

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

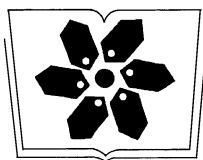
Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 23 期 Vol.32 No.23 **2012**

中国生态学学会
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 32 卷 第 23 期 2012 年 12 月 (半月刊)

目 次

中国石龙子母体孕期调温诱导幼体表型:母体操纵假说的实验检测	李 宏,周宗师,吴延庆,等 (7255)
同种或异种干扰对花鼠分散贮藏点选择的影响	申 圳,董 钟,曹令立,等 (7264)
曝气充氧条件下污染河道氨挥发特性模拟	刘 波,王文林,凌 芬,等 (7270)
贵州草海越冬斑头雁日间行为模式及环境因素对行为的影响	杨延峰,张国钢,陆 军,等 (7280)
青藏高原多年冻土区积雪对沼泽、草甸浅层土壤水热过程的影响	常 娟,王根绪,高永恒,等 (7289)
长沙城市斑块湿地资源的时空演变	恭映璧,靖 磊,彭 磊,等 (7302)
基于模型数据融合的干烟洲亚热带人工林碳水通量模拟	任小丽,何洪林,刘 敏,等 (7313)
农田氮素非点源污染控制的生态补偿标准——以江苏省宜兴市为例	张 印,周羽辰,孙 华 (7327)
用 PFU 微型生物群落监测技术评价化工废水的静态毒性	李朝霞,张玉国,梁慧星 (7336)
京郊农业生物循环系统生态经济能值评估——以密云尖岩村为例	周连第,胡艳霞,王亚芝,等 (7346)
基于遥感的夏季西安城市公园“冷效应”研究	冯晓刚,石 辉 (7355)
海南岛主要森林类型时空动态及关键驱动因子	王树东,欧阳志云,张翠萍,等 (7364)
不同播种时间对吉林省西部玉米绿水足迹的影响	秦丽杰,靳英华,段佩利 (7375)
黄土塬区不同品种玉米间作群体生长特征的动态变化	王小林,张岁岐,王淑庆,等 (7383)
密植条件下种植方式对夏玉米群体根冠特性及产量的影响	李宗新,陈源泉,王庆成,等 (7391)
沙地不同发育阶段的人工生物结皮对重金属的富集作用	徐 杰,敖艳青,张璟霞,等 (7402)
增强 UV-B 辐射和氮对谷子叶光合色素及非酶促保护物质的影响	方 兴,钟章成 (7411)
不同产地披针叶茴香光合特性对水分胁迫和复水的响应	曹永慧,周本智,陈双林,等 (7421)
芦芽山林线华北落叶松径向变化季节特征	董满宇,江 源,王明昌,等 (7430)
地形对植被生物量遥感反演的影响——以广州市为例	宋巍巍,管东生,王 刚 (7440)
指数施肥对楸树无性系生物量分配和根系形态的影响	王力朋,晏紫伊,李吉跃,等 (7452)
火烧伤害对兴安落叶松树干径向生长的影响	王晓春,鲁永现 (7463)
山地梨枣树耗水特征及模型	辛小桂,吴普特,汪有科,等 (7473)
两种常绿阔叶植物越冬光系统功能转变的特异性	钟传飞,张运涛,武晓颖,等 (7483)
干旱胁迫对银杏叶片光合系统 II 荧光特性的影响	魏晓东,陈国祥,施大伟,等 (7492)
神农架川金丝猴栖息地森林群落的数量分类与排序	李广良,丛 静,卢 慧,等 (7501)
碱性土壤盐化过程中阴离子对土壤中镉有效态和植物吸收镉的影响	王祖伟,弋良朋,高文燕,等 (7512)
两种绣线菊耐弱光能力的光合适应性	刘慧民,马艳丽,王柏臣,等 (7519)
闽楠人工林细根寿命及其影响因素	郑金兴,黄锦学,王珍珍,等 (7532)
旅游交通碳排放的空间结构与情景分析	肖 潇,张 捷,卢俊宇,等 (7540)
北京市妫水河流域人类活动的水文响应	刘玉明,张 静,武鹏飞,等 (7549)
膜下滴灌技术生态-经济与可持续性分析——以新疆玛纳斯河流域棉花为例	范文波,吴普特,马枫梅 (7559)
高温胁迫及其持续时间对棉蚜死亡和繁殖的影响	高桂珍,吕昭智,夏德萍,等 (7568)
桉树枝瘿姬小蜂虫瘿解剖特征与寄主叶片生理指标的变化	吴耀军,常明山,盛 双,等 (7576)
西南桦纯林与西南桦×红椎混交林碳贮量比较	何友均,覃 林,李智勇,等 (7586)
长沙城市森林土壤 7 种重金属含量特征及其潜在生态风险	方 晰,唐志娟,田大伦,等 (7595)
专论与综述	
城乡结合部人-环境系统关系研究综述	黄宝荣,张慧智 (7607)
陆地生态系统碳水通量贡献区评价综述	张 慧,申双和,温学发,等 (7622)



封面图说: 麋鹿群在过河——麋鹿属于鹿科,是中国的特有动物。历史上麋鹿曾经广布于东亚地区,到 19 世纪时,只剩下在北京南海子皇家猎苑内一群。1900 年,八国联军攻陷北京,麋鹿被抢劫一空。1901 年,英国的贝福特公爵用重金从法、德、荷、比四国收买了世界上仅有的 18 头麋鹿,以半野生的方式集中放养在乌邦寺庄园内,麋鹿这才免于绝灭。在世界动物保护组织的协调下,1985 年起麋鹿从英国分批回归家乡,放养到北京大兴南海子、江苏省大丰等地。这是在江苏省大丰麋鹿国家级自然保护区放养的麋鹿群正在过河。

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

DOI: 10.5846/stxb201203090322

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.

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.

芦芽山林线华北落叶松径向变化季节特征

董满宇^{1,2,3}, 江 源^{1,2,*}, 王明昌², 张文涛², 杨浩春²

(1. 北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875; 2. 北京师范大学资源学院, 北京 100875;

3. 北京师范大学生命科学学院, 北京 100875)

摘要: 利用点状树木径向变化记录仪对芦芽山林线树种华北落叶松树木茎干的径向变化进行了一年的连续观测, 分析了华北落叶松茎干径向日变化规律及茎干累积变化的季节动态。结果表明: 华北落叶松茎干日变化在温暖季和寒冷季存在着相反的变化模式。在温暖季, 茎干径向日变化归因于空气温度导致树木蒸腾作用强度的日变化而使茎干组织水分发生变化; 在寒冷季, 茎干径向日变化主要是因为空气温度通过热力学原理导致的“茎干冻融作用”。华北落叶松年内茎干径向变化存在 4 个不同阶段: 1) 春季茎干水分恢复期, 2) 夏季茎干快速增长期, 3) 秋季茎干脱水收缩期, 4) 冬季茎干相对稳定期。在不同阶段, 影响华北落叶松茎干径向变化的环境因子并不一致。土壤温度为生长季中控制华北落叶松茎干径向生长的主导因子。

关键词: 树木径向变化记录仪; 林线; 径向变化; 季节特征; 华北落叶松

Seasonal variations in the stems of *Larix principis-rupprechtii* at the treeline of the Luya Mountains

DONG Manyu^{1,2,3}, JIANG Yuan^{1,2,*}, WANG Mingchang², ZHANG Wentao², YANG Haochun²

