ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

第 34 卷 第 7 期 Vol.34 No.7 2014

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版

中国科学院科学出版基金资助出版

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 34 卷 第 7 期　　2014 年 4 月　(半月刊)

目　　次

前沿理论与学科综述

青藏高原东北部 5000 年来气候变化与若尔盖湿地历史生态学研究进展 …… 何奕忻,吴　宁,朱求安,等 (1615)

天山云杉森林土壤有机碳沿海拔的分布规律及其影响因素…… 阿米娜木·艾力,常顺利,张毓涛,等 (1626)

个体与基础生态

小兴安岭红松日径向变化及其对气象因子的响应…… 李兴欢,刘瑞鹏,毛子军,等 (1635)

采伐剩余物对林地表层土壤生化特性和酶活性的影响…… 吴波波,郭剑芬,吴君君,等 (1645)

庞泉沟自然保护区典型森林土壤大团聚体特征 …… 白秀梅,韩有志,郭汉清 (1654)

思茅松天然林树冠结构模型…… 欧光龙,肖义发,王俊峰,等 (1663)

镁缺乏和过量胁迫对纽荷尔脐橙叶绿素荧光特性的影响…… 凌丽俐,黄　翼,彭良志,等 (1672)

斑块生境中食果鸟类对南方红豆杉种子的取食和传播…… 李　宁,王　征,鲁长虎,等 (1681)

重金属铅与两种淡水藻的相互作用…… 刘　璐,闫　浩,李　诚,等 (1690)

刺参养殖池塘初级生产力及其粒级结构周年变化…… 姜森颢,周一兵,唐伯平,等 (1698)

控(微囊)藻鲢、鳙排泄物光能与生长活性 …… 王银平,谷孝鸿,曾庆飞,等 (1707)

五爪金龙中香豆素类物质含量及其对福寿螺、水稻和稗草的影响 …… 犹昌艳,杨　宇,胡　飞,等 (1716)

种群、群落和生态系统

西双版纳国家级自然保护区勐腊子保护区亚洲象种群和栖息地评价…… 林　柳,金延飞,陈德坤,等 (1725)

莱州湾鱼类群落同功能种团的季节变化…… 李　凡,徐炳庆,马元庆,等 (1736)

长期不同施肥方式对麦田杂草群落的影响…… 蒋　敏,沈明星,沈新平,等 (1746)

极端干旱条件下燕麦垄沟覆盖系统水生态过程…… 周　宏,张恒嘉,莫　非,等 (1757)

景观、区域和全球生态

流域景观格局变化对洪枯径流影响的 SWAT 模型模拟分析 …… 林炳青,陈兴伟,陈　莹,等 (1772)

近 20 年青藏高原东北部禾本科牧草生育期变化特征 …… 徐维新,辛元春,张　娟,等 (1781)

丽江城市不同区域景观美学…… 郭先华,赵千钧,崔胜辉,等 (1794)

珠三角河网水域栅藻的时空分布特征…… 王　超,李新辉,赖子尼,等 (1800)

博斯腾湖细菌丰度时空分布及其与环境因子的关系…… 王博雯,汤祥明,高　光,等 (1812)

遗传算法支持下土地利用空间分形特征尺度域的识别…… 吴　浩,李　岩,史文中,等 (1822)

川西亚高山不同海拔岷江冷杉树轮碳稳定同位素对气候的响应…… 靳　翔,徐　庆,刘世荣,等 (1831)

基于 ESDA 的西北太平洋柔鱼资源空间热点区域及其变动研究…… 冯永玖,陈新军,杨铭霞,等 (1841)

城乡与社会生态

基于居民生态认知的非使用价值支付意愿空间分异研究——以三江平原湿地为例……
…… 高 琴,敖长林,陈红光,等 (1851)
浑河河水及其沿岸地下水污染特征 …… 崔 健,都基众,王晓光 (1860)
社会生态系统及脆弱性驱动机制分析 …… 余中元,李 波,张新时 (1870)

研究简报

等渗 NaCl 和 $Ca(NO_3)_2$胁迫对黄瓜幼苗生长和生理特性的影响 …… 周 珩,郭世荣,邵慧娟,等 (1880)

专家观点

关于“生态保护和建设”名称和内涵的探讨 …… 沈国舫 (1891)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 282 * zh * P * ￥90.00 * 1510 * 29 * 2014-04

封面图说:红豆杉人工林——红豆杉为常绿针叶乔木,树高可达 25m,属国家一级保护植物。红豆杉中含有的紫杉醇,具有独特的抗癌机制和较高的抗癌活性,能阻止癌细胞的繁殖、抑制肿瘤细胞的迁移,是世界公认的抗癌药。红豆杉在我国共有 4 个种和 1 个变种,即云南红豆杉、西藏红豆杉、东北红豆杉、中国红豆杉和南方红豆杉(变种)。由于天然红豆杉稀缺,国家严禁采伐利用,因而我国南方很多地方都采取人工种植的方法生产利用。人工种植的南方红豆杉在南方山区多呈斑块状分布,斑块生境中鸟类对红豆杉种子的传播有重要的影响。

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/stxb201305131034
李兴欢,刘瑞鹏,毛子军,宋媛,刘林馨,孙涛.小兴安岭红松日径向变化及其对气象因子的响应.生态学报,2014,34(7):1635-1644.
Li X H,Liu R P,Mao Z J,Song Y,Liu L X,Sun T.Daily stem radial variation of *Pinus koraiensis* and its response to meteorological parameters in Xiaoxing′an mountain.Acta Ecologica Sinica,2014,34(7):1635-1644.

小兴安岭红松日径向变化及其对气象因子的响应

李兴欢[1],刘瑞鹏[1],毛子军[1,*],宋 媛[1],刘林馨[2],孙 涛[1]
(1. 东北林业大学森林植物生态学教育部重点实验室,哈尔滨 150040; 2. 齐齐哈尔大学生命科学与农林学院, 齐齐哈尔 161006)

摘要:利用带状树干径向变化记录仪监测了小兴安岭凉水国家级自然保护区原始阔叶红松林中的红松树干径向生长,分别用两种数据处理方法(日最大值法与周期循环法)分析了红松径向生长与气象因子的关系。结果表明:红松径向生长于 5 月中旬开始,在 7 月末趋于结束,最大径向生长速率出现在 6 月中旬。使用 Gompertz 生长模型能很好的拟合红松的径向生长,可以解释红松 92%以上的径向变化。对于日最大值法,偏相关分析表明日径向变化与空气相对湿度、土壤温度和降雨量显著相关;对于周期循环法,第一阶段(收缩阶段)收缩量主要受到相对湿度、土壤温度和水汽压亏缺的影响。第二阶段(膨胀阶段)影响树干径向恢复的主要因子是降雨量和最高气温。第三阶段(增长阶段)对树干径向生长影响最显著的是最低气温和降雨量。应用多元线性模型分析显示,周期循环法能更加细化的分析日气象因子对红松径向生长的影响,能够更为真实地解释红松径向生长动态变化特点与规律,其中第二和第三阶段的降雨和最低气温对红松径向生长的影响最大。

关键词:树木径向变化记录仪;红松;径向变化;生长期;气象因子

Daily stem radial variation of *Pinus koraiensis* and its response to meteorological parameters in Xiaoxing′ an mountain

