间以及各高龄样本间的轮宽变化较为一致。两个低龄年表的标准差均高于相应的高龄年表, 说明低龄样本的年轮宽度波动幅度较高龄样本稍大。一阶自相关的大小, 反应了上年气候状况对当年轮宽生长影响的强弱, 两个差值年表的一阶自相关系数分别为 0.14 和 -0.04, 均明显小于相应的标准年表, 即差值年表中“滞后效应”有所降低, 同时两个低龄年表一阶自相关系数均大于相应的高龄年表, 说明低龄序列受到更多上年气候条件的影响。两个低龄年表的平均敏感度均较相应的高龄年表大, 说明低龄序列中各轮宽间的年际变化更加明显。年表信噪比的大小反映了其所承载的气候信息的多寡, 四个年表中两个标准年表的信噪比均高于相应差值年表, 说明与差值年表相比, 标准年表中含有更多的气候信息量, 但两个高龄年表的信噪比均高于低龄年表, 反映出高龄年表中可能包含更多的气候信息。相关研究表明, 一般高质量的树轮年表具有平均敏感度高^[18], 标准差大^[19], 信噪比高^[20]等特点, 综合以上分析来看, 平均年龄为 63a 的低龄样本标准年表效果较好, 而对平均年龄为 184a 的高龄样本而言, 虽然其差值年表的平均敏感度较标准年表稍高, 但其他多数指标还是标准年表更具优势。图 2 中 YCA 和 LCA 分别为低龄样本和高龄样本的平均年轮宽度指数曲线。

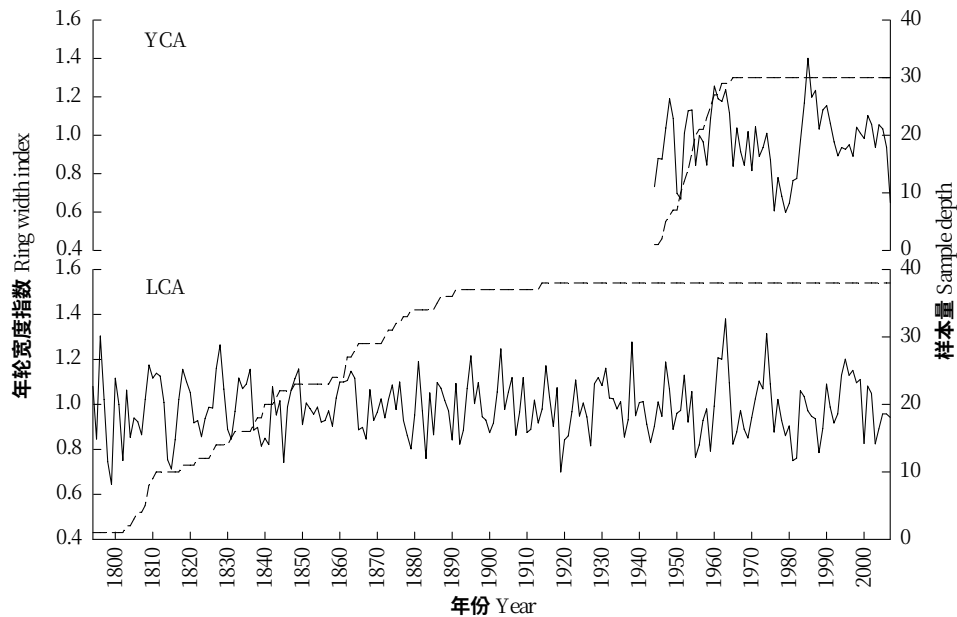


图2 红松低龄样本和高龄样本的标准年表
Fig.2 Tree-ring width chronologies (STD) for YCA and LCA

2.2 不同年龄红松径向生长与气候因子的关系

不同年龄红松径向生长与气候因子间响应分析及相关分析结果分别见表2与表3。选取标准年表代表高龄样本和低龄样本的径向生长,由于长白山地区红松生长季为每年5—9月,且树木生长对气候响应存在一定的滞后性,故选择上年5月到当年9月共17个月的气候指标进行分析。