1 State Key Laboratory of Earth Surface Process and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

2 College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

3 College of Life Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

Abstract: The treeline, which is defined as the upper limit of altitudinal tree distribution, is one of the most conspicuous vegetation boundaries worldwide. Treeline environments are generally characterized by harsh climatic conditions, which restrict tree growth and metabolic functions. Tree growth at the treeline is very sensitive to environmental changes, and it may be immediately influenced by small changes to limiting factors. Therefore, tree growth at the treeline can be used as an amplifier of external environmental changes, which has important implications for global climate change research. Fine resolution studies of tree radial variation on short temporal scales can be useful for exploring the interplay of the main physical variables that trigger the radial variation. From 19 Oct. 2008 to 17 Oct. 2009, we continuously monitored the stem radial variation of *Larix principis-rupprechtii* trees using point dendrometers, at the treeline of the Luya Mountains, in Shanxi, northern China. Our results showed that there were two reverse daily variation patterns in the warm and cold seasons, which were related to the daily transpiration rates and daily stem freeze-thaw cycles, respectively. In the warm seasons, the diurnal stem variation pattern was resolved into three phases: (1) radius contraction, (2) radius expansion, and (3) radius increment. Generally, during daytime, when tree transpiration exceeded water absorption, stem diameters usually decreased, and stem expansion occurred at night because of greater water absorption by the roots compared with water loss due to transpiration. In our study, a wide range of stem radius variations occurred during the stem freeze-thaw

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41171067, 40871055)

收稿日期: 2012-03-09; 修订日期: 2012-09-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jiangy@bnu.edu.cn

cycles during the cold seasons when the air temperature fluctuated around -5°C . The course of the cumulative radial variation during the year showed similarities among individuals representing the characteristic seasonal patterns. The average net stem radial increment of *Larix principis-rupprechtii* during the growing season was $(2014.1 \pm 240.5) \mu\text{m}$. Annual stem radial variation of *Larix principis-rupprechtii* was divided into four distinct periods: (1) spring stem rehydration, (2) summer stem rapid growth, (3) autumn stem dehydration contraction, and (4) winter stem stagnation. During different growth periods, the major environmental factors controlling stem radial variation were different. During the first period, the large radial increments were due to stem tissue rehydration by root pressure in early spring, and soil water content became the crucial environmental factor influencing stem radius variation. During the period of rapid stem growth in the summer, soil temperature was the major determining factor. Low soil temperature can inhibit net photosynthesis of *Larix principis-rupprechtii*, distribution of non-structural carbohydrates in the stem, and root activity and water uptake. The third period was characterized by the cessation of increments accompanied by dehydration of stem cells. These changes accompanied the declines in temperature and soil water content. Changes occurring in the cambium likely allow for over-wintering, which may be a survival strategy to avoid frost damage during cold winter conditions. During the fourth period, *Larix principis-rupprechtii* entered the dormancy stage and the stem remained relatively stable. It was observed that fluctuations in the radius of *Larix principis-rupprechtii* were mainly related to the changes in air temperature.

Key Words: dendrometer; treeline; stem radial variations; seasonal characteristics; *Larix principis-rupprechtii*

亚高山森林和高山苔原之间的生态过渡带,即高山林线,是最清晰的植被界线之一^[1]。高山林线地区树木生长显著受到外界极端环境条件的影响,其对环境变化十分敏感,限制性因子微弱的改变会立刻影响到树木的生长,目前高山林线已成为全球变化监测的重要区域,在相关研究中得到了广泛的关注^[2-3]。目前我国在高山林线过渡带,有关树木径向生长的研究主要是基于树木年轮分析开展的^[4-13]。通过树木年轮分析,于大炮等^[6]在长白山北坡林线研究时发现,林线树种岳桦当年树木径向生长与上一年冬季、当年春季降水量以及上一年冬季、当年3月气温密切相关。彭剑峰等^[7]通过对阿尼玛卿山地中部高山林线祁连圆柏树木年轮宽度年表的研究,发现祁连圆柏树木生长与当年7月平均气温呈显著正相关。康永祥等^[12]研究太白山高山林线区太白红杉林年轮宽度对气候变化的响应,发现太白红杉年轮序列与当年4月气温呈显著正相关,而与月降水量关系复杂。年轮分析在长时间尺度上能够很好地反映树木径向生长与气候因子的关系,但其不能很好地应用于日、季节等较小尺度上树木径向生长变化的研究。

树木径向变化记录仪(简称记录仪)是一种用来自动连续监测树木茎干径向变化的仪器^[14],其可以记录一日内的树干径向变化状况。这种高分辨率的树干径向变化监测,对于在天乃至小时时间尺度上,从树木生理生态学角度深入分析树木径向生长对于外界环境因子(如温度、降水、土壤含水量等)变化的响应机理具有重要价值^[15]。20世纪70年代中期以来,国外开始广泛地应用记录仪来研究树木茎干径向生长变化^[16],特别在近10a来,众多国外学者选择使用记录仪来研究高山林线地区树木的径向生长及其与环境因子的关系^[14, 17-18]。Gruber等^[17]对奥地利西部的阿尔卑斯山高山林线树种 *Pinus cembra*, *Picea abies*, *Larix decidua* 年内树木径向变化的研究表明,树干径向日变化量与温度呈现出显著正相关关系。Biondi等^[18]在墨西哥热带高山林线,监测林线树种 *Pinus hartwegii* 径向变化动态时发现,在生长季中期(6—7月),树木茎干径向变化主要受到土壤水分的影响。目前,国内学者仅见闫俊华等^[19],李秧秧等^[20],熊伟等^[21],肖生春等^[22],分别在鼎湖山自然保护区、陕西黄土丘陵区天然林、六盘山南坡的人工林及黑河下游胡杨林,利用点状或带状记录仪,在生长季或干旱季,对树木径向生长特征进行过研究。而国内有关记录仪在高山林线树木生长方面的应用鲜见,本研究小组于2007年,在生长季中后期,对山西芦芽山高山林线组成树种白杆(*Picea meyeri*)与华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)树木径向生长进行过监测^[23-24]。

可以发现,上述国内基于记录仪开展的研究,因其选取的时间较短,并没有全面阐明树木茎干的季节变化

特征及其对环境因子的响应,特别是在高山林线过渡带,基于记录仪开展的高分辨率树木径向变化等相关研究还不够深入。基于此,本文以华北地区具有代表性的芦芽山高山林线组成树种——华北落叶松为研究对象,利用点状记录仪开展了华北落叶松茎干径向变化的季节动态及其与环境因子关系的研究,旨在揭示日、季节尺度上高山林线树木径向变化对环境因子变化响应的内在生理生态学机制,以期为进一步开展高山林线树木生长对全球气候变化的响应研究提供科学依据。本研究的目的在于了解:1)华北落叶松茎干径向生长的日变化规律;2)华北落叶松年内茎干径向累积变化的季节动态及其与环境因子之间的关系。

1 研究区概况

本研究在山西省吕梁山脉的主峰芦芽山开展(图1),芦芽山位于吕梁山北端,其地理坐标为38°35′—38°45′N, 111°50′—112°5′E,海拔1200—2783 m,最高峰荷叶坪海拔2787 m,其余山峰均在2000 m左右。芦芽山属暖温带半湿润区,具有明显的大陆性气候特点,夏季凉爽多雨,冬季寒冷干燥,年均气温4—7℃,年降水量384—679 mm,无霜期130—170 d^[24]。芦芽山海拔1750—2600 m地带,基本上是以白杆和华北落叶松为建群种组成的寒温性针叶林,土壤为棕色森林土;2450—2772 m为亚高山灌丛草甸,土壤为亚高山草甸土^[25]。