LI Xinghuan[1], LIU Ruipeng[1], MAO Zijun[1,*], SONG Yuan[1], LIU Linxin[2], SUN Tao[1]
1 *Key Laboratory of Forest Plant Ecology, Ministry of Education, Northeast Forestry University, Harbin* 150040, *China*
2 *College of Life Science & Agriculture and Forestry of Qiqihar University, Qiqihar* 161006, *China*

Abstract: In the Xiaoxing′ an mountain of northeastern China, the primary temperate forest is dominated by Korean pine (*Pinus koraiensis* Sieb. Et Zucc) mixed with some deciduous species. Furthermore, Korean pine is a major source of timber production in this area. In spite of the importance of this tree species, no published data are available on the daily stem radial variation of *Pinus koraiensis* and its response to meteorological parameters in northeastern China. In this study, we measured the growth patterns of stem diameter of *Pinus koraiensis* between April and November 2012, in Liangshui National Nature Reserve. Automatic point dendrometers were used for the continuous monitoring of tree growth. To perform the statistical analyses, the data were split into 15-day intervals during the growing season. The relationships between stem radial increment rate and meteorological parameters were assessed using the Pearson correlation coefficient. The meteorological parameters measured were mean, maximum and minimum air temperatures, soil temperature, air relative humidity, vapor pressure deficit, and precipitation. By dividing the dendrometer day-night data, our results demonstrated that the diurnal growth pattern was resolved into the three distinct phases: (1) radius contraction phase, (2) radius expansion phase, and (3) radius increment phase. During the period of measurement, the diameter of the stem usually exhibited daytime shrinkage and night-time expansion. An entire circadian cycle was constituted of a phase of contraction

基金项目:国家 973 重点基础研究发展计划项目(2010CB951301);国家自然科学基金资助项目(31270494,31070350)
收稿日期:2013-05-13; **修订日期**:2013-09-26

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: zijunm@ nefu.edu.cn

followed by a phase of expansion, plus a phase of radius increment when present. The stem circadian cycle generally lasted about 24 h, but heavy rain could cause irregular cycles of more than 24 h, largely due to a longer expansion phase. The growth of stem diameter of *Pinus koraiensis* started in late May, and ended in late July. The largest stem growth rate was obtained in mid-June. The cumulative radical increment of *Pinus koraiensis* between April and November 2012 was 800 μm. There was a markedly difference in the growth of stem diameter of *Pinus koraiensis* between tree sample individuals. In addition, evidence form our study suggested that the Gompertz growth function provided a better fit during the growing season. And this Gompertz growth function could explain approximately 90% of the variance of stem increment. We separately used two kinds of extraction methods of stem radius variation to examine the relationships between stem growth and meteorological factors. For example, for the diurnal growth pattern described by the three previous phases, the meteorological parameters of each phase were compared with the stem radius increment using simple correlation and response function analysis. The contraction in the first phase was primarily influenced by relative humidity, soil temperature and atmospheric vapor pressure deficit. During the second phase, precipitation and maximum air temperature were the main factors which influenced the radial recovery of stem. In the period of increment, minimum air temperature and precipitation had a significant effect on the growth in stem diameter. Furthermore, we used the daily maximum approach to extract the maximum of all daily stem diameter variation data. The difference between two daily maximum was the daily variance of the stem. Through analyzing the relationships between daily variation of stem radial and daily meteorological factors, we concluded that there were significant relationships between daily radius variation and relative air humidity, soil temperature and precipitation. The multivariate regression model showed that the daily analysis method could explain only 34% of the stem radius variation. However, the separation of the circadian cycle into distinct phases allowed the extraction of the SRI and allowed precise summaries of the meteorological data, and this method could explain 58% of the stem radius variation. In conclusion, our results suggested that meteorological factors during periods of expansion and increment played an important role on the stem radial growth of *Pinus koraiensis*.

Key Words: dendrometer; *Pinus koraiensis*; stem radial variations; growing season; meteorological factors

树干径向变化记录仪(Dendrometer)因为能够连续和自动测量茎干的径向变化,而逐渐被广泛应用[1-5]。这种仪器不仅可以测量径向昼夜变化和树木季节性生长动态,也可以与同步观测的环境因子相结合来揭示树木径向生长对环境的响应。气候因子虽然不能直接反映树木生物学的生长,但是与同步的树木径向增量相结合,为年内径向生长分析提供了可能[2]。近年来,越来越多的人开始研究径向生长与气候的关系。Downes 等[1]监测了澳大利亚的亮果桉(*Eucalyptus nitens*)和蓝桉(*E.globulus*)的径向变化,研究了灌溉条件下气候与生长的关系,结果表明:树木生长与春季温度呈正相关,夏季呈弱相关或负相关。Deslauriers 等[2]使用周期循环法研究了加拿大魁北克北部的香脂冷杉(*Balsam fir*),结果表明树木生长与降雨呈正相关,与膨胀阶段的水汽压亏缺呈负相关,膨胀和增量阶段的气候对径向生长的影响更大。我国对树木径向生长的研究起步较晚,且非常有限。管伟[6],熊伟[7]分别研究了六盘山北侧和南坡的华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)的径向生长,认为温度和降雨是影响树木径向生长的主要因子。董满宇[8-9]对芦芽山林线华北落叶松和白杆(*Picea meyeri*)茎干生长进行了研究,发现土壤温度是茎干快速生长时段的主导环境因子。我国东北寒冷地区的相关研究尚未见报道。

阔叶红松林是较为寒冷的北温带典型的地带性植被,红松作为中国东北地区阔叶红松林的建群种和优势种,具有重要的生态学价值和经济价值。目前对红松径向生长的研究主要是通过年轮分析年轮宽度与气候的关系[10-11]。陈力等[10]通过年轮分析研究了长白山红松生长量与温度的关系,认为生长季气温是影响红松生长最重要的气候因子。王晓明等[11]研究了长白山北坡不同年龄红松的年表特征及其与气候因子间的关系,结果表明,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;高龄红松径向生长与当年多个月份的月最高温度正相关,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 月总降水量的影响。然而,在昼夜和一个生长季的时间尺度上红松树干的径向生长动态如何,生长期开始时间的确定,以及影响日径向变化的关键气候因子都是尚待揭示的问题。本研究用树木径向生长记录仪连续监测了 4 月至 11 月的红松径向变化,主要目的是:(1)确定红松径向生长开始时间、生长期以及生长期内红松径向生长动态;(2)分析红松日径向变化与气候因子的关系。

1　研究区概况

1.1　研究地区概况

研究地位于小兴安岭南坡达里带岭支脉东坡的凉水国家级自然保护区 (47°10′19″N, 128°52′96″E),隶属于黑龙省伊春市带岭区。凉水国家级自然保护区分布着红松为主的寒温带针阔混交林,全区海拔高度在 208—707 m,地带性土壤为暗棕壤。该地区属温带大陆性季风气候,夏短冬长。年平均气温 -0.3 ℃,年平均降水量 676 mm,6—8 月降雨占全年降水量的 60% 以上(图 1);无霜期 100—120 d,积雪期 130—150 d。