表2 不同年龄红松年轮宽度与月份气候因子的相关关系

Table 2 Correlations between chronologies (STD for YCA and LCA) and monthly meteorological data								
月份 Month	月平均温度 Mean monthly temperature		月平均最高温度 Mean monthly maximum temperature		月平均最低温度 Mean monthly minimum temperature		月总降水量 Monthly precipitation	
	YCA	LCA	YCA	LCA	YCA	LCA	YCA	LCA
5	0.0586	-0.1608	0.1854	-0.1728	-0.0546	0.2267	-0.0446	0.4343 *
6	0.0791	0.2219	0.2914	-0.1235	-0.0020	0.0246	-0.0020	0.0702
7	-0.0899	0.1296	0.1534	0.2727	-0.1545	0.0266	0.0354	0.0442
8	0.0590	0.1842	0.1019	-0.0034	-0.0866	0.2909	0.0933	0.0807
9	0.0287	-0.0781	0.0978	0.2839	-0.2862 *	0.1450	0.0975	0.0095
10	-0.3370	0.1135	0.2011	-0.0161	-0.2352	0.1060	-0.3604	-0.0888
11	-0.0713	0.2627	0.4304 *	0.1742	0.0466	0.0571	-0.1887	-0.0672
12	-0.2968	0.0976	0.3050	0.0886	-0.1354	-0.1050	-0.0164	0.1498
1	-0.5252 *	-0.0758	-0.0318	0.3848 *	-0.3235	-0.1139	-0.0022	-0.2630
2	-0.3621 *	0.1420	-0.0748	0.3938 *	-0.2709	-0.1195	0.0713	-0.0564
3	-0.2386	0.1425	0.1212	0.2921	-0.3387 *	-0.0836	-0.3780	-0.0202
4	-0.0588	0.2188	0.2933	0.2855 *	0.0512	-0.3804 *	0.2561	-0.2897
5	0.2509	0.0531	0.4171 *	0.0337	-0.1133	-0.0747	-0.3298	0.3269 *
6	-0.2730	-0.0181	0.2150	0.3225 *	0.0111	-0.0247	0.1526	0.1381
7	0.0591	0.2964	-0.0266	0.4012 *	-0.0634	-0.1058	0.3071	0.2137
8	-0.1004	0.1322	0.1290	0.2760	-0.2349	-0.0557	0.0252	-0.0460
9	-0.0291	-0.1141	0.0591	0.5649 *	-0.2616 *	-0.3072 *	-0.2778	-0.2361

* P<0.05

表3 不同年龄红松年轮宽度与月份气候因子的响应关系

Table 3 Responses of chronologies (STD for YCA and LCA) to monthly meteorological data

月份 Month	月平均温度 Mean monthly temperature		月平均最高温度 Mean monthly maximum temperature		月平均最低温度 Mean monthly minimum temperature		月总降水量 Monthly precipitation	
	YCA	LCA	YCA	LCA	YCA	LCA	YCA	LCA
5	0.1096	-0.0788	0.0937	-0.2817	0.0469	0.0836	-0.0543	0.3235
6	0.0996	0.1229	0.1154	-0.2027	0.0605	-0.0169	0.0073	0.0386
7	-0.1160	-0.0152	-0.0413	0.2094	-0.0200	0.0481	-0.0258	0.0707
8	0.0601	0.1016	-0.0429	-0.0454	-0.0044	0.2077	0.0746	-0.0056
9	0.0257	-0.0423	-0.0104	0.1760	-0.1391	0.0855	0.0169	0.0033
10	-0.1647	0.062	-0.0198	-0.0574	-0.1634	0.0621	-0.2626	-0.0864
11	0.0633	0.1768	0.2248	0.0965	0.1686	-0.0196	-0.0864	-0.0949
12	-0.1833	0.0816	0.1114	0.0115	-0.0373	-0.1334	-0.0285	0.0628
1	-0.3988 *	-0.1349	-0.1247	0.3226 *	-0.1743	-0.1143	-0.0542	-0.2513
2	-0.2760	0.0512	-0.1718	0.1403	-0.2012	0.0466	0.0949	-0.0542
3	-0.1502	0.1294	-0.0492	0.0460	-0.2077	-0.0650	-0.2049	-0.0122
4	0.0931	0.1581	0.1693	-0.0152	0.1985	-0.2157	0.1431	-0.2312
5	0.2744	0.1165	0.3285	-0.2372	0.1099	0.0097	-0.1929	0.2282
6	-0.2851	-0.0740	0.0397	0.0609	0.1303	0.0790	0.0141	0.0757
7	0.1505	0.1871	-0.0909	0.1887	0.0511	-0.0365	0.2122	0.1682
8	-0.1008	0.1212	0.0575	0.0351	-0.1323	0.0737	0.0461	-0.0056
9	0.0170	-0.0542	-0.0693	0.2965 *	-0.1310	-0.0720	-0.1515	-0.1551