2 实验设计与数据处理

2.1 样点布设

研究地点位于芦芽山荷叶坪北坡林线附近的白杆与华北落叶松混交林(图1),群落的建群种为白杆和华北落叶松。实验样地位于芦芽山森林分布的上限林缘,38°43′47″N, 111°50′16″E,海拔2737 m,平均坡度25°,坡向为北偏西45°。林内郁闭度0.9,林下基本无灌层,实验样地上部广泛分布有以二柱头镰草(*Scirpus distigmaticus*)和高山嵩草(*Kobresia pygmaea*)为优势种的高山草甸群落^[24]。

2.2 华北落叶松茎干径向生长数据采集及信息提取

在实验样地内选取干形较直、具有平均长势的华北落叶松3棵作为实验监测对象(表1),使其在最大程度上能够反映实验样地林线树种华北落叶松的树木生长状况。将点状记录仪(DR型, Ecomatik, 德国)设置于树木茎干1.5 m高处,安装仪器之前先将树干外部的死皮剥去,于2009年10月19日—2010年10月17日,连续测定树木茎干径向变化过程。所获取的样树茎干径向变化信息利用四通道DL10型数据采集器(Ecomatik, 德国)进行采集,每30 min记录1个数据。点状记录仪测量原理为:树干的径向收缩与膨胀对固定在树干上的传感器探头产生的压力变化,经过滑动变阻器转换为电阻值的变化来反映树木茎干的径向变化^[17],测量的分辨率为1 μm。依据Bouriaud等^[26]的方法——最大值法,提取茎干径向生长信息,即从00:00—23:30所获取的48个原始树木茎干数据中提取最大值,计算连续两日的最大值之差求得树木茎干的日变化(ΔR)(图2)。树木茎干径向累积变化量为逐日茎干日变化量(ΔR)的累加之和。

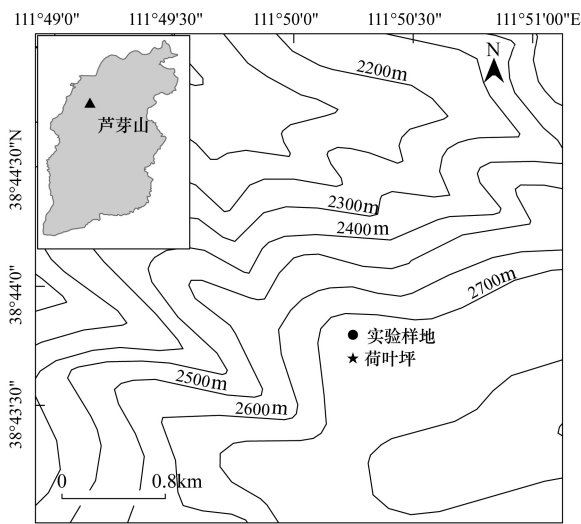


图1 实验样地地理位置
Fig.1 Location of the study plot

表1 华北落叶松样树的基本特征

Table 1 Characters of three <i>Larix principis-rupprechtii</i> sample trees			
样树编号 Number	树高 /m Tree height	胸径/cm Diameter at breast height	冠幅/m Crown diameter
1#	5.5	20	3.5
2#	3	10	1.5
3#	3.5	11	1.7

2.3 环境因子的测定

在测定样树径向变化的同时,同步测定样地内环境因子的变化:20 cm 深处的土壤含水量(W_s , m^3/m^3) (ML2x, Delta-T, UK),20 cm 深处的土壤温度(T_s , $^{\circ}C$) (ST-05, Delta-T, UK),利用 GP1 数据采集器(Delta-T, UK)进行数据采集。在实验样地上部的开阔草甸处设置 HOBO 小型自动气象站(Onset, USA),测定降水量(P , mm)及 1.5 cm 高处的空气温度(T_a , $^{\circ}C$),相对湿度(Rh , %),环境因子测定的时间间隔也为 30 min。水汽压差(VPD , kPa)基于空气相对湿度和空气温度的数据计算得到。因仪器出现故障,7 月 8 日—7 月 18 日空气相对湿度数据缺测。

2.4 数据处理

首先对获取的实验数据进行检验,将数据序列中的异常值剔除,以保证进一步分析的数据质量。为便于分析年、季茎干日变化与环境因子的关系,环境因子数据取一日内 48 个原始数据的平均值,降水量为加和,华北落叶松茎干径向日变化量(ΔR)取 3 棵样树的平均值。本文中的偏相关分析和逐步回归分析采用数据统计软件 SPSS15.0 完成。

3 结果与分析

3.1 华北落叶松茎干径向日变化

通常树木茎干径向变化包括因茎干水分变化导致的可逆的茎干收缩与膨胀变化和不可逆的茎干形成层细胞的分裂与伸长生长^[14]。图 2 给出了记录仪记录的华北落叶松 7 月 2—12 日的茎干径向日变化,依据 Deslauriers 等^[27]的方法,将树木茎干日变化分成 3 个阶段:1)收缩期,树木茎干从日第一个半径最大值到最小值的变化阶段;2)膨胀期,树木茎干从半径最小值到下一个最大值的变化阶段;3)增长期,树木茎干半径在膨胀期达到前一个最大值开始到下一个最大值的变化阶段。一个茎干日循环变化包括茎干的收缩阶段与膨胀阶段,当在膨胀期树木茎干半径超过了前一个最大值,即表现有茎干正增长($\Delta R+$);当在膨胀期树木茎干半径没有超过前一个最大值,即第 3 阶段没有出现,表现为茎干的收缩($\Delta R-$)。当有连续降水出现时,树木茎干表现为超长的膨胀变化,降水结束后出现超长的收缩变化。

3.2 华北落叶松茎干径向日变化量(ΔR)动态

图 3 呈现出了华北落叶松茎干径向日变化量(ΔR)动态,从图中可以看出,在冬季及初春,树木茎干的日波动幅度较大,这主要归结为空气温度出现急剧变化导致树木出现“茎干冻融作用”,茎干日变化量较大($\Delta R > 0.15$ mm),最大茎干日变化量为 0.37 mm,其具体作用机理详见下文。5 月份以后,华北落叶松茎干径向日变化量的大幅度波动主要与降水有关,降水不但能够提高土壤含水量,使茎干组织水分增加,茎干持续膨胀,而且树木通过叶片及枝干表皮对树干茎流的有效吸收,也是增加茎干组织水分含量的一个重要途径^[28],当降水结束后茎干组织因失水而出现明显的收缩变化。9 月份以后,随着树木径向生长趋于停止,茎干日变化量也逐渐降低,小于 0.1 mm。在冬季,除了气温发生大幅度的波动变化,其余大部分时间内树木茎干保持相对稳定,日茎干波动变化小,基本在 0.05 mm 以下。

3.3 华北落叶松茎干径向累积变化的季节动态

从华北落叶松茎干径向累积季节动态变化来看(图 4),3 棵样树表现出相似的变化趋势,依据图 4 展现的茎干径向累积变化的季节动态,可将华北落叶松年内茎干径向变化划分为明显不同的 4 个阶段:1)春季茎