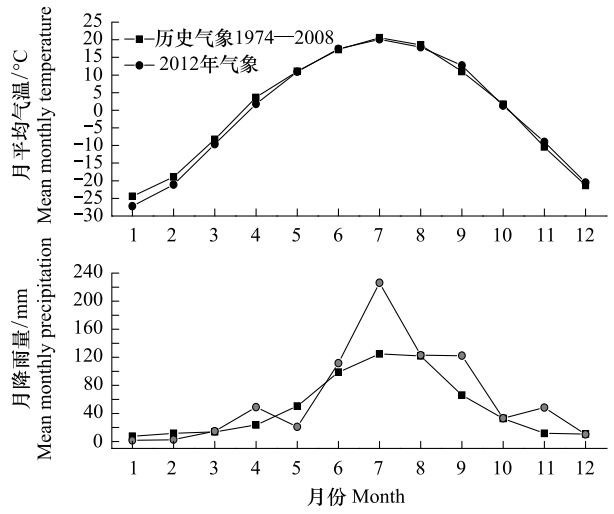

图 1　凉水自然保护区 2012 年与 1974—2008 年的月平均温度与月平均降雨量

Fig. 1　Mean monthly temperature and precipitation at Liangshui National Nature Reserve in 2012 and 1974—2008

2　研究材料与方法

2.1　研究地概况

在保护区选择生长状况良好的天然阔叶红松林,红松年龄约为 200—250 年,建立一个 30 m×20 m 的标准样地。海拔 359 m,坡向南,坡度 10°。建群种和优势树种为红松和紫椴(*Tilia amurensis*),林分郁密度为 0.8.林下灌木主要有刺五加(*Acanthopanax senticosus*)、毛榛子(*Corylus mandshurica*)、花楷槭(*Acer ukurunduense*)、山梅花(*Philadelphus schrenkii*)、瘤枝卫矛(*Euonymus pauciflorus*)、黄花忍冬(*Lonicera chrysantha*)、金银忍冬(*Lonicera maackii*)、小檗(*Berberis amurensis*)、东北茶藨子(*Ribes mandshuricum*)、刺醋李(*Ribes burejense*)等。草本主要有凸脉苔草(*Carex lanceolata*)、毛缘苔草(*Carex pilosa*)、乌苏里苔草(*Carex ussuriensis*)、羊胡子苔草(*Carex callitrichos*)、透骨草(*Phryma leptostachya*)、龙常草(*Diarrhena manshurica*)、舞鹤草(*Maianthemum bifolium*)、山酢酱草(*Oxalis acetosella*)等。

2.2　数据收集

2012 年 4 月中旬,在红松萌动前,在样地内选择 6 株生长健康、树干较直的样木(表 1),在胸径处安装带状树干径向变化记录仪,对树木生长进行连续监测。具体安装方法是,刮去垂直于地面 1.5 m 处树干的粗死树皮,安装探头及金属线,调节电阻使初始值在 2400 Ω 左右。每 30 min 记录存储一次数据。记录仪的工作原理是:由于树干的径向膨胀与收缩变化会对固定在树干上的探头产生压力,这种压力与传感器电阻值之间有很好的线性关系,利用这种关系可以检测树干微小的径向变化,然后通过与数据采集器连接,定时记录径向数据,从而实现树木径向变化的连续动态监测。

数据气象资料使用距样地 3 km 的凉水气象站(47°11′08″ N,128°53′06 ″ E)的数据,每小时记录 1 次数据。

2.3　红松径向生长期的确定

由于可逆的膨胀和收缩,从树干径向变化生长仪数据直接判断树木生长关键事件时,如径向生长的开始、结束,会有些困难。本实验参照 Deslauriers[12] 的研究方法,用连续 15 d 的时间尺度(即把 15 d 提取的径向变化数据相加)来确定生长季节的开始与结束,使用单样本的 *t*-检验用来评估 15 d 的径向变化均值是否等于零($\mu = 0$),当值的分布是显著大于零时认为开始发生径向生长。

表 1 2012 年进行树干径向变化测定的 6 株红松样树特征

Table 1 Characters of the 6 sample trees of *Pinus koraiensis* for diameter change monitored in 2012

样树编号 Sample tree number	树高 Tree height/m	胸径 Diameter at breast height/cm	冠幅 Crown diameter/m
1#	27.0	52.5	8.0
2#	24.0	39.5	6.5
3#	29.0	71.6	8.5
4#	28.0	44.4	7.0
5#	29.0	56.1	8.0
6#	25.0	37.3	6.0

2.4 径向生长的拟合

本研究使用 Gompertz 生长模型对生长季红松径向生长进行拟合。很多研究表明 Gompertz 模型比其他“S”型函数更适用于树木的径向生长的拟合[2, 9, 13]。函数公式如下:

$$Y=A\exp(-e^{\beta-kt}) \quad (1)$$

式中,Y 为茎干生长累积量;t 表示时间,生长开始的时间为 0;A 为生长累积量的上渐近线;β 为与 Y 初始值有关的参数;k 表示内秉生长率,e 是自然对数的底数。

2.5 径向生长增量的提取以及与气象因子的分析

本研究使用两种径向生长增量提取方法,分析与气候因子的关系。

(1) 周期循环法

树干直径变化包括两部分,一部分是由于新细胞的形成、扩大、细胞壁增厚等引起的不可逆生长;另一部分是由于树干含水量的变化引起的可逆的直径变化。树干径向生长增量的提取是使用 Downes 等[1]的方法进行的,将生理周期分为时间约 24 h 的 3 个不同阶段(图 2)。生理周期不同阶段的区分,允许提取径向生长增量以及更好的与气象数据结合。3 个不同阶段分别为:1) 收缩阶段,树干直径最大值与最小值之间的这段时间;2) 膨胀阶段,树干直径由最小值恢复到前一循环最大值之间的时间;3) 增长阶段,树干直径超过膨胀阶段最大值到这一循环最大值的时间。收缩量、膨胀量和增长量分别指的是这 3 个阶段期间的径向变化量。径向生长增量一直是通过比较相邻周期最大值估计的,当没有超过前一周期最大值时,计算的树干半径减少($\Delta R-$, mm);当超过前一周期最大值时,计算的树干半径增加($\Delta R+$, mm)。

(2) 最大值法

本研究又依据 Bouriaud 等[5]的最大值法,从红松茎干生长数据中提取日最大值,计算连续两日的最大值之差求得树木茎干的日变化,分析红松日径向变化与日气象因子的关系。

气象因子选取平均气温(T_{mean}, ℃)、最高气温(T_{max}, ℃)、最低气温(T_{min}, ℃)、降雨量(P, mm)、相对湿度(RH, %)、土壤 10 cm 深处的温度(T_{soil}, ℃)以及水汽压亏缺(VPD, kPa)进行统计分析。水汽压亏缺是基于空气相对湿度和气温计算出来的。

本文涉及的分析使用 SPSS 18.0 软件完成,图使用 Origin 8.0 完成。使用 Pearson 相关与偏相关分析径向变化量与气象因子的关系,当日生长量为负值时,负日生长量不参与与气象因子关系的分析;利用逐步回归分析建立多元线性模型。