* $P < 0.05$

相关分析表明,低龄样本与当年1月、2月的月平均温度负相关($P < 0.05$),而高龄样本对月平均温度的响应不敏感。低龄样本与上年11月和当年5月的月平均最高温度正相关,与上年9月和当年3月、9月月平均最低温度负相关,高龄样本则与当年1月、2月、4月、6月、7月以及9月的月平均最高温度正相关,与当年4月、9月的月平均最低温度负相关。只有高龄红松(>130a)的径向生长与上年及当年5月月总降水量正相关,而低龄红松(50—90a)径向生长与降水间无明显相关性。响应分析进一步表明,低龄红松径向生长负响应于当年1月月平均温度($P < 0.05$),而高龄红松径向生长则正响应于与当年1月、9月月平均最高温度。

相关分析及响应分析结果均显示,气候条件对低龄红松及高龄红松径向生长的影响具有较大差异。在长白山地区,红松生长季为每年5—9月,从上年10月到当年2月,该地带处于寒冷多雪的秋冬季,树体生长基本处于停滞状态,在深秋时(11月)最高温度的提高,有利于缓解温度骤降对低龄红松树体可能带来的伤害,但在深冬时(1、2月)若月平均温度持续偏高,则会导致低龄红松呼吸作用加剧,消耗过多积累在树体中的光合产物,从而抑制了其来年的径向生长。此外,当年生长季初期(5月)月平均最高温度的升高,可促进低龄红松光合作用的进行,从而促进年轮生长。同时,上年及当年生长季末期(9月)月平均最低温度降低,能减弱呼吸消耗,使树体内积累更多光合产物,从而促进生长,而3月月平均最低温度的降低,可以进一步抑制树体呼吸作用,防止过多的营养流失,为树体进入生长季时做好准备。而对高龄红松来说,4月平均最高温度的升高和最低温度的降低均有助于其年轮生长,这是由于生长季前昼间的高温将加速林地积雪的融化和地温的升高,促进根系活动和地上部分的萌动,同时夜间低温又抑制了过多的呼吸消耗,从而有利于红松生长。同时高龄红松径向生长与1、2月月平均最高温度正相关,当1、2月平均最高温度较高时,能有效降低严寒对于高龄红松树体的伤害,因此进入生长季后,高龄红松可以立即以正常的生理状态投入生长。且生长季内(6月、7月)月平均最高温度的增加,能有效促进光合过程,生长季末期(9月)昼夜温差的增大能够在促进光合作用的同时降低呼吸消耗,有利于径向生长。此外,上年和当年5月降水的增加有助于缓解高龄树体内的水分胁迫,促进光合过程,进而促进其生长。

2.3 单年分析

由红松低龄和高龄样本在有气候记录的 26 a 间(1982—2007 年)的生长曲线(图 3a)可以看出,低龄样本红松在 1985 年年轮宽度较大,而对于年龄较大的红松年表而言,1985 年的年轮宽度并无明显异常。而在 1988 年,高龄样本红松出现了窄轮,年龄较小红松年轮生长却基本正常。由上文的分析可知,影响年龄较小红松径向生长的气候因素主要是当年 1 月、2 月的月平均温度,上年 11 月、当年 5 月的月平均最高温度和上年 9 月、当年 3 月、9 月的月平均最低温度。而年龄较大红松径向生长主要响应于当年 1、2、4、6、7、9 月的月平均最高温度、当年 4 月、9 月的月平均最低温度以及上年 9 月和当年 5 月的月总降水量,因此分别选择 1985 年