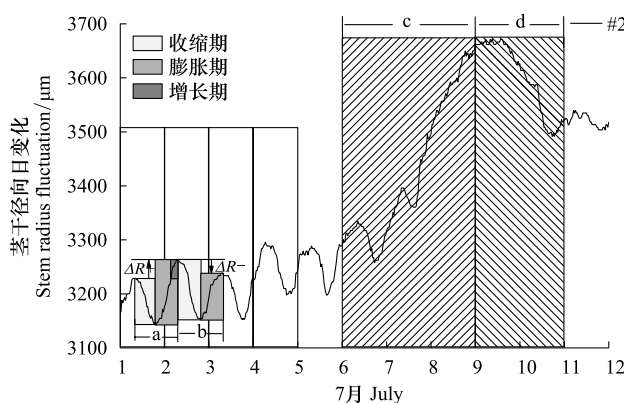


图 2 华北落叶松样树#2 茎干径向日变化

Fig. 2 Daily stem radial variation of *Larix principis-rupprechtii* sample tree#2

a 为茎干 $\Delta R+$ 循环, b 为茎干 $\Delta R-$ 循环, c 为超长的膨胀变化, d 为超长的收缩变化

干水分恢复期(A阶段)(4月末—6月初);2)夏季茎干快速增长期(B阶段)(6月初—8月中旬);3)秋季茎干脱水收缩期(C阶段)(8月中旬—12月末);4)冬季茎干相对稳定期(D阶段)(12月末—4月末)。表2给出了不同生长阶段华北落叶松树木茎干径向累积变化与环境因子的偏相关系数,可以看出,在不同生长阶段,影响华北落叶松茎干径向变化的主导环境因子有所不同。在春季茎干水分恢复期,茎干的累积变化主要受土壤含水量的影响,两者的偏相关系数较高;进入夏季茎干快速增长期,茎干累积变化显著受到土壤温度、土壤含水量的影响,而受空气温度及水汽压差(VPD)的影响并不明显。在秋季茎干脱水收缩期和冬季茎干相对稳定期,土壤温度、空气温度及土壤含水量为影响茎干累积变化的重要环境因子。

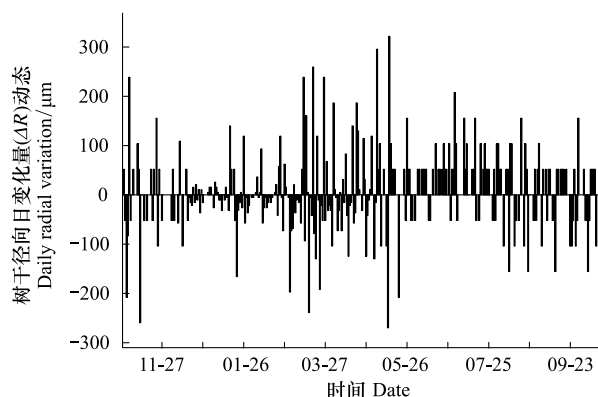


图3 华北落叶松径向日变化量(ΔR)季节动态

Fig. 3 Time series of daily radial variation (ΔR) of *Larix principis-rupprechtii*

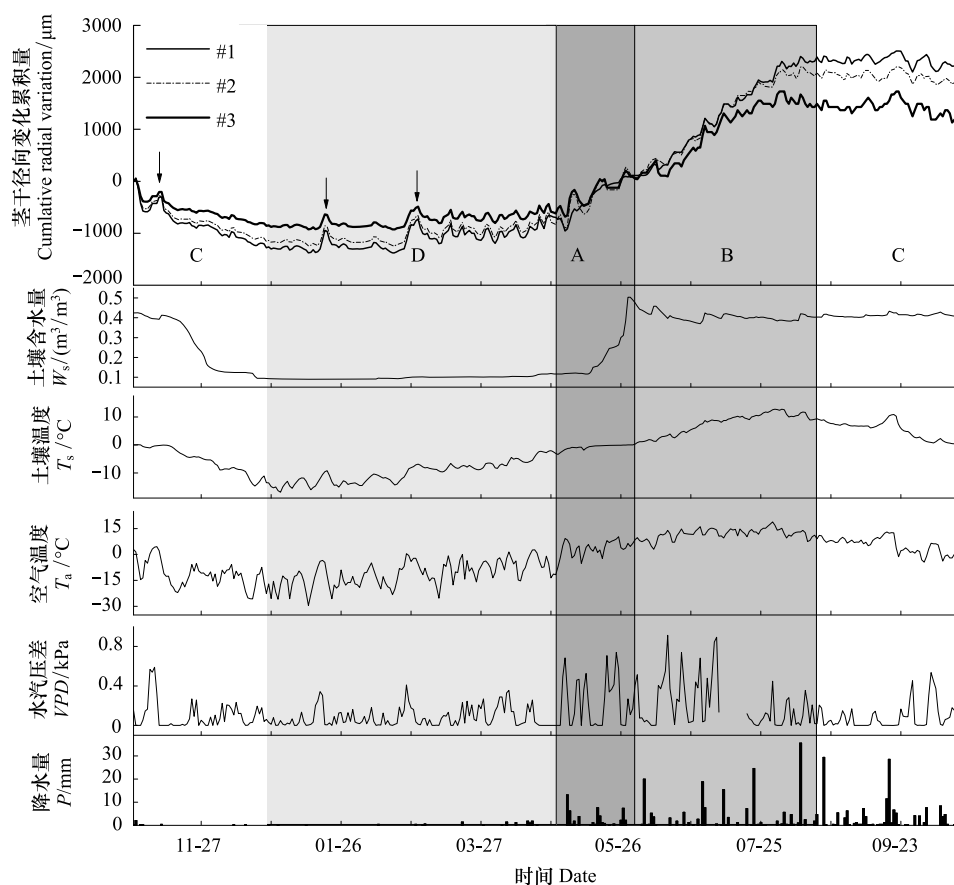


图4 华北落叶松茎干径向累积及相关环境因子的季节变化

Fig. 4 Seasonal changes of cumulative radial variation of *Larix principis-rupprechtii* and the corresponding environmental factors

在夏季茎干快速增长期(即生长季),华北落叶松茎干径向净生长量为 $(2014.1 \pm 240.5) \mu\text{m}$ 。图5呈现了生长季华北落叶松茎干径向净生长量与环境因子的相关关系。可以看出,华北落叶松径向净生长量与土壤温度、空气温度为显著正相关,与土壤含水量与水汽压差为显著负相关,与降水量没有表现出明显的相关性。从决定系数(R^2)比较来看,生长季华北落叶松茎干径向生长主要受到土壤温度的影响,土壤温度可以解释89%的茎干径向净生长量变化。

表 2 不同生长阶段华北落叶松树木茎干径向累积变化与环境因子的偏相关系数

Table 2 Partial correlation coefficients between cumulative radial variation of *Larix principis-rupprechtii* and environmental factors in different periods in a year

	土壤温度 Soil temperature T_s	空气温度 Air temperature T_a	水汽压差 Vapour pressure deficit VPD	土壤含水量 Soil water content W_s	降水量 Precipitation P
A 阶段 phase	0.167	-0.104	0.051	0.616 **	-0.043
B 阶段 phase	0.925 **	0.173	-0.166	-0.214 *	0.021
C 阶段 phase	0.612 **	0.332 **	-0.124	0.277 **	0.094
D 阶段 phase	0.791 **	0.412 **	-0.073	0.460 **	-0.075