3 结果

3.1 径向生长日变化

树干日径向变化周期循环一般历时 24 h,但是降雨以及冻融会造成较长的收缩或膨胀,使周期时间超过 24 h[14]。那些持续(24±3) h 的周期被称为正常周期(REG),持续时间超过 28 h 的循环称为长周期(LG),持续时间少于 20 h 为短周期[1, 12]。本研究统计了生长期内各个阶段的开始时间。结果表明,在每日的 8:00—10:00 时,由于树木的蒸腾作用加强和液流速率增加,使茎干组织内产生了水势梯度,茎干形成层外侧的组织(韧皮部、周皮)因水势差脱水,从而使树干半径减少;在 16:00—19:00 时,树木茎干直径降至一天中的最低值,之后由于蒸腾作用的减弱以及根系的吸水补充,茎干形成层外侧的组织吸水膨胀,使树干半径增加[15];在次日 1:00—4:00 时开始进入增长阶段,持续到 8:00 时左右,然后进入下一个循环(图 2)。

3.2 径向生长期的确定

于2012年早春树液开始流动前将树干径向自

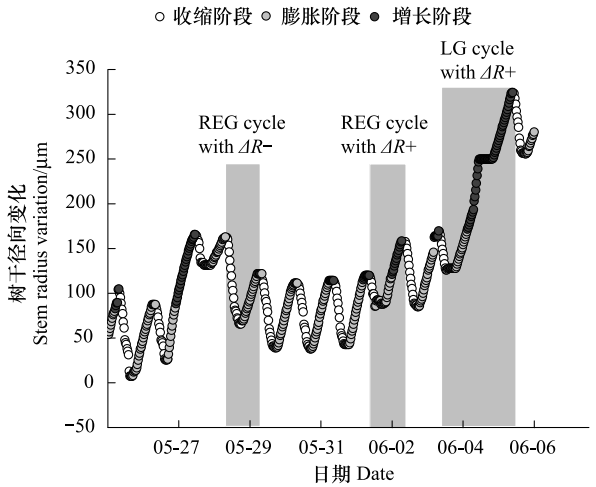

图 2　红松树干日径向变化,当径向生长超过上一个周期最大值时,树干半径增加(ΔR+);当没有超过上一个周期最大值时,树干半径减少(ΔR−);正常周期(REG)一般持续 24 h 左右,而长周期(*LG*)持续时间则会超过 24 h。

Fig.2　Daily variation of stem radial of *Pinus koraiensis*; The stem radius increment (ΔR+) was calculated when the stem radius exceeds the previous cycle maximum, A △R − was calculated when the previous cycle maximum was not reached. A regular cycle (REG) lasts about 24 h, while a long cycle (*LG*) lasts more than one day

动记录仪开启,开始记录。图 3 为整个生长季红松树干径向累计变化动态,可见 6—7 月份是树干直径生长的主要时期。从 4 月中旬到 10 月中旬,使用 15 d的时间尺度对红松径向变化进行了分析。结果如图 4 所示 :在 4 月中下旬有一个与 0 有显著差异的正值,这属于早春茎干水分恢复阶段。之后从 5 月中下旬开始连续出现 2 个与 0 有显著差异的正值,在 7 月中下旬出现最后一个与 0 有显著差异的正值,综合判断红松的径向生长开始于 5 月中旬,在 7 月末生长趋于结束。

3.3　红松径向生长的拟合

使用 Gompertz 模型对红松径向生长进行了拟合(图 5)。从图中可以看出 Gompertz 生长模型很好的拟合了红松的径向生长,3 株红松样木的方程拟合度达到了极显著水平($P<0.01$),可以解释 92%以上的红松径向变化。红松径向生长在 5 月中旬开始, 从 5 月末(第 150 天左右)开始快速生长,在 6 月 10 日(第 160 天)左右径向生长速率达到最大值,然后 7—8月是缓慢生长期。从图5还可以看出,3株红

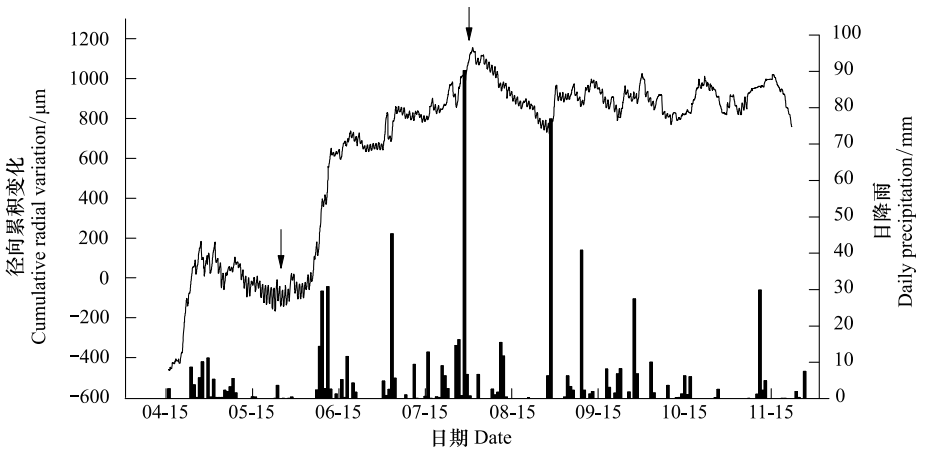

图 3　红松树干径向累积变化

Fig.3　Cumulative radial variation of *Pinus koraiensis* in 2012

箭头表示估计的径向生长开始和结束的时间

松的径向变化存在着明显的个体差异。1 号和 3 号样木生长主要集中在一年的第 145 天(5 月末)—185 天(6 月末),径向生长速率曲线较陡,生长量分别为 882.74 μm 和 577.89 μm(图 5A,C)。而 2 号样木径向生长从第 140 天(5 月下旬)一直持续到第 200 天(7 月中旬),径向生长速率曲线平缓,生长量为 1007.71 μm(图 5B)。

3.4　径向生长与气候因子的分析

表 2 给出了径向生长期间,周期循环 3 个阶段与气候因子的 Pearson 相关与偏相关系数。从 Pearson 相关系数可以来看,收缩阶段的树干收缩量与这一时期的最高气温、水汽压亏缺呈正相关,与最低气温、相对湿度、土壤温度以及降雨量呈负相关。膨胀阶段的树干恢复与水汽压亏缺、降雨量呈正相关,与平均气温、最低气温、相对湿度、土壤温度呈负相关。增长阶段的树干径向生长与最高气温、相对湿度、土壤温度、降雨总量呈正相关,与水汽压亏缺呈负相关。

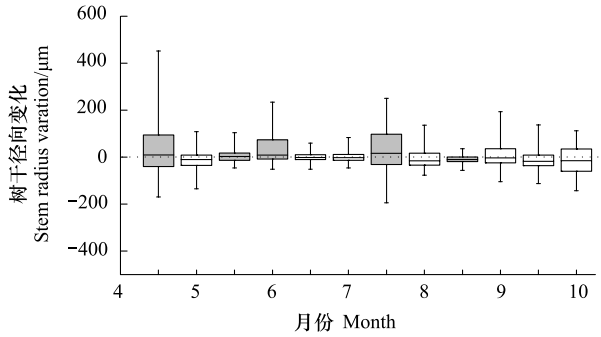

图 4 2012 年 4 月 15 日—10 月 12 日,以 15 d 为 1 组的红松树干径向变化分布

Fig.4 Stem radius variation distribution of *Pinus koraiensis* grouped at 15 d from 15 April to 12 October 2012