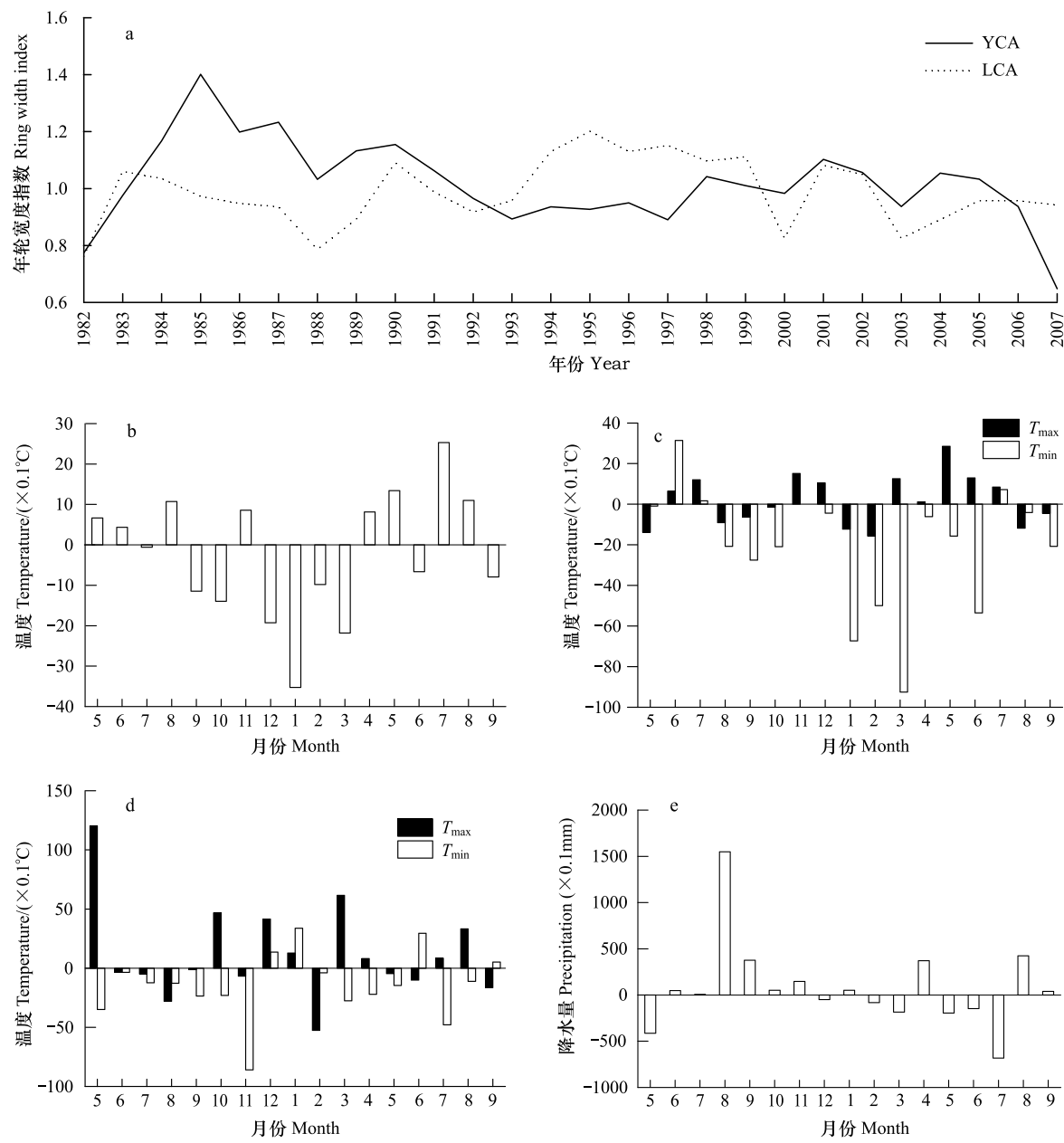


图3 红松低龄样本和高龄样本标准年表(1982—2007 年)以及单年气候因子分析

Fig. 3 Tree-ring width chronologies (STD) for YCA and LCA from 1982 to 2007 and single year analysis of climatic factors

(a) 1982 年至 2007 年红松低龄样本和高龄样本标准年表; (b) 1984 年 5 月—1985 年 9 月月平均温度距平; (c) 1984 年 5 月—1985 年 9 月月平均最高温度和月平均最低温度距平; (d) 1987 年 5 月—1988 年 9 月月平均最高温度和月平均最低温度距平; (e) 1987 年 5 月—1988 年 9 月月降水量距平

月平均温度、1988 年月总降水量以及这两年的月平均最高温度、月平均最低温度做距平处理,对红松径向生长进行单年分析。

由图 3b 可见,1985 年 1 月、2 月月平均温度均明显低于历史同期,其中 1 月温度更是比同期低了将近 4 °C,是当年月平均温度降幅最大的月份,同时 1985 年 5 月的月平均最高温度比正常水平高了 2.8 °C (图 3c),且上年 9 月、当年 3 月和 9 月月平均最低温度均比历史同期明显偏低,特别是当年 3 月月平均最低温度更比同期减少了将近 10 °C,显然对于低龄红松而言,1985 年初的明显偏冷,3 月夜间的低温和生长季开始时温暖的白昼均在不同时期抑制了过于强烈的树体呼吸,增进了光合作用的进行,以及保护树体免于严寒伤害,这些因素的叠加对其年轮生长产生了重要影响,造成了低龄红松在 1985 年生长量增加。而对 1988 年月平均最高温度和最低温度的距平可见(图 3d),当年 2 月月平均最高温度比同期减少了约 5.3 °C,为减幅最大的月份,加之当年 4 月、9 月月平均最低温度和上年 5 月、当年 5 月的降水均未过多的偏离平均值,无法弥补 2 月严寒对树体生长带来的负面影响,故在 1988 年高龄红松出现了窄轮。以上单年分析基本能够体现上文中相关分析与响应分析的结果,说明这些气候要素与年表间的关系是比较可靠的。

