

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

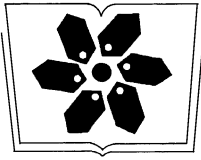
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第5期 Vol.32 No.5 **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 5 期 2012 年 3 月 (半月刊)

目 次

淀山湖富营养化过程的统计学特征	程 曦, 李小平, 陈小华 (1355)
拟水狼蛛对食物中镉的吸收和排泄及生物学响应	张征田, 张光铎, 张虎成, 等 (1363)
接种后共培养时间对丛枝菌根喜树幼苗喜树碱含量的影响	于 洋, 于 涛, 王 洋, 等 (1370)
沙尘暴发生日数与空气湿度和植物物候的关系——以民勤荒漠区为例	常兆丰, 王耀琳, 韩福贵, 等 (1378)
西藏牦牛 mtDNA D-loop 区的遗传多样性及其遗传分化	张成福, 徐利娟, 姬秋梅, 等 (1387)
红松阔叶混交林林隙土壤水分分布格局的地统计学分析	李 猛, 段文标, 陈立新, 等 (1396)
黄土丘陵区子午岭不同植物群落下土壤氮素及相关酶活性的特征	邢肖毅, 黄懿梅, 黄海波, 等 (1403)
毛竹高速生长期土壤碳氮动态及其微生物特性	王雪芹, 张奇春, 姚槐应 (1412)
长期 N 添加对典型草原几个物种叶片性状的影响	黄菊莹, 余海龙, 袁志友, 等 (1419)
接种 AMF 对菌根植物和非菌根植物竞争的影响	张宇亭, 王文华, 申 鸿, 等 (1428)
福州大叶榕隐头果内的小蜂群落结构与多样性	吴文珊, 陈友铃, 蔡美满, 等 (1436)
不同生境朝鲜淫羊藿生长与光合特征	张永刚, 韩 梅, 韩忠明, 等 (1442)
基于日均温度的华山松径向生长敏感温度研究	封晓辉, 程瑞梅, 肖文发, 等 (1450)
长江三峡库区蝶类群落的等级多样性指数	马 琦, 李爱民, 邓合黎 (1458)
甜瓜幼苗叶片光合变化特性	韩瑞锋, 李建明, 胡晓辉, 等 (1471)
双季稻田种植不同冬季作物对甲烷和氧化亚氮排放的影响	唐海明, 肖小平, 帅细强, 等 (1481)
古尔班通古特沙漠西部地下水位和水质变化对植被的影响	曾晓玲, 刘 彤, 张卫宾, 等 (1490)
流溪河水库颗粒有机物及浮游动物碳、氮稳定同位素特征	宁加佳, 刘 辉, 古滨河, 等 (1502)
采用本土蔬菜种子替代水藓评价污泥有机腐熟度	刘颂颂, 许田芬, 吴启堂, 等 (1510)
人为营养物质输入对汉丰湖不同营养级生物的影响——稳定 C、N 同位素分析	李 斌, 王志坚, 金 丽, 等 (1519)
流沙湾海草床海域浮游植物的时空分布及其影响因素	张才学, 陈慧妍, 孙省利, 等 (1527)
福寿螺的过冷却研究	赵本良, 章家恩, 罗明珠, 等 (1538)
水稻生育期对褐飞虱和白背飞虱卵巢发育及起飞行为的影响	陈 宇, 傅 强, 赖凤香, 等 (1546)
绿盲蝽越冬卵的耐寒能力	卓德干, 李照会, 门兴元, 等 (1553)
陆桥岛屿环境下社鼠种群数量的估算方法	张 旭, 鲍毅新, 刘 军, 等 (1562)
北京市居民食物消费碳足迹	吴 燕, 王效科, 逯 非 (1570)
社会经济系统磷物质流分析——以安徽省含山县为例	傅银银, 袁增伟, 武慧君, 等 (1578)
内陆河流域试验拍卖水权定价影响因素——以黑河流域甘州区为例	邓晓红, 徐中民 (1587)
专论与综述	
台风对森林的影响	刘 斌, 潘 澜, 薛 立 (1596)
海洋酸化对珊瑚礁生态系统的影响研究进展	张成龙, 黄 晖, 黄良民, 等 (1606)
三种外来入侵斑潜蝇种间竞争研究进展	相君成, 雷仲仁, 王海鸿, 等 (1616)
沉积物生源要素对水体生态环境变化的指示意义	于 宇, 宋金明, 李学刚, 等 (1623)
异化 Fe(III) 还原微生物研究进展	黎慧娟, 彭静静 (1633)
问题讨论	
锡林郭勒盟生态脆弱性	徐广才, 康慕谊, Marc Metzger, 等 (1643)
研究简报	
哥斯达黎加外海夏季表层浮游动物种类组成及分布	刘必林, 陈新军, 贾 涛, 等 (1654)