* <0.01; ** <0.001

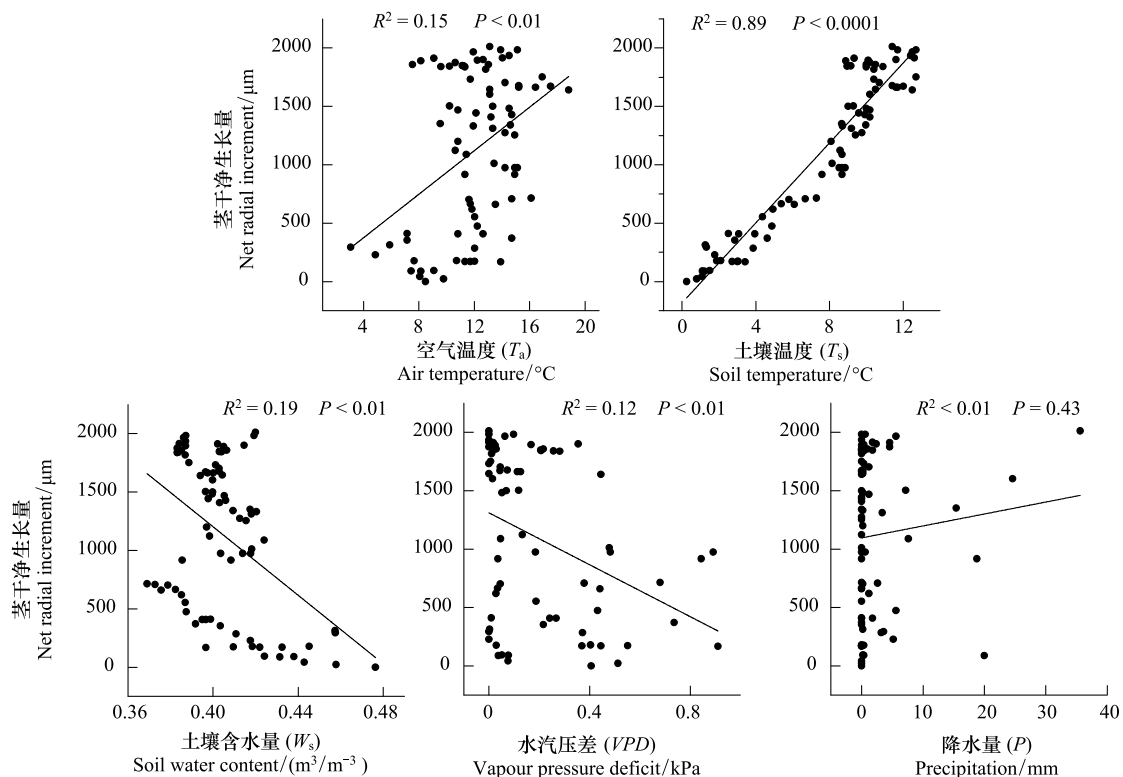


图 5 生长季华北落叶松茎干径向净生长量与环境因子的相关关系

Fig. 5 The relationships between net radial increment of *Larix principis-rupprechtii* and environmental factors during the growing season

4 讨论

4.1 华北落叶松茎干径向日变化模式

如图 2 所示,在温暖季节,华北落叶松茎干日变化主要是因空气温度导致树木蒸腾作用强度的日变化引起的树木茎干组织水分的减少和增加,使树木茎干出现了白天收缩和夜间膨胀的日变化^[16]。但随着空气温度的逐渐降低,进入冬季,样地空气日最高温基本在 -5°C 以下,发现华北落叶松树木茎干日变化动态发生了变化,从图 6 可以发现,在温暖季和寒冷季,华北落叶松茎干径向日变化与空气温度变化的相关性刚好相反。Zweifel 等^[29]在研究 *Picea abies* 树木茎干变化也有相同发现,当空气温度降低到 -5°C 以下,树木茎干液流完全停止,树木茎干日循环出现了与温暖季相反的模式,表现为茎干夜间收缩和白天膨胀变化。Zweifel 等^[29]报道了其形成机理:夜间因地面长波辐射冷却气温降低,木质部中的胞间隙首先出现冰结晶^[30-31],而此时木质部外部的活性细胞(主要是树皮细胞)并未出现结冰现象。因冰结晶的化学势能,树皮细胞中的水分通过渗透作用转移到木质部,其细胞体积减小,而此时坚实的木质部并没有因胞间隙出现结冰而出现体积明显变化,

导致树木茎干出现收缩现象^[31]。当白天气温升高,木质部中的胞间隙冰晶体开始融化,外部已脱水的活细胞开始吸水,树木茎干出现膨胀,本文将这一作用过程简称为“茎干冻融作用”。这种因气温快速降低导致的木质部外部活细胞中的水分转移至茎干木质部中,其可以保护木质部外部活细胞不会因温度过低导致细胞内出现水分结冰而受到冻害^[29],同时因“茎干冻融作用”树木茎干会产生较大幅度的径向变化。Bryan 等^[32]通过对春寒期 *Pinus radiata* 茎干径向变化的观测发现,“茎干冻融作用”导致的茎干收缩量为生长季常日收缩量的 10 倍。在本文也有类似的发现,在 11 月,1 月和 2 月(图 4 箭头指示处),当空气温度在 -5°C 上下发生大幅变化时,华北落叶松茎干累积变化幅度较大。

4.2 华北落叶松茎干径向变化与环境因子关系

从华北落叶松树干径向累计变化与环境因子的偏

相关系数(表 2)可以发现,随着环境因子的季节变化,在不同生长阶段,与茎干径向变化相关的主导环境因子并不一致,类似的结论也见于其他地区的研究结果^[15]。由于年际间高山林线处环境因子的差异变化,华北落叶松茎干径向变化的四个不同阶段的始末时间在年际间可能略有不同。

在春季茎干水分恢复期,土壤含水量为华北落叶松径向变化的主导环境因子。高山林线树木经历秋季脱水和冬季寒旱后,树木茎干组织处于严重的水分亏缺状态。在生长季前,树木茎干要进行水分的补充来达到组织细胞的水分平衡,因为细胞膨压的恢复对于树木径向生长是至关重要的^[33-34],其是控制细胞伸长生长的基本动力^[35]。进入 4 月末,随着空气温度升高,积雪开始融化,土壤含水量升高,树木通过根压吸水,树木茎干表现出明显的径向膨胀。在此阶段,土壤平均温度基本在 0°C 左右,由于土壤低温的影响,华北落叶松尚未进入生长季节。Tardif 等^[15]研究北方森林 7 种树木茎干径向变化,发现春季树木出现的快速茎干膨胀变化是因土壤含水量升高,树木根部吸水导致树木茎干组织水分快速恢复造成的,与本文观测的结果相一致。