3 讨论

3.1 年龄因素对年表特征的影响

在样条函数去趋势方法下,利用低龄和高龄的红松样本建立的年表其统计特征具有一定差异,这与 Carrer 和 Urbinati 以及 Yu 等针对不同年龄年表的统计值的比较结果有所不同^[9,15]。首先低龄样本的标准年表在标准差、平均敏感度、信噪比等多个统计指标上表现均较为突出,但高龄样本的差值年表在平均敏感度等个别指标上也体现了一定优势。这可能是由于两类年表在获取方法上的不同造成的。标准年表仅去除了树木生长中与年龄增长相关的生长趋势,差值年表则在此基础上去掉了树木个体由于局部小环境变化而造成的对于后期生长的持续性影响^[28]。对于年龄较小的红松而言,其树体形态和生理的变化尚不足以对树体周围的局部小环境产生深刻的影响,因此差值年表可能会造成“过度拟合”。但差值年表能够强烈的消除前期生长对于后期生长的影响,进而放大某些与之相关的气候信息,所以可以看到两个差值年表在一阶自相关系数等指标上均表现出一定优势。另外,两个高龄年表的信噪比均大于低龄年表,这在一定程度上体现了高龄样本中可能含有更多的气候信息。

3.2 不同年龄树木生长与气候因子的关系

不同年龄红松对气候的响应模式和程度均存在较大差异。低龄红松其年轮生长主要与温度相关,降水对其影响不大,而高龄红松的生长则受到温度和降水的共同作用,但其对月平均温度的响应不明显,而主要是对月平均最高温度和月平均最低温度的响应。温度对红松生长的影响要大于降水的作用,以前在长白山展开的研究也得出了类似的结论^[28-29]。且高龄红松对温度的响应主要表现在当年,而低龄红松的生长更多的体现了上年和当年气候条件的共同作用,这也印证了上文对年表统计特征的分析,即低龄年表中包含更多滞后效应。同时,与以往的一些研究结论相似^[2-3,9,15],高龄红松径向生长响应于更多的逐月气候因子,即高龄年表对气候的敏感性更高,包含有更多的气候信息,这也印证了高龄年表信噪比较高这一特点。导致高龄年表与低龄年表间这些差异的原因主要可概括为生理和环境两个层面的因素。首先树木各种生理过程会随其年龄增加而发生相应的变化。本研究中,低龄红松径向生长与当年 3 月月平均最低温度呈负相关,而高龄红松生长则与当年 4 月月平均最低温度呈负相关,这种时间上的滞后似乎显示了在当年春季,不同年龄红松开展较强烈的呼吸作用所需的温度条件是不同的,且低龄红松的这一温度值较高龄红松的低;此外,与低龄红松相比,高龄红松的生长似乎更依赖于昼夜温差的大小而不是平均温度的高低,如其对当年 4 月、9 月的月平均最高温度和最低温度分别呈正相关和负相关,这似乎表明随着年龄的增加,红松需要更高的温度来促进光合过程的开展,同时也要有足够低的温度去抑制过多的呼吸消耗才能保证其生长,而且高龄红松对月平均最高温度的诉求可谓强烈,与当年 6 个不同月份的月平均最高温度都呈正相关,这些迹象显示,高龄红松的生理过程已经随其年龄的增加而发生了一定程度的改变。此外,Ryan 和 Yoder^[30]曾指出,随着年龄增加,树体高度逐渐