封面图说: 气候变暖下的北极冰盖——自从 1978 年人类对北极冰盖进行遥感监测以来, 北极冰正以平均每年 8.5% 的速度持续缩小, 每年 1500 亿吨的速度在融化。这使科学家相信, 冰盖缩小的根本原因是全球变暖。北极的冰盖消失, 让更大面积的深色海水暴露出来, 使海水吸收更多太阳热辐射反过来又加剧冰盖融化。由于北极冰的加速融化, 北冰洋的通航已经成为 21 世纪初全球最重要的自然地理事件和生态事件。从这张航片可以看到北极冰缘正在消融、开裂崩塌的现状。

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

DOI: 10.5846/stxb201101180100

封晓辉, 程瑞梅, 肖文发, 王瑞丽, 王晓荣, 刘泽彬. 基于日均温度的华山松径向生长敏感温度研究. 生态学报, 2012, 32(5): 1450-1457.

Feng X H, Cheng R M, Xiao W F, Wang R L, Wang X R, Liu Z B. The critical temperature to Huashan Pine (*Pinus armandi*) radial growth based on the daily mean temperature. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(5): 1450-1457.

基于日均温度的华山松径向生长敏感温度研究

封晓辉^{1,2}, 程瑞梅^{1,*}, 肖文发¹, 王瑞丽¹, 王晓荣^{1,3}, 刘泽彬¹

(1. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 国家林业局森林生态环境重点实验室, 北京 100091;

2. 中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心, 石家庄 050021; 3. 湖北省林业科学研究院, 武汉 470039)

摘要: 树干木质部形成周期与温度密切相关, 存在影响形成层活动的敏感温度, 但是尚未研究尝试从树木年轮中探索影响径向生长的敏感温度。华山主峰的华山松径向生长对气候变化较敏感, 且华山西峰的气象站记录了 1953 年以来气象资料, 这为探索树木径向生长与温度的关系提供了宝贵的材料。以华山主峰的华山松年轮资料和日值温度资料为基础, 通过分析历年日平均温度的变化过程和年轮宽度、早材宽度、晚材宽度、最小密度以及最大密度的相关性, 尝试探索华山松径向生长与日均温度变化的关系。结果表明春季一定温度的初日时间对华山松径向生长有较大的影响, 其中 3 °C 和 8 °C 初日时间和持续时间对年轮宽度的促进作用最明显, 而 3 °C 对早材宽度影响较大, 8 °C 初日时间对晚材的影响较大; 高于 11 °C 的温度会对华山松的径向生长造成限制, 其中以 11 °C 的作用最明显; 而温度的终日时间对年轮特征影响较小。说明 3 °C 是早材形成的敏感温度, 8 °C 是晚材形成的敏感温度, 温度高于 11 °C 会对华山松的径向生长构成胁迫。这证明华山松年轮特征中包含了较多的气候信息, 形成层活动和木质部的生长存在阈值温度, 通过分析不同温度的生长期与年轮特征的关系可以找到影响华山松径向生长的敏感温度。这些敏感的温度是通过什么生理过程影响木质部的形成尚无法得知, 但是这为解释树木生长对全球温度升高的响应以及利用华山松年轮重建历史气候提供了重要依据。

关键词: 华山松; 年轮; 日均温度; 初日时间; 终日时间; 持续时间

The critical temperature to Huashan Pine (*Pinus armandi*) radial growth based on the daily mean temperature

FENG Xiaohui^{1,2}, CHENG Ruimei^{1,*}, XIAO Wenfa¹, WANG Ruili¹, WANG Xiaorong^{1,3}, LIU Zebin¹

1 Key Laboratory of Forest Ecology and Environment, the State Forestry Administration; Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

2 The Center for Agricultural Resources Research, Institute of Genetics and Developmental Biology of Chinese Academy of Sciences, Shijiazhuang 050021, China

3 Hubei Academy of Forestry, Wuhan 470039, China

Abstract: Tree rings provide a record of radial growth throughout a tree's life, so much information can be obtained from tree rings. Many studies have been undertaken to study the relationship between tree rings and monthly temperature, but few have focused on the relationship with daily temperature. Although the phenology of stem xylem development and temperature are closely related, many studies indicate that threshold temperatures determine the beginning of cambial activity in spring, but few have attempted to explore the temperatures impacting on radial growth from tree rings. Radial growth of Huashan pine on the Huashan peaks was sensitive to climate change and was mainly limited by water supply in early summer and temperature in spring. In addition, thermal conditions were also a limited factor at this high-altitude site.