夏季茎干快速增长期(即生长季),华北落叶松茎干径向生长显著受到土壤温度的影响(表 2 和图 5)。Havranek 等^[36]在高山林线研究发现,土壤温度小于 7°C 时,林线树木净光合作用将会受到抑制。从图 4 可以看到,进入夏季,林线地区的土壤温度还处于较低水平,即 6 月初土壤温度还处于 0°C 左右,之后才缓慢升高,直到 7 月中旬土壤温度才超过 7°C ,也就是说在 7 月中旬之前,华北落叶松的光合作用一直受到林线处土壤低温的抑制。树木茎干形成层是非结构碳水化合物(NSC)的汇,形成层活性需要以蔗糖形式的能量供应维持,其主要来源于光合作用产生的或植物体内前期储存的 NSC^[37-38],而土壤低温不仅影响到树木的净光合作用,也限制了 NSC 在植物体内的分配^[39]。同时,土壤低温还会限制树木根部对水分的吸收,进而影响到茎干形成层细胞膨压的升高,抑制了细胞的伸长生长^[40],通过上述生理作用,土壤温度成为了限制华北落叶松树木茎干生长的主导因子。Gruber 等^[41]对奥地利西部的阿尔卑斯山高山林线树种 *Pinus cembra* 的径向生长研究时也有相似的发现,土壤温度控制着树木茎干径向生长的开始,同时其也是影响生长季树木径向生长的主要环境因子。同时,Villalba 等^[42]研究指出高海拔地区树木径向生长对温度的响应在不同地区存在较大差异,这主要与当地的生境条件有关。从表 2 和图 5 可以看出,华北落叶松茎干径向累计变化和净生长量都与土壤含水量呈显著负相关关系,这与通常认为的土壤水分增加,可以增加茎干组织水分含量,有利于树木径向生长的观点相反,分析其原因主要是 6 月初土壤含水量因积雪融水而出现了年内最大值(图 4),随后逐渐降低,而此时树木径向生长正处于活跃期,故两者呈现出了负相关性,其并不存在生态学上的解释意义,为伪相关。

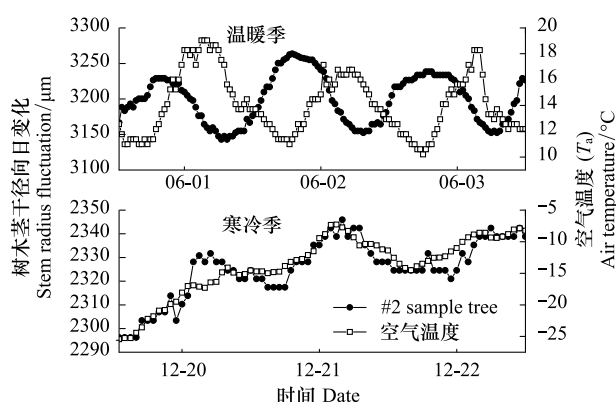


图 6 华北落叶松在温暖季及寒冷季的茎干径向变化

Fig. 6 Stem radial variation of *Larix principis-rupprechtii* and the corresponding air temperature (T_a) in the warm season and cold season

秋季茎干脱水收缩期, 华北落叶松树木茎干径向生长基本停止, 随着空气、土壤温度和土壤含水量的逐渐降低, 树木茎干组织细胞脱水, 树木茎干表现出大幅收缩。Turcotte 等^[43]在研究加拿大魁北克地区北方森林树种 *Picea mariana* 的年内茎干径向变化时, 也观测到了与本研究相一致的现象, 即进入秋季, *Picea mariana* 树木茎干呈现出明显的收缩变化。华北落叶松树木茎干这种大幅脱水收缩是为了避免组织细胞在冬季严寒条件下受到冻害的一种生存策略, 易于树木进入冬季的休眠期^[44]。在此阶段, 偶尔出现的降水会导致树木茎干出现较大的波动变化。

冬季茎干相对稳定期, 华北落叶松树木进入休眠期, 受外界环境条件的影响相对较小, 树木茎干变化主要受空气温度变化的影响, 偶尔出现的空气温度大幅变化会导致树木茎干出现大幅度的波动。土壤温度、土壤含水量虽然与茎干的累积变化呈显著正相关, 但两者并不是因果作用关系。因为进入冬季, 华北落叶松茎干液流基本停止, 处于冻结状态的土壤对树木茎干水分的影响很小, 树木茎干主要受空气温度变化导致的“茎干冻融作用”的影响。

5 结论

(1) 华北落叶松树木茎干日变化存在两种相反的变化模式。在温暖季节, 树木茎干表现为白天脱水收缩与夜间吸水膨胀的循环变化; 在寒冷季节, 树木茎干则表现出夜间收缩和白天膨胀的变化模式, 前者主要是因为空气温度导致树木蒸腾作用强度的日变化使茎干组织水分发生变化, 而后者是空气温度通过热力学原理导致的“茎干冻融作用”。

(2) 华北落叶松年内茎干径向变化存在明显不同的 4 个阶段: 1) 春季茎干水分恢复期, 2) 夏季茎干快速增长期; 3) 秋季茎干脱水收缩期; 4) 冬季茎干相对稳定期。在不同阶段, 与茎干径向变化相关的主导环境因子并不一致。

(3) 土壤温度为生长季(即夏季茎干快速增长期)中控制华北落叶松茎干径向生长的主导因子。

References:

- [1] Wang X P, Zhang L, Fang J Y. Geographical differences in alpine timberline and its climatic interpretation in China. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(6): 871-879.
- [2] Smith W K, Germino M J, Johnson D M, Reinhardt K. The altitude of alpine treeline: a bellwether of climate change effects. *Botanical Review*, 2009, 75(2): 163-190.
- [3] Li M C, Luo T X, Zhu J J, Kong G Q. Advances in formation mechanism of alpine timberline and associated physio-ecological characteristics of plants. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(11): 5583-5591.
- [4] Zhang W T, Jiang Y, Dong M Y, Kang M Y, Yang H C. Relationship between the radial growth of *Picea meyeri* and climate along elevation of the Luyashan Mountain in North-Central China. *Forest Ecology and Management*, 2012, 265: 142-149.
- [5] Dai J H, Shao X M, Cui H T, Ge Q S, Liu H Y, Tang Z Y. Reconstruction of past eco-climate by tree-ring width index of *Larix chinensis* on Mt. Taibai. *Quaternary Sciences*, 2003, 23(4): 428-435.
- [6] Yu D P, Gu H Y, Wang J D, Wang Q L, Dai L M. Relationships of climate change and tree ring of *Betula ermanii* tree line forest in Changbai Mountain. *Journal of Forestry Research*, 2005, 16(3): 187-192.
- [7] Peng J F, Gou X H, Chen F H, Liu P X, Zhang Y, Fang K Y. Climatic response of tree-ring width from alpine treeline in the middle of Anyemaqen Mountains, northeastern Tibetan Plateau, China. *Journal of Beijing Forestry University*, 2006, 28(Suppl 2): 57-63.
- [8] Wang T, Zhang Q B, Ma K P. Treeline dynamics in relation to climatic variability in the central Tianshan Mountains, northwestern China. *Global Ecology and Biogeography*, 2006, 15(4): 406-415.
- [9] Dang H S, Jiang M X, Zhang Q F, Zhang Y J. Growth responses of subalpine fir (*Abies fargesii*) to climate variability in the Qinling Mountain, China. *Forest Ecology and Management*, 2007, 240(1/3): 143-150.
- [10] Chang J F, Wang X P, Zhang X P, Lin X. Alpine timberline dynamics in relation to climatic variability in the northern Daxing'an mountains. *Journal of Mountain Science*, 2009, 27(6): 703-711.
- [11] Fan Z X, Bräuning A, Cao K F, Zhu S D. Growth-climate responses of high-elevation conifers in the central Hengduan Mountains, southwestern China. *Forest Ecology and Management*, 2009, 258(3): 306-313.
- [12] Kang Y X, Liu J H, Sun F F, Dai S F, He X J. Responses of tree ring width of *Larix chinensis* in the regions of alpine timberline in Taibai