灰色突出的箱图表示与 0 有显著差异(单样本 t 检验,$P < 0.05$);箱形图表示的是 25%—75%数据的分布规律,箱形图中间的线段表示的是平均值

表 3 则给出了日径向变化与气候因子的关系。从 Pearson 相关系数来看,日径向变化与每天的相对湿度、最低气温和降雨量呈显著正相关,而与水汽压亏缺和日最高气温呈负相关。

为进一步分析径向生长与各气象因子的关系,进行了偏相关分析。偏相关分析消除了其他变量的影响之后,研究两个变量间的相关性,能够真实地反映这两个变量间相关的性质与密切程度。分析发现不同阶段影响因子各不相同(表 2)。在收缩阶段,收缩量主要受到相对湿度、土壤温度和水汽压亏缺的影响。在膨胀阶段,降雨量、最高气温是影响树干径向恢复的主要因子。在增长阶段,最低气温、降雨量对树干径向生长影响最显著。日径向变化(表 3)则与土壤温度和降雨量显著相关。

利用逐步回归分析分别建立多元线性模型,得到如下 3 个模型:

$$Y_1 = 192.979 + 0.343P_3 - 119.923VPD_3 - 6.958T_{min3} + 12.689T_{mean3} - 119.840RH_2 - 3.633T_{max1} - 76.638RH_1$$
$$R^2 = 0.585 \quad n = 177 \qquad (2)$$

$$Y_2 = 191.866 + 0.32P_3 - 128.117VPD_3 - 7.285T_{min3} + 11.854T_{mean3} - 206.809RH_2 - 2.018T_{max2}$$
$$R^2 = 0.571 \quad n = 177 \qquad (3)$$

$$Y_3 = -65.346 + 48.941VPD + 0.139P - 4.411T_{max} + 191.039RH$$
$$R^2 = 0.341 \quad n = 431 \qquad (4)$$

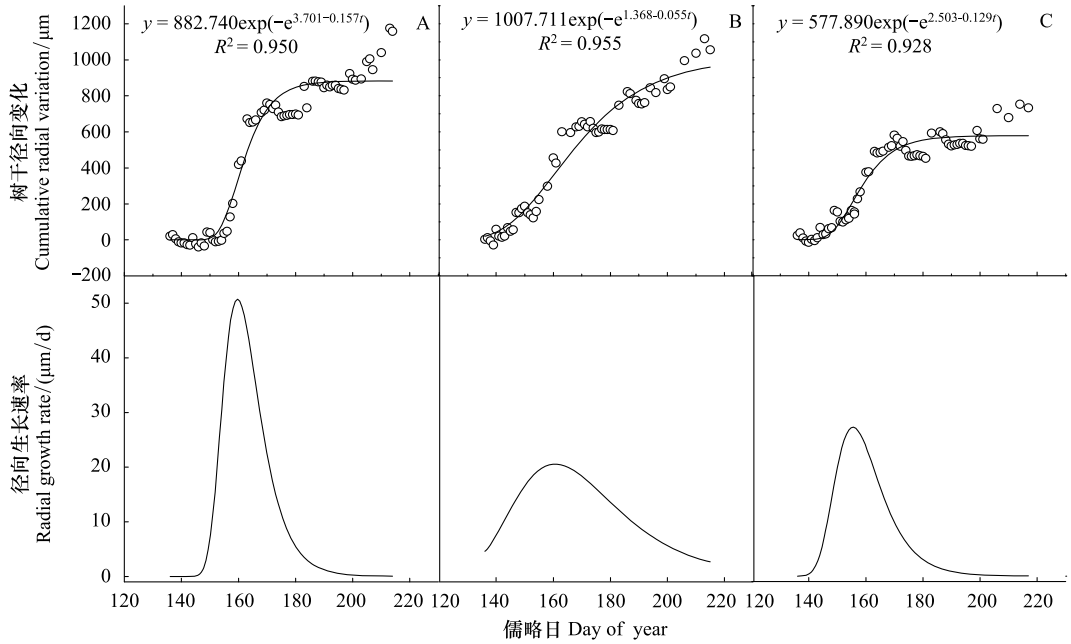

图 5 生长季三株记录完整的红松径向累积变化与径向生长速率

Fig.5 Curve fittings for cumulative radial variation and radial growth rate of Three well-documented *Pinus koraiensis* during the growing season

A,B,C 分别表示记录完整的 3 株红松样木

表 2　生长季 3 个阶段径向变化量与相应阶段气候因子的 Pearson 相关性与偏相关系数

Table 2　Pearson correlation and partial correlation coefficient between three phase radial variation and the corresponding phase of meteorological factors during the growing season

阶段 Phase		平均气温 Average air temperature	最高气温 Maximum air temperature	最低气温 Minimum air temperature	相对湿度 Air relative humidity	土壤温度 Soil temperature	水汽压亏缺 Vapor pressure deficit	降雨量 Precipitation
收缩 Contraction	Pearson 相关系数 Pearson correlation coefficient	0.074	0.152**	−0.196**	−0.439**	−0.195**	0.347**	−0.150**
	偏相关系数 partial correlation coefficient	0.150**	0.132*	−0.124*	−0.282**	−0.307**	−0.248**	−0.104
膨胀 Expansion	Pearson 相关系数 Pearson correlation coefficient	−0.273**	0.072	−0.380**	−0.305**	−0.292**	0.211**	0.221**
	偏相关系数 partial correlation coefficient	−0.078	0.233**	−0.069*	−0.077	0.043	−0.047	0.385**
生长 Increment	Pearson 相关系数 Pearson correlation coefficient	0.148	0.214**	0.072	0.276**	0.219**	−0.236**	0.700**
	偏相关系数 partial correlation coefficient	0.232**	−0.049	−0.307**	0.013	−0.052	−0.150	0.637**

* $P < 0.05$; * * $P < 0.01$

表 3　生长季红松日径向变化与日气象因子的 Pearson 相关性与偏相关系数

Table 3　Pearson correlation and partial correlation coefficient between daily stem growth of *Pinus koraiensis* and daily meteorological factors

	平均气温 Average air temperature	最高气温 Maximum air temperature	最低气温 Minimum air temperature	相对湿度 Air relative humidity	土壤温度 Soil temperature	水汽压亏缺 Vapor pressure deficit	降雨量 Precipitation
Pearson 相关系数 Pearson correlation coefficient	−0.103*	−0.420**	0.199**	0.421**	−0.103*	−0.485**	0.335**
偏相关系数 partial correlation coefficient	0.111*	−0.152* *	−0.031	0.120*	−0.221**	0.027	0.195**

* P <0.05; * * P <0.01

公式 2 表示的是周期循环法 3 个阶段的气象因子对红松径向生长影响的多元线性模型;公式 3 表示的是膨胀和增长阶段的气象因子对红松径向生长影响的多元线性模型。公式 4 表示的是日气象因子对红松日径向变化的影响(日最大值法)。式中,Y_1, Y_2, Y_3表示树干直径生长量(μm),P 表示降雨量(mm),VPD 表示水汽压亏缺(KPa),T_{mean}表示平均温度(℃),T_{min}表示最低温度(℃),T_{max}表示最高温度(℃),RH 表示空气相对湿度,T_{soil}表示土壤温度(℃)。公式 2 和公式 3 中的下标 1,2,3 分别表示周期循环法的 3 个阶段。