基金项目: 国家林业局林业公益性行业专项(200804001)

收稿日期: 2011-01-18; 修订日期: 2011-06-07

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: chengrm@caf.ac.cn

In this study, tree ring chronology of Huashan pine and climate data recorded at a nearby weather station were used to investigate the relationship between radial growth of Huashan pine and daily mean temperature. The onset date, end date, duration and the cumulative temperature from different initial temperatures were calculated. Correlations between the changes in daily mean temperature over 36 years and the ring width, early-wood width, late-wood width, minimum density and maximum density were analyzed. The onset date of a specific temperature in spring significantly impacted the radial growth of Huashan pine. The onset date and duration of 3 °C and 8 °C were significantly negatively correlated with ring width, which indicated that the earlier onset date would promote growth in ring width. Early-wood width was sensitive to the onset date of 3 °C, while late-wood width was more sensitive to the onset date of 8 °C. However, temperatures higher than 11 °C limited the ring width both of early-wood and late-wood, and the most obvious temperature was 11 °C. The end date of 10 °C and lower temperatures were little related to ring width. The duration of 3 °C and 8 °C were also significantly positively associated with ring width. Ring density and width responded similarly to changing temperature. These results indicated 3 °C was the threshold temperature for early-wood formation in spring, 8 °C was critical for formation of late wood, but daily temperatures higher than 11 °C may cause water stress, which negatively affected radial growth. Collectively, the results indicated the tree ring chronology of Huashan pine contained abundant climate information, and that threshold temperatures determined the growth of Huashan pine xylem and cambial activity. By analyzing the relationship between growth phases at different temperatures and ring characteristics, the critical temperatures influencing radial growth of Huashan pine could be identified. Though the physiological processes corresponding to the critical temperature were unclear, this study provided useful information for understanding the tree growth response to rising temperature and historical climate reconstruction.

Key Words: Huashan Pine; tree ring; daily mean temperature; onset date; ending date; duration

年轮是树木个体生长历史的记录,年轮的宽度和密度与外界环境的变化密切相关^[1-2]。树木年轮特征的年际变化主要受到当地气候的影响,包含有丰富的气候信息,因此利用树木年轮重建历史气候在全球变化中广泛应用^[3]。在干旱地区年轮特征主要受到水分供应的限制,而在热量条件较差的地区温度会成为限制因子^[4],但是水热条件充足的地区生长会受到高温高湿的胁迫^[5]。同时,年轮是形成层周期性分裂形成木质部的结果^[1],木质部的形成具有一定的节律性^[6],研究发现春季形成层开始分生的时间主要受到温度的影响^[7-8],形成层在春季平均温度^[9]或者积温^[10-11]达到一定值之后才开始活动,即形成层活动存在温度阈值。在年轮特征与气候关系的研究中,一般采用月值气候因子,如月均温,月降雨总量等,而在一年中树木生长是连续变化的过程,按照月份进行分析会将树木在一年中的生长过程机械的分开,造成树木年轮中的气候信息不能完全表现出来。因此按照一年中树木生长的规律,依据温度的连续变化过程探索温度对树木径向生长的影响显得非常重要。

邵雪梅等采集了华山主峰 21 棵华山松(*Pinus armandi*)的 34 个树芯建立了 1526 年以来的年表^[12-13],包括年轮的宽度(RW),早材宽度(EWW)、晚材宽度(LWW),最大密度(MaxD),最小密度(MinD)。同时在华山的西峰设有气象站,华山松的生长地点与气象站相距在几百米内,该站的气象资料真实地反应了其生长的气候条件,这为研究华山松生长与气候的关系提供了宝贵的材料。多位学者研究了华山松的生长和气候的关系^[14-16],表明 4 月的温度和 5、6 月的降水是影响华山松径向生长的关键,并重建了秦岭和关中地区近半个世纪的气候波动情况^[13,17],为该地区气候变化的研究提供了重要的资料。但是这些年轮特征中还保留有一定的温度信号,为了进一步挖掘树木年轮中的气候信息,找出影响华山松树年轮特征的敏感温度,解释温度的周年变化对树木生长的影响,本研究利用华山气象站的日值温度资料和华山松年轮资料,分析不同温度的起止时间和持续时间的周年变化与年轮特征的关系,尝试从多年的温度日变化中提取对华山松影响较大的敏感温度,分析不同温度对年轮特征的影响。对理解树木生长对气候变化的响应以及模拟气候变化对树木生长的