- Mountain to climate change. Journal of Northeast Forestry University, 2010, 38(8): 11-13.
- [13] Zhang Y X, Shao X M, Wilmking M. Dynamic relationships between *Picea crassifolia* growth and climate at upper treeline in the Qilian Mts, Northeast Tibetan Plateau, China. Dendrochronologia, 2011, 29(4): 185-199.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] Brække F H, Kozłowski T T. Shrinkage and swelling of stems of *Pinus resinosa* and *Betula papyrifera* in northern Wisconsin. Plant and Soil, 1975, 43(1/3): 387-410.
- [17] Gruber A, Zimmermann J, Wieser G, Oberhuber W. Effects of climate variables on intra-annual stem radial increment in *Pinus cembra* (L.) along the alpine treeline ecotone. Annals of Forest Science, 2009, 66(5): 503-513.
- [18] Biondi F, Hartsough P C. Using automated point dendrometers to analyze tropical treeline stem growth at Nevado de Colima, Mexico. Sensors, 2010, 10(6): 5827-5844.
- [19] Yan H J, Zhou G Y, Zhang D Q, Tang X L, Wang X. Different patterns of changes in the dry season diameter at breast height of dominant and evergreen tree species in a mature subtropical forest in South China. Journal of Integrative Plant Biology, 2006, 48(8): 906-913.
- [20] Li Y Y, Shi H, Zhang A B, Tan H C. Daily changes in radial growth of several tree stems and their response to environmental factors in Loess Hilly Region. Journal of Soil and Water Conservation, 2007, 21(6): 170-173, 196-196.
- [21] 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.
- [22] Xiao S C, Xiao H L, Si J H, Xi H Y. Study on the sub-diurnal radial growth of the *Populus euphratica*. Journal of Glaciology and Geocryology, 2010, 32(4): 816-822.
- [23] Yang Y G, Zhang W T, Ren F P, Wang G R, Dong M Y. Stem radius growth features of *Picea meyeri* and its relationship with environmental factors at the treeline of Luya Mountain. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(12): 6793-6804.
- [24] Jiang Y, Yang Y G, Dong M Y, Zhang W T, Ren F P. Stem radius growth of *Picea meyeri* and *Larix principis-rupprechtii* nearby the tree-line of Luya Mountain. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(6): 1271-1277.
- [25] Zhang J T. Vertical zones of vegetation in Luya Mountain in Shanxi province. Scientia Geographica Sinica, 1989, 9(4): 346-353.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] Zahner R. Internal moisture stress and wood formation in conifers. Forest Products Journal, 1963, 13: 240-247.
- [29] Zweifel R, Häslér R. Frost-induced reversible shrinkage of bark of mature subalpine conifers. Agricultural and Forest Meteorology, 2000, 102(4): 213-222.
- [30] Smallwood M, Bowles D J. Plants in a cold climate. Philosophical Transactions of the Royal Society B, 2002, 357(1423): 831-847.
- [31] Améglio T, Cochard H, Ewers F W. Stem diameter variations and cold hardiness in walnut trees. Journal of Experimental Botany, 2001, 52: 2135-2142.
- [32] Bryan G M, Doolittle W T. A year of growth for a short leaf pine. Ecology, 1950, 31(1): 27-35.
- [33] Savidge R A. Intrinsic regulation of cambial growth. Journal of Plant Growth Regulation, 2000, 20(1): 52-77.
- [34] Kozłowski T T, Pallardy S G. Acclimation and adaptive responses of woody plants to environmental stresses. Botanical Review, 2002, 68(2): 270-234.
- [35] 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.
- [36] Havranek W M. Über die bedeutung der bodentemperatur für die photosynthese und die transpiration junger forstpflanzen und für die stoffproduktion an der waldgrenze. Angewandte Botanik, 1972, 46: 101-116.
- [37] Hansen J, Beck E. Seasonal changes in the utilization and turnover of assimilation products in 8-year-old Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) trees. Trees, 1994, 8(4): 172-182.
- [38] Oribe Y, Funada R, Kubo T. Relationships between cambial activity, cell differentiation and the localization of starch in storage tissues around the cambium in locally heated stems of *Abies sachalinensis* (Schmidt) Masters. Trees, 2003, 17(3): 185-192.
- [39] Körner C. A re-assessment of high elevation treeline positions and their explanation. Oecologia, 1998, 115(4): 445-459.

- [40] Rossi S, Deslauriers A, Anfodillo T. Evidence of threshold temperatures for xylogenesis in conifers at high altitudes. *Oecologia*, 2007, 152(1): 1-12.
- [41] Gruber A, Baumgartner D, Zimmermann J, Oberhuber W. Temporal dynamic of wood formation in *Pinus cembra* along the alpine treeline ecotone and the effect of climate variables. *Trees*, 2009, 23(3): 623-635.
- [42] Villalba R, Boninsegni J A, Veblen T T, Schmelzer A, Rubulis S. Recent trends in tree ring records from high elevation sites in the Andes of northern Patagonia. *Climatic Change*, 1997, 36(3/4): 425-454.
- [43] Turcotte A, Morin H, Krause C, Deslauriers A, Thibeault-Martel M. The timing of spring rehydration and its relation with the onset of wood formation in black spruce. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2009, 149(9): 1403-1409.
- [44] Belyea R M, Fraser D A, Rose A H. Seasonal growth of some trees in Ontario. *The Forestry Chronicle*, 1951, 27(4): 300-305.

参考文献:

- [1] 王襄平, 张玲, 方精云. 中国高山林线的分布高度与气候的关系. *地理学报*, 2004, 59(6): 871-879.
- [3] 李明财, 罗天祥, 朱教君, 孔高强. 高山林线形成机理及植物相关生理生态学特性研究进展. *生态学报*, 2008, 28(11): 5583-5591.
- [5] 戴君虎, 邵雪梅, 崔海亭, 葛全胜, 刘鸿雁, 唐志尧. 太白山树木年轮宽度资料对过去生态气候要素的重建. *第四纪研究*, 2003, 23(4): 429-436.
- [7] 彭剑峰, 勾晓华, 陈发虎, 刘普幸, 张永, 方克艳. 阿尼玛卿山中部高山林线树轮宽度对气候变化的响应. *北京林业大学学报*, 2006, 28(增刊2): 57-63.
- [10] 常锦峰, 王襄平, 张新平, 林鑫. 大兴安岭北部大白山高山林线动态与气候变化的关系. *山地学报*, 2009, 27(6): 703-711.
- [12] 康永祥, 刘婧辉, 孙菲菲, 代栓发, 何小军. 太白山高山林线区太白红杉林年轮宽度对气候变化的响应. *东北林业大学学报*, 2010, 38(8): 11-13.
- [20] 李秧秧, 石辉, 张安邦, 谭红朝. 黄土丘陵区几种林木茎干径向生长的日变化及其对环境因素的响应. *水土保持学报*, 2007, 21(6): 170-173, 196-196.
- [21] 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.
- [22] 肖生春, 肖洪浪, 司建华, 席海洋. 胡杨 (*Populus euphratica*) 径向生长日变化特征分析. *冰川冻土*, 2010, 32(4): 816-822.
- [23] 杨艳刚, 张文涛, 任斐鹏, 王耿锐, 董满宇. 芦芽山林线组成树种白杆径向生长特征及其与环境因子的关系. *生态学报*, 2009, 29(12): 6793-6804.
- [24] 江源, 杨艳刚, 董满宇, 张文涛, 任斐鹏. 芦芽山林线白杆与华北落叶松径向生长特征比较. *应用生态学报*, 2009, 20(6): 1271-1277.
- [25] 张金屯. 山西芦芽山植被垂直带的划分. *地理科学*, 1989, 9(4): 346-353.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 23 December, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Maternal thermoregulation during gestation affects the phenotype of hatchling Chinese skinks (<i>Eumeces chinensis</i>): testing the maternal manipulation hypothesis	LI Hong, ZHOU Zongshi, WU Yanqing, et al (7255)
Effects of conspecific and interspecific interference competitions on cache site selection of Siberian chipmunks (<i>Tamias sibiricus</i>)	SHEN Zhen, DONG Zhong, CAO Lingli, et al (7264)
Characterization of ammonia volatilization from polluted river under aeration conditions: a simulation study	LIU Bo, WANG Wenlin, LING Fen, et al (7270)
Diurnal activity patterns and environmental factors on behaviors of Bar-headed Geese <i>Anser indicus</i> wintering at Caohai Lake of Guizhou, China	YANG Yanfeng, ZHANG Guogang, LU Jun, et al (7280)
Impacts of snow cover change on soil water-heat processes of swamp and meadow in Permafrost Region, Qinghai-Tibetan Plateau	CHANG Juan, WANG Gengxu, GAO Yongheng, et al (7289)
Spatial-temporal changes of urban patch wetlands in Changsha, China	GONG Yingbi, JING Lei, PENG Lei, et al (7302)
Modeling of carbon and water fluxes of Qianyanzhou subtropical coniferous plantation using model-data fusion approach	REN Xiaoli, HE Honglin, LIU Min, et al (7313)
Ecological compensation standard for controlling nitrogen non-point pollution from farmland: a case study of Yixing City in Jiang Su Province	ZHANG Yin, ZHOU Yuchen, SUN Hua (7327)
Static toxicity evaluation of chemical wastewater by PFU microbial communities method	LI Zhaoxia, ZHANG Yuguo, LIANG Huixing (7336)
Emergy evaluation of an agro-circulation system in Beijing suburb: take Jianyan village as a case study	ZHOU Liandi, HU Yanxia, WANG Yazhi, et al (7346)
Research on the cooling effect of Xi'an parks in summer based on remote sensing	FENG Xiaogang, SHI Hui (7355)
The dynamics of spatial and temporal changes to forested land and key factors driving change on Hainan Island	WANG Shudong, OUYANG Zhiyun, ZHANG Cuiping, et al (7364)
Impact of different sowing dates on green water footprint of maize in western Jilin Province	QIN Lijie, JIN Yinghua, DUAN Peili (7375)
The dynamic variation of maize (<i>Setaria italica</i> L.) population growth characteristics under cultivars-intercropped on the Loess Plateau	WANG Xiaolin, ZHANG Suiqi, WANG Shuqing, et al (7383)
Effect of different planting methods on root-shoot characteristics and grain yield of summer maize under high densities	LI Zongxin, CHEN Yuanquan, WANG Qingcheng, et al (7391)
Heavy metal contaminant in development process of artificial biological Soil Crusts in sand-land	XU Jie, AO Yanqing, ZHANG Jingxia, et al (7402)
Effects of enhanced UV-B radiation and nitrogen on photosynthetic pigments and non-enzymatic protection system in leaves of foxtail millet (<i>Setaria italica</i> (L.) Beauv.)	FANG Xing, ZHONG Zhangcheng (7411)
Photosynthetic response of different ecotype of <i>Illicium lanceolatum</i> seedlings to drought stress and rewating	CAO Yonghui, ZHOU Benzhi, CHEN Shuanglin, et al (7421)
Seasonal variations in the stems of <i>Larix principis-rupprechtii</i> at the treeline of the Luya Mountains	DONG Manyu, JIANG Yuan, WANG Mingchang, et al (7430)
Influence of terrain on plant biomass estimates by remote sensing: a case study of Guangzhou City, China	SONG Weiwei, GUAN Dongsheng, WANG Gang (7440)
Effects of exponential fertilization on biomass allocation and root morphology of <i>Catalpa bungei</i> clones	WANG Lipeng, YAN Ziyi, LI Jiyue, et al (7452)
Effects of fire damages on <i>Larix gmelinii</i> radial growth at Tahe in Daxing'an Mountains, China	WANG Xiaochun, LU Yongxian (7463)
A model for water consumption by mountain jujube pear-like	XIN Xiaogui, WU Pute, WANG Youke, et al (7473)
Specificity of photosystems function change of two kinds of overwintering broadleaf evergreen plants	ZHONG Chuanfei, ZHANG Yuntao, WU Xiaoying, et al (7483)

- Effects of drought on fluorescence characteristics of photosystem II in leaves of *Ginkgo biloba* WEI Xiaodong, CHEN Guoxiang, SHI Dawei, et al (7492)
- Numerical classification and ordination of forest communities in habitat of Sichuan Snub-nosed Monkey in Hubei Shennongjia National Nature Reserve LI Guangliang, CONG Jing, LU Hui, et al (7501)
- Impact of inorganic anions on the cadmium effective fraction in soil and its phytoavailability during salinization in alkaline soils WANG Zuwei, YI Liangpeng, GAO Wenyan, et al (7512)
- Photosynthetic adaptability of the resistance ability to weak light of 2 species *Spiraea* L. LIU Huimin, MA Yanli, WANG Baichen, et al (7519)
- Fine root longevity and controlling factors in a *Phoebe Bournei* plantation ZHENG Jinxing, HUANG Jinxue, WANG Zhenzhen, et al (7532)
- Analysis on spatial structure and scenarios of carbon dioxide emissions from tourism transportation XIAO Xiao, ZHANG Jie, LU Junyu, et al (7540)
- The hydrological response to human activities in Guishui River Basin, Beijing LIU Yuming, ZHANG Jing, WU Pengfei, et al (7549)
- Socio-economic impacts of under-film drip irrigation technology and sustainable assessment: a case in the Manas River Basin, Xinjiang, China FAN Wenbo, WU Pute, MA Fengmei (7559)
- Effects of pattern and timing of high temperature exposure on the mortality and fecundity of *Aphis gossypii* Glover on cotton GAO Guizhen, LÜ Zhaozhi, XIA Deping, et al (7568)
- Physiological responses of *Eucalyptus* trees to infestation of *Leptocybe invasa* Fisher & La Salle WU Yaojun, CHANG Mingshan, SHENG Shuang, et al (7576)
- Carbon storage capacity of a *Betula alnoides* stand and a mixed *Betula alnoides* × *Castanopsis hystrix* stand in Southern Subtropical China: a comparison study HE Youjun, QIN Lin, LI Zhiyong, et al (7586)
- Distribution and ecological risk assessment of 7 heavy metals in urban forest soils in Changsha City FANG Xi, TANG Zhijuan, TIAN Dalun, et al (7595)
- Review and Monograph**
- The relationship between humans and the environment at the urban-rural interface: research progress and prospects HUANG Baorong, ZHANG Huizhi (7607)
- Flux footprint of carbon dioxide and vapor exchange over the terrestrial ecosystem: a review ZHANG Hui, SHEN Shuanghe, WEN Xuefa, et al (7622)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究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;新书评介和学术、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 32 卷 第 23 期 (2012 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 23 (December, 2012)

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:1000717	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 70.00 元