接近其最大值,树体内水分的运输成为一个主要限制因子,而水分胁迫能够导致气孔过早关闭,影响树体与外界的气体交换,进而限制树木生长。本研究,高龄红松面临的水分胁迫也使其径向生长受到上年和当年5月降水量的影响,而在低龄红松与气候因子的相关分析中,则未见这种胁迫的存在。另外,树体内水分含量的变化,还可导致其他一系列复杂的生理活动的改变,比如有研究显示与树龄相关的水分胁迫甚至可以导致树木生理状况在遗传水平发生改变^[31],综合来看,高龄红松和低龄红松生理机制差异的复杂性影响了二者对气候的响应。除此之外,红松生长过程中局部环境的压力发挥着不可忽视的作用。高龄红松在研究区域内与云杉及一些阔叶树种共同形成茂密的林冠层,而低龄红松往往位于林冠层之下,因此,低龄红松的生长面临着更为严峻的竞争形势。有研究表明^[32]天然林内胸径为25—30 cm的红松个体面临的种间竞争强度远远大于胸径为40—45 cm时,这正好与本研究采样的胸径区间重合。低龄红松在与云冷杉等高大树体的竞争中处于劣势,且低龄红松之间为争夺有利的生长条件开展的竞争也是无可避免的,激烈的竞争削弱了低龄红松年轮生长对气候的响应能力,而高龄红松因为已经进入主林层,竞争趋于缓和,所以其径向生长表现出更高的气候敏感性。

References:

- [1] Wu X D. Tree-Ring and Climate. Beijing: China Meteorological Press, 1990: 125-125, 149-149, 135-135.
- [2] Linderholm H W, Linderholm K. Age-dependent climate sensitivity of *Pinus sylvestris* L. in the central Scandinavian Mountains. Boreal Environment Research, 2004, 9: 307-317.
- [3] 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. Trees, 2009, 23(4): 875-885.
- [4] Kirkpatrick M. Spatial and age dependent patterns of growth in New England black birch. American Journal of Botany, 1981, 68(4): 535-543.
- [5] Colenutt M E, Luckman B H. Dendrochronological investigation of *Larix laricina* at Larch Valley, Alberta. Canadian Journal of Forest Research, 1991, 21(8): 1222-1233.
- [6] Esper J, Niederer R, Bebi P, Frank D. Climate signal age effects-evidence from young and old trees in the Swiss Engadin. Forest Ecology and Management, 2008, 255(11): 3783-3789.
- [7] Wilson R, Elling W. Temporal instability in tree-growth/climate response in the Lower Bavarian Forest region: implications for dendroclimatic reconstruction. Trees, 2004, 18(1): 19-28.
- [8] Szeicz J M, MacDonald G M. Age-dependent tree-ring growth responses of subarctic white spruce to climate. Canadian Journal of Forest Research, 1994, 24(1): 120-132.
- [9] Carrer M, Urbinati C. Age-dependent tree-ring growth responses to climate in *Larix decidua* and *Pinus cembra*. Ecology, 2004, 85(3): 730-740.
- [10] Ettl G L, Peterson D L. Extreme climate and variation in tree growth: individualistic response in subalpine fir (*Abies lasiocarpa*). Global Change Biology, 1995, 1(3): 231-241.
- [11] Ogle K, Whitham T G, Cobb N S. Tree-ring variation in pinyon predicts likelihood of death following severe drought. Ecology, 2000, 81(11): 3237-3243.
- [12] Rozas V. Dendrochronology of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in an old-growth pollarded woodland in northern Spain: tree-ring growth responses to climate. Annals Forest Science, 2005, 62(3): 209-218.
- [13] Joana V, Filipe C, Cristina N. Age-dependent responses of tree-ring growth and intra-annual density fluctuations of *Pinus pinaster* to Mediterranean climate. Trees, 2009, 23(2): 257-265.
- [14] Rozas V, DeSoto L, Olano J M. Sex-specific, age-dependent sensitivity of tree-ring growth to climate in the dioecious tree *Juniperus thurifera*. New Phytologist, 2009, 182(3): 687-697.
- [15] Yu G R, Liu Y B, Wang X C, Ma K P. Age-dependent tree-ring growth responses to climate in Qilian juniper (*Sabina przewalskii* Kom.). Trees, 2008, 22(2): 197-204.
- [16] Stokes M A, Smiley T L. An Introduction to Tree-Ring Dating. Chicago: The University of Chicago Press, 1968.
- [17] Rozas V. Tree age estimates in *Fagus sylvatica* and *Quercus robur*: testing previous and improved methods. Plant Ecology, 2003, 167(2): 193-212.
- [18] Duncan R. An evaluation of errors in tree age estimates based on increment cores in kahikatea (*Dacrydium dacrydioides*). New Zealand Natural Sciences, 1989, 16: 31-37.