4　讨论

4.1　径向生长期的确定

确定生长的开始与结束对于研究径向生长与气候因子的关系是重要的[16-17]。尤其是树木生长缓慢的寒冷地区,树干水分储存的波动会对径向生长的提取和一些关键事件(如径向生长的开始,增长,结束)的识别造成影响。树木茎干经过冬天的严重缩水,会在春季进行快速的补水,树干迅速增粗,造成生长开始的假象。当试图计算寒冷环境下的径向生长时,从径向变化记录仪数据中鉴定这一时期至关重要,因为补水阶段可能很容易与径向生长的开始相混淆[2, 18]。

本研究结果表明,红松径向生长累积增量在 5 月初至 5 月中旬,有一段相对稳定的平台期(图 3),这段时间的记录有助于生长期开始的鉴定。Deslauriers 等[12]提出大于 10 d 的时间尺度能够协助识别较低海拔的生长开始和茎干生长的主要时期。在较高海拔,大于 15 d 的时间尺度只能有助于生长主要时期的确定。根据样地所处海拔(359 m)及所处的高纬度特点,本研究使用 15 d 的时间尺度确定红松的径向生长期,在经过半月的平台期后,红松在 5 月中旬开始径向生长。在 6 月中旬至 7 月中旬的

径向变化与 0 没有显著差异,造成这一结果的原因可能是 6 月上旬频繁的降雨量,一方面使土壤含水量的增加以及叶片和枝干表皮对树干径流的吸收,促进了细胞的伸长生长[19-20];而另一方面则是红松树皮吸水膨胀造成的可逆的增长,在降雨停止之后,树皮因脱水而收缩,造成树干直径的减少,从而使 6 月中旬至 7 月中旬的径向没有显著变化。在 7 月末出现最后一次显著的径向生长表明径向生长逐渐停止。

红松径向生长速率分析(图 5)表明:红松最大生长速率出现在 6 月 10 日(第 160 天)左右。王业蘧[21]使用游标卡尺对小兴安岭凉水林场红松幼苗进行了研究,结果是 6 月和 7 月红松地径生长迅速,对全年地径总生长贡献最大;但王业蘧的研究结果表明 7 月份是红松径向生长的迅速期,与本研究 6 月中上旬是红松径向生长迅速期不同。本研究组同年用微树芯法研究了红松形成层的活动(未发表)表明:6 月中旬至 7 月初是红松形成层分化、木质部细胞形成的主要时期,这与 Rossi 等[22]得出的高纬度和高海拔地区的树木径向生长高峰基本都出现在夏至日附近相一致。通过观察红松径向生长累积增量和降雨量的关系可以看出红松径向变化对降雨非常敏感,每一次大的降雨都会使径向生长发生显著变化,6 月上旬的密集降雨使红松径向生长大幅增加(图 3),从而得到的最大生长速率期提前。因此,虽然树木径向生长测量仪对树干径向持续变化的监测是其他方法无法比拟的,但是在应用上要十分谨慎,对于受降雨影响较大的树木,应当结合其他监测手段作对比。

4.2 红松径向变化与气候的关系

本研究通过两个方面对红松径向生长与气候因子的关系进行了分析。首先使用日最大值法分析红松的日径向变化与气象因子的关系,Pearson 相关分析以及偏相关分析表明,红松日径向变化与日空气相对湿度,土壤温度以及降雨量的关系是极显著的。在相对湿度很高的情况下,树冠蒸腾作用减弱和根部吸水导致树干径向增加[7]。管伟和熊伟的研究也同样表明水分因子对落叶松日径向生长起着最为重要的作用[6-7]。生长季节的降雨对茎干径向生长的影响是重大的[1-2, 7, 9],一方面降雨能够增加土壤含水量,促进树干细胞的伸长生长[19-20],而另一方面则是由于树皮吸水膨胀而导致的对径向生长错误的估计[2]。土壤温度与净光合作用显著相关,影响着光合产物的运输与分配[23];同时,土壤低温还会抑制水分和养分的吸收[24],从而影响径向生长。

另外,本文通过树干循环周期法对径向生长进行了比较细致的研究,分析了 3 个阶段与相应气候因子的关系,结果显示不同阶段影响红松径向变化的环境因子并不相同。在收缩阶段,土壤温度影响着根系的吸水能力,能减小树干内部的水分胁迫,降低树干收缩。相对湿度提高,空气中水汽增大,使边界层水汽压与叶片气孔腔的水汽梯度减少,水汽化过程变慢,液流速度降低[25]。Herzog 指出[15],树干径向日变化是与树干液流活动紧密相连的,在不考虑生长的情况下,树干径向变化是由树体水分含量变化引起的。土壤温度和相对湿度从不同的方面影响着树干体内的水分,从而与径向收缩呈显著相关。在膨胀和增长阶段,径向变化与最低气温极显著负相关,因为夜间温度影响树干形成层细胞伸长和增大,从而影响着树干径向生长[26-28],Xiaoxia Li 等[29]研究了中国青藏高原东南部色季拉山的急尖长苞冷杉(*Abies georgei* var)之后,发现在高纬度和高海拔地区,急尖长苞冷杉幼树和老树都会对最低气温做出快速响应,认为最低温是限制树木生长最显著的气象因子。

多元线性模型(公式 3)分析发现,第二和第三阶段的气象因子可以解释 57.1% 的径向变化。Dünisch[30]使用细胞分析和径向生长测量仪监测得出:当供水充足时 81%的挪威云杉苗木径向细胞扩大发生在 18:00 至次日 6:00 之间。同样 Deslauriers[2]在研究了加拿大冷杉(*Abies balsamea* (*L.*) Mill.)之后也得出了同样的结论,并且认为 8:00 至 17:00 收缩阶段的气象对径向生长的影响可能并不大。在模型中去除第一阶段的气象因子后(公式 3),R^2 并没有明显的减少,也支持了这一结果。但是不论是公式 2 还是公式 3,模型效果都明显优于公式 4,公式 4 只解释了 34.1%的日径向变化,说明周期循环法比日最大值法更加适合分析红松日径向变化和气象因子的关系。相比之下,Downes 等[1]发现,增长阶段期间的平均气候并没有比日气象解释更多的生长变化;但 Deslauriers[2]用自助法(Bootstrap)1 000 次重采样计算响应函数,相关系数解释了 90%以上的径

向生长变化。在本研究中,红松径向生长并不是仅受气象因子的影响(气象因子最多解释 58%的径向变化),可能还与树木本身的生物学特性和生理学特性有关,如树干形成层的活动与分化[1]、基因表达[31]和激素信号[32]等。因此要更好的理解气候对径向生长的影响,还需要对树木生物学和生理学特性进行更深入的研究。

5　结论

不论是周期循环法还是日最大值法都显示红松径向生长与气候因子有显著的关系,但是周期循环法能更加细化的分析日气象因子对径向生长的影响,能够解释更多的红松径向变化,其中膨胀和增长阶段的气象因子对红松径向生长的影响更大。在本研究中,降雨和最低气温是影响红松径向生长的关键气候因子。通过径向生长测量仪监测,红松径向生长在 5 月中下旬开始,在 7 月末趋于结束。生长模式为"S"形,最大径向生长速率出现在 6 月中上旬。径向生长测量仪的测定结果与直径生长的实际周期还存在一定差异,因此其应用还应结合其他监测手段。

References:

[1] Downes G, Beadle C, Worledge D. Daily stem growth patterns in irrigated *Eucalyptus globulus* and *E. nitens* in relation to climate. Trees, 1999, 14(2): 102-111.

[2] Deslauriers A, Morin H, Urbinati C, Carrer M. Daily weather response of balsam fir (*Abies balsamea* (L.) Mill.) stem radius increment from dendrometer analysis in the boreal forests of Québec (Canada). Trees, 2003, 17(6): 477-484.

[3] Mäkinen H, Nöjd P, Saranpää P. Seasonal changes in stem radius and production of new tracheids in Norway spruce. Tree Physiology, 2003, 23(14): 959-968.

[4] Tardif J, Flannigan M, Bergeron Y. An analysis of the daily radial activity of 7 boreal tree species, northwestern Quebec. Environmental Monitoring and Assessment, 2001, 67(1/2): 141-160.

[5] Bouriaud O, Leban J M, Bert D, Deleuze C. Intra-annual variations in climate influence growth and wood density of Norway spruce. Tree Physiology, 2005, 25(6): 651-660.

[6] Guan W, Xiong W, Wang Y H, Yu P T, He C Q, Du A P, Liu H L. Stem diameter growth of *Larix principis-rupprechtii* and its response to meteorological factors in the north of Liupan Mountain. Scientia Silvae Sinicae, 2007, 43(9): 1-6.

[7] Xiong W, Wang Y H, Yu P T, Liu H L, Shi Z J, Guan W. The growth in stem diameter of *Larix principis-rupprechtii* and its response to meteorological factors in the south of Liupan Mountain. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(2): 432-441.

[8] Dong M Y, Jiang Y, Wang M C, Zhang W T, Yang H C. Seasonal variations in the stems of *Larix principis-rupprechtii* at the treeline of the Luya Mountains. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(23): 7430-7439.

[9] Dong M Y, Jiang Y, Yang H C, Wang M C, Zhang W T, Guo Y Y. Dynamics of stem radial growth of *Picea meyeri* during the growing season at the treeline of Luya Mountain. Chinese Journal of Plant Ecology, 2012, 36(9): 956-964.

[10] Chen L, Yin Y H, Pan T, Wu S H, Wang H. Growth of *Pinus koraiensis* and its response to temperature change at Changbai Mountain, Northeast China. Resources Science, 2012, 34(11): 2137-2145.

[11] Wang X M, Zhao X H, Gao LS, 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.

[12] Deslauriers A, Rossi S, Anfodillo T. Dendrometer and intra-annual tree growth: What kind of information can be inferred? Dendrochronologia, 2007, 25(2): 113-124.

[13] Rossi S, Deslauriers A, Morin H. Application of the Gompertz equation for the study of xylem cell development. Dendrochronologia, 2003, 21(1): 33-39.

[14] Zweifel R, Häsler R. Frost-induced reversible shrinkage of bark of mature subalpine conifers. Agricultural and Forest Meteorology, 2000, 102(4): 213-222.

[15] Herzog K M, Häsler R, Thum R. Diurnal changes in the radius of a subalpine Norway spruce stem: their relation to the sap flow and their use to estimate transpiration. Trees, 1995, 10(2): 94-101.

[16] Worbes M. Annual growth rings, rainfall-dependent growth and long-term growth patterns of tropical trees from the Caparo Forest Reserve in Venezuela. Journal of Ecology, 1999, 87(3): 391-403.

[17] Biondi F, Hartsough P C, Estrada I G. Daily weather and tree growth at the tropical treeline of North America. Arctic, Antarctic, and Alpine Research, 2005, 37(1): 16-24.

[18] Zweifel R, Häsler R. Dynamics of water storage in mature subalpine *Picea abies*: temporal and spatial patterns of change in stem radius. Tree Physiology, 2001, 21(9): 561-569.

[19] Zweifel R, Zimmermann L, Zeugin F, Newbery D M. Intra-annual radial growth and water relations of trees: implications towards a growth mechanism. Journal of Experimental Botany, 2006, 57(6): 1445-1459.

[20] Zahner R. Internal moisture stress and wood formation in conifers. Forest Products Journal, 1963, 13(6): 240-247.

[21] Wang Y J. Broad-leaved Korean Pine Forest. Harbin: Northeast Forestry University Press, 1995: 335-337.

[22] Rossi S, Deslauriers A, Anfodillo T, Morin H, Saracino A, Motta R, Borghetti M. Conifers in cold environments synchronize maximum growth rate of tree-ring formation with day length. New Phytologist, 2006, 170(2): 301-310.

[23] Körner C. A re-assessment of high elevation treeline positions and their explanation. Oecologia, 1998, 115(4): 445-459.

[24] Körner C. Alpine Plant Life: Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems. New York: Springer-Verlag, 1999.

[25] Ru T Q, Li J Y, Kong L S, Zhu Y L. Review on the research of water consumption characteristic of *Robinia psedudoacia*. Research of Soil and Water Conservation, 2005, 12(2): 135-140.

[26] Denne M P. Temperature and tracheid development in *Pinus sylvestris* seedlings. Journal of Experimental Botany, 1971, 22(2): 362-370.

[27] Antonova G F, Stasova V V. Effects of environmental factors on wood formation in Scots pine stems. Trees, 1993, 7(4): 214-219.

[28] Richardson S D, Dinwoodie J M. Studies on the physiology of xylem development. I. The effect of night temperature on tracheid size and wood density in conifers. II. Some effects of light intensity, daylength and provenance on wood density and tracheid length in Picea sitchensis. III. Effects of tempe. Journal of the Institute of Wood Science, 1960, (6): 3-13.

[29] Li X X, Liang E Y, Gričar J, Prislan P, Rossi S, Čufar K. Age dependence of xylogenesis and its climatic sensitivity in Smith fir on the south-eastern Tibetan Plateau. Tree Physiology, 2013, 33(1): 48-56.

[30] Dünisch O, Bauch J. Influence of soil substrate and drought on wood formation of spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) under controlled conditions. Holzforschung-International Journal of the Biology, Chemistry, Physics and Technology of Wood, 1994, 48(6): 447-457.

[31] Schrader J, Nilsson J, Mellerowicz E, Berglund A, Nilsson P, Hertzberg M, Sandberg G. A high-resolution transcript profile across the wood-forming meristem of poplar identifies potential regulators of cambial stem cell identity. The Plant Cell Online, 2004, 16(9): 2278-2292.

[32] Schrader J, Baba K, May S T, Palme K, Bennett M, Bhalerao R P, Sandberg G. Polar auxin transport in the wood-forming tissues of hybrid aspen is under simultaneous control of developmental and environmental signals. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2003, 100(17): 10096-10101.

参考文献:

[6] 管伟, 熊伟, 王彦辉, 于澎涛, 何常清, 杜阿朋, 刘海龙. 六盘山北侧华北落叶松树干直径生长变化及其对环境因子的响应. 林业科学, 2007, 43(9): 1-6.