- [19] Norton D A, Palmer J G, Ogden J. Dendroecological studies in New Zealand; 1. an evaluation of tree age estimates based on increment cores. *New Zealand Journal of Botany*, 1987, 25: 373-383.
- [20] Holmes R L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin*, 1983, 43: 69-75.
- [21] Cook E R, Holmes R L. Users Manual for ARSTAN; Laboratory of Tree-Ring Research. Tucson; University of Arizona, 1986.
- [22] Kendall M G. Rank Correlation Methods. 4th ed. London; Griffin, 1970.
- [23] Kohler M A. On the use of double-mass analysis for testing the consistency of meteorological records and for making required adjustments. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1949, 82: 96-97.
- [24] Biondi F, Waikul K. DENDROCLIM2002: a C++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies. *Computers and Geosciences*, 2004, 30(3): 303-311.
- [25] Fritts H C. Tree Rings and Climate. London; Academic Press, 1976: 257-300.
- [26] Fritts H C, Wu X D. A comparison between response-function analysis and other regression techniques. *Tree-ring bulletin*, 1986, 46: 31-46.
- [27] Wu X D, Shao X M. Status of dendroclimatological study and its prospects in China. *Advance in Earth Sciences*, 1993, 8(6): 31-35.
- [28] Shao X M, Wu X D. Tree-ring chronologies for *Pinus armandi* Franch from Huashan, China. *Acta Geographica Sinica*, 1994, 49(2): 174-181.
- [29] 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.
- [30] Ryan M G, Yoder B J. Hydraulic limits to tree height and tree growth. *BioScience*, 1997, 47: 235-242.
- [31] Day M E, Greenwood M S, Diaz-Sala C. Age-and size-related trends in woody plant shoot development; regulatory pathways and evidence for genetic control. *Tree Physiology*, 2002, 22(8): 507-513.
- [32] Liu H R, Li F R. Relationship between intraspecific and interspecific competitions of natural *Pinus Koraiensis* forests. *Bulletin of Botanical Research*, 2010, 30(4): 479-484.

参考文献:

- [1] 吴祥定. 树木年轮与气候变化. 北京: 气象出版社, 1990: 125-125, 149-149, 135-135.
- [27] 吴祥定, 邵雪梅. 中国树木年轮气候学研究动态与展望. *地球科学进展*, 1993, 8(6): 31-35.
- [28] 邵雪梅, 吴祥定. 华山树木年轮年表的建立. *地理学报*, 1994, 49(2): 174-180.
- [29] 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轮年表及其与气候变化的关系. *应用生态学报*, 2005, 16(1): 14-20.
- [32] 刘红润, 李凤日. 红松天然林种内和种间竞争关系的研究. *植物研究*, 2010, 30(4): 479-484.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 21 November, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Landscape spatial analysis of a traditional tibetan settlement based on landscape pattern theory and feng-shui theory; the case of Zhagana, Diebu, Gansu Province	SHI Lisha, YAN Lijiao, HUANG Lu, et al (6305)
Temporal-spatial differentiation and its change in the landscape ecological security of Wuyishan Scenery District	YOU Weibin, HE Dongjin, WU Liyun, et al (6317)
Evaluation of eco-sustainability of roads in a tourism area; a case study within Yulong County	JIANG Yiyi (6328)
Study on the compactness assessment model of urban spatial form	ZHAO Jingzhu, SONG Yu, SHI Longyu, et al (6338)
A multi-scale analysis of red-crowned crane's habitat selection at the Yellow River Delta Nature Reserve, Shandong, China	CAO Mingchang, LIU Gaohuan, XU Haigen (6344)
Assessment and spatial distribution of water and soil loss in karst regions, southwest China	FAN Feide, WANG Kelin, XIONG Ying, et al (6353)
Construction of an eco-environmental database for watershed-scale data; an example from the Tarim River Basin	GAO Fan, YAN Zhenglong, HUANG Qiang (6363)
Reproductive allocation in dioecious shrub, <i>Rhamnus davurica</i>	WANG Juan, ZHANG Chunyu, ZHAO Xiuhai, et al (6371)
Age-dependent growth responses of <i>Pinus koraiensis</i> to climate in the north slope of Changbai Mountain, North-Eastern China	WANG Xiaoming, ZHAO Xiuhai, GAO Lushuang, et al (6378)
Fine-scale spatial point patterns of <i>Stipa krylovii</i> population in different alpine degraded grasslands	ZHAO Chengzhang, REN Heng, SHENG Yaping, et al (6388)
Community structure and population regeneration in remnant <i>Ginkgo biloba</i> stands	YANG Yongchuan, MU Jianping, TANG Cindy Q., et al (6396)
Reproductive characteristics and adaptive evolution of pin and thrum flowers in endangered species, <i>Primula merrilliana</i>	SHAO Jianwen, ZHANG Wenjuan, ZHANG Xiaoping (6410)
Leaf functional traits of four typical forests along the altitudinal gradients in Mt. Shennongjia	LUO Lu, SHEN Guozhen, XIE Zongqiang, et al (6420)
Reclaimed soil properties and weathered gangue change characteristics under various vegetation types on gangue pile	WANG Liyan, HAN Youzhi, ZHANG Chengliang, et al (6429)
Influence of fire on stands of <i>Pinus massoniana</i> in a karst mountain area of central Guizhou province	ZHANG Xi, CHUI Yingchun, ZHU Jun, et al (6442)
Morphological and physiological adaptation of <i>Caragana</i> species in the Inner Mongolia Plateau	MA Chengcang, GAO Yubao, LI Qingfang, et al (6451)
A comparative study on reasons of degenerated of <i>Haloxylon ammodendron</i> population in the western part of Gurbantunggut desert	SI Langming, LIU Tong, LIU Bin, et al (6460)
Self-thinning of natural broadleaved forests in Baishilazi Nature Reserve ...	ZHOU Yongbin, YIN You, YIN Mingfang, et al (6469)
Population status and dynamic trends of Amur tiger's prey in Eastern Wandashan Mountain, Heilongjiang Province	ZHANG Changzhi, ZHANG Minghai (6481)
The relationship between the occurrence of Colorado Potato Beetle, <i>Leptinotarsa decemlineata</i> , and rivers based on GIS: a case study of Shawan Country	LI Chao, ZHANG Zhi, GUO Wenchao, et al (6488)
Occurrence dynamics and trajectory analysis of <i>Cnaphalocrocis medinalis</i> Guenée in Xing'an Guangxi Municipality in 2010	JIANG Chunxian, QI Huihui, SUN Mingyang, et al (6495)
Adaptability of B-biotype <i>Bemisia tabaci</i> (Gennadius) to Host Shift	ZHOU Fucui, LI Chuanming, GU Aixiang, et al (6505)
Structural change analysis of cecal bacterial flora in different poultry breeds using PCR-DGGE ...	LI Yongzhu, Yongquan Cui (6513)
Effect of chicken manure-amended copper mine tailings on growth of three leguminous species, soil microbial biomass and enzyme activities	ZHANG Hong, SHEN Zhangjun, YANG Guide, et al (6522)
Physiological response of <i>Microcystis</i> to solar UV radiation	WANG Yan, LI Shanshan, LI Jianhong, et al (6532)
Relationship between cell volume and cell carbon and cell nitrogen for ten common dinoflagellates	WANG Yan, LI Ruixiang, DONG Shuanglin, et al (6540)
The community structure and abundance of microcystin-producing cyanobacteria in surface sediment of Lake Taihu in winter	LI Daming, KONG Fanxiang, YU Yang, et al (6551)
Influence of green belt structure on the dispersion of particle pollutants in street canyons	LIN Yinding, WU Xiaogang, HAO Xingyu, et al (6561)
Spatio-temporal variation analysis of urbanization and land use benefit of oasis urban areas in Xinjiang	YANG Yu, LIU Yi, DONG Wen, et al (6568)
Nitrate contamination and source tracing from NO_3^- - $\delta^{15}\text{N}$ in groundwater in Weifang, Shandong Province	XU Chunying, LI Yuzhong, LI Qiaozhen, et al (6579)
The impact of rising temperature on spring wheat production in the Yellow River irrigation region of Ningxia	XIAO Guoju, ZHANG Qiang, ZHANG Fengju, et al (6588)
A new hyperspectral index for the estimation of nitrogen contents of wheat canopy	LIANG Liang, YANG Minhua, DENG Kaidong, et al (6594)
The feature of N_2O emission from a paddy field in irrigation area of the Yellow River	ZHANG Hui, YANG Zhengli, LUO Liangguo, et al (6606)
Review and Monograph	
Research perspective for the effects of nitrogen deposition on biogenic volatile organic compounds	HUANG Juan, MO Jiangming, KONG Guohui, et al (6616)
Recruitment limitation of plant population: from seed production to sapling establishment	LI Ning, BAI Bing, LU Changhu (6624)
Scientific Note	
Response of anatomical structure and photosynthetic characteristics to low light stress in leaves of different maize genotypes	DU Chengfeng, LI Chaohai, LIU Tianxue, et al (6633)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 21 期 (2011 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 21 2011

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	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
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@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.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 70.00 元