[7] 熊伟, 王彦辉, 于澎涛, 刘海龙, 时忠杰, 管伟. 六盘山南坡华北落叶松 (*Larix principis-rupprechtii*) 树干直径生长及其对气象因子的响应. 生态学报, 2007, 27(2): 432-441.

[8] 董满宇, 江源, 王明昌, 张文涛, 杨浩春. 芦芽山林线华北落叶松径向变化季节特征. 生态学报, 2012, 32(23): 7430-7439.

[9] 董满宇, 江源, 杨浩春, 王明昌, 张文涛, 郭媛媛. 芦芽山林线白杆生长季径向生长动态. 植物生态学报, 2012, 36(9): 956-964.

[10] 陈力, 尹云鹤, 潘韬, 吴绍洪, 王辉. 长白山红松生长量及其对温度变化的响应. 资源科学, 2012, 34(11): 2139-2145.

[11] 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.

[21] 王业蘧. 阔叶红松林. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1995: 335-337.

[25] 茹桃勤, 李吉跃, 孔令省, 朱延林. 刺槐耗水研究进展. 水土保持研究, 2005, 12(2): 135-140.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.7 Apr., 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

The 5000-year climate change of northeastern Qinghai-Tibetan Plateau and historical ecology of Zoige wetlands ..... HE Yixin, WU Ning, ZHU Qiu'an, et al (1615)

Altitudinal distribution rule of *Picea schrenkiana* forest's soil organic carbon and its influencing factors ..... Aminem ELI, CHANG Shunli, ZHANG Yutao, et al (1626)

Autecology & Fundamentals

Daily stem radial variation of *Pinus koraiensis* and its response to meteorological parameters in Xiaoxing'an mountain ..... LI Xinghuan, LIU Ruipeng, MAO Zijun, et al (1635)

Effects of logging residues on surface soil biochemical properties and enzymatic activity ..... WU Bobo, GUO Jianfen, WU Junjun, et al (1645)

Characteristics of soil macroaggregates under typical forests in Pangquangou Nature Reserve ..... BAI Xiumei, HAN Youzhi, GUO Hanqing (1654)

Modeling tree crown structure of Simao pine (*Pinus kesiya* var. *langbianensis*) natural forest ..... OU Guanglong, XIAO Yifa, WANG Junfeng, et al (1663)

Influence of magnesium deficiency and excess on chlorophyll fluorescence characteristics of Newhall navel orange leaves ..... LING Lili, HUANG Yi, PENG Liangzhi, et al (1672)

Seed foraging and dispersal of Chinese yew (*Taxus chinensis* var. *mairei*) by frugivorous birds within patchy habitats ..... LI Ning, WANG Zheng, LU Changhu, et alg (1681)

Interactions between heavy metal lead and two freshwater algae ..... LIU Lu, YAN Hao, LI Cheng, et al (1690)

Annual variations of the primary productivity and its size-fractioned structure in culture ponds of *Apostichopus japonicus* Selenka ..... JIANG Senhao, ZHOU Yibing, TANG Boping, et al (1698)

Growth and photosynthetic activity of *Microcystis* colonies after gut passage through silver carp and bighead carp ..... WANG Yinping, GU Xiaohong, ZENG Qingfei, et al (1707)

Contents of two coumarins in *Ipomoea cairica* and their effects on *Pomacea canaliculata*, *Orzya sativa*, and *Echinochloa crusgalli* ..... YOU Changyan, YANG Yu, HU Fei, et al (1716)

Population, Community and Ecosystem

Population and habitat status of Asian elephants (*Elephas maximus*) in Mengla Sub-reserve of Xishuangbanna National Nature Reserve, Yunnan of China ..... LIN Liu, JIN Yanfei, CHEN Dekun, et ali (1725)

Seasonal changes of functional guilds of fish community in Laizhou Bay, East China ..... LI Fan, XU Bingqing, MA Yuanqing, et al (1736)

Effect of long-term fertilization pattern on weed community diversity in wheat field ..... JIANG Min, SHEN Mingxing, SHEN Xinping, et al (1746)

Ecological process of water transformation in furrow and ridge mulching system in oat field under extreme drought scenario ..... ZHOU Hong, ZHANG Hengjia, MO Fei, et al (1757)

Landscape, Regional and Global Ecology

Simulations and analysis on the effects of landscape pattern change on flood and low flow based on SWAT model ..... LIN Bingqing, CHEN Xingwei, CHEN Ying, et al (1772)

Phenological variation of alpine grasses (Gramineae) in the northeastern Qinghai-Tibetan Plateau, China during the last 20 years ..... XU Weixin, XIN Yuanchun, ZHANG Juan, et al (1781)

Landscape aesthetics in different areas of Lijiang City ..... GUO Xianhua, ZHAO Qianjun, CUI Shenghui, et al (1794)

Temporal and spatial pattern of *Scenedesmus* in the river web of the Pearl River Delta, China ..... WANG Chao, LI Xinhui, LAI Zini, et al (1800)

Spatiotemporal dynamics of bacterial abundance and related environmental parameters in Lake Bosten ····· WANG Bowen, TANG Xiangming, GAO Guang, et al (1812)

Scale domain recognition for land use spatial fractal feature based on genetic algorithm ····· WU Hao, LI Yan, SHI Wenzhong, et al (1822)

Relationships of stable carbon isotope of *Abies faxoniana* tree-rings to climate in sub-alpine forest in Western Sichuan ····· JIN Xiang, XU Qing, LIU Shirong, et al (1831)

An exploratory spatial data analysis-based investigation of the hot spots and variability of *Ommastrephes bartramii* fishery resources in the northwestern Pacific Ocean ····· FENG Yongjiu, CHEN Xinjun, YANG Mingxia, et al (1841)

Urban, Rural and Social Ecology

Spatial differentiation research of non-use value WTP based on the residents' ecological cognition: taking the sanjiang plain as a case ····· GAO Qin, AO Changlin, CHEN Hongguang, et al (1851)

Contamination characteristics in surface water and coastal groundwater of Hunhe River ····· CUI Jian, DU Jizhong, WANG Xiaoguang (1860)

Social ecological system and vulnerability driving mechanism analysis ····· YU Zhongyuan, LI Bo, ZHANG Xinshi (1870)

Research Notes

Effects of iso-osmotic $Ca(NO_3)_2$ and NaCl stress on growth and physiological characteristics of cucumber seedlings ····· ZHOU Heng, GUO Shirong, SHAO Huijuan, et al (1880)

View Point

The discussion about the designation and content of ecological conservation and construction ····· SHEN Guofang (1891)

《生态学报》2014 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研工作者,探索生态学奥秘,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研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,280 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

本期责任副主编　魏辅文　　**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 34 卷　第 7 期　(2014 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 34　No. 7 (April, 2014)

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
主　　编	王如松
主　　管	中国科学技术协会
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
出　　版	科学出版社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717
印　　刷	北京北林印刷厂
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
订　　购	全国各地邮局
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
广告经营许可证	京海工商广字第 8013 号

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
Editor-in-chief	WANG Rusong
Supervised by	China Association for Science and Technology
Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@ cspg.net
Domestic **Foreign**	All Local Post Offices in China China International Book Trading Corporation Add:P.O.Box 399 Beijing 100044, China

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