影响中将有重要的参考价值。

1 材料和方法

1.1 研究材料

华山位于秦岭东端,地处我国暖温带向北亚热带过渡的半湿润地区,年平均气温 5.9 °C,年均降水量 900 mm,华山主峰主要的森林树种为华山松、油松(*Pinus tabulaeformis*)、白皮松(*Pinus bungeana*)和铁杉(*Pinaceae* spp)等^[12]。本研究采用国际树木年轮数据库(ITRDB)邵雪梅和吴祥定在华山西峰采集的华山松资料经过严格的交叉定年和去趋势建立了华山松年轮宽度(RW)、早材宽度(EWW)、晚材宽度(LWW)、最小密度(MinD)和最大密度(MaxD)的年表^[12-13],5项年轮特征间的关系如表1所示。华山松的采样位于华山海拔2000 m附近的顶峰地区,年表由34个树芯建成,年表起止时间为1526年到1989年。在标准年表(STD)、差值年表(RES)和自回归年表(ARS)中,由于标准年表与温度的相关性较高^[12](图1),故本研究采用标准年表进行分析。华山西峰的气象站(34°29' N,110°05' E,海拔2060 m)记录了1953年以来逐日的气温变化情况,取样研究的华山松生长在气象站附近,气候资料真实地反应了多年来华山松生长的气候条件。一年中温度的日变化如图2所示。

表1 华山松不同年轮特征序列间的相关性

Table 1 The correlation coefficients between different tree ring characters chronologies of Huashan pine

	年轮宽度 RW	早材宽度 EWW	晚材宽度 LWW	最小密度 MinD	最大密度 MaxD
年轮宽度 RW	1				
早材宽度 EWW	0.909 **	1			
晚材宽度 LWW	0.708 **	0.794 **	1		
最小密度 MinD	-0.664 **	-0.589 **	-0.332 *	1	
最大密度 MaxD	0.667 **	0.824 **	0.903 **	-0.460 **	1

* 表示显著水平 $P < 0.05$, ** 表示显著水平 $P < 0.01$

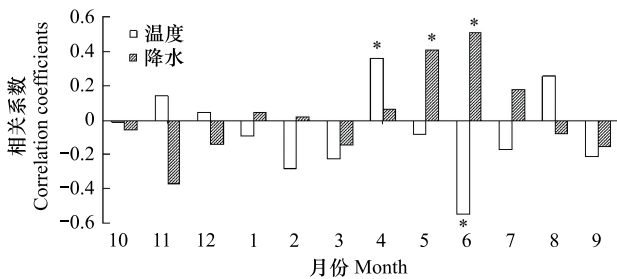


图1 各月温度、降水与年轮宽度指数 STD 年表的相关系数

Fig. 1 The correlation coefficients of STD chronology and monthly temperature and precipitation

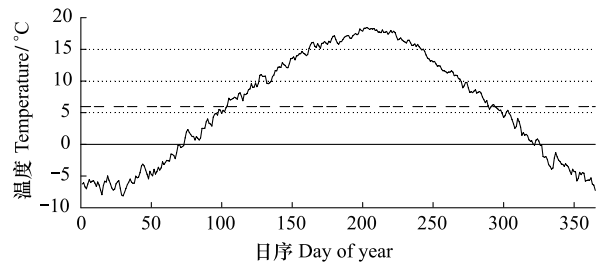


图2 华山气象站累年日均温度的变化

Fig. 2 The annual mean daily temperature of Huashan

1.2 研究方法

1.2.1 日值温度资料处理

在国家气象局中国气象数据共享服务网下载得到华山站 1953—1989 年的日平均温度数据。首先对整年的日均温度进行 5 日滑动平均,确定 5 日滑动平均温度稳定通过某一值的初日时间和结束时间终日时间,同时计算该大于该温度的持续时间以及活动积温。从 0 °C 每间隔 1 °C 计算一次到 15 °C。共得到 1953 年到 1989 年 37a 的 16 个不同起始温度的初日时间、终日时间,持续时间和活动积温的变化序列。表 2 中显示 0—15 °C 的累年平均的初日和终日时间以及持续时间和活动积温。

1.2.2 敏感温度的确定

在 SPSS16.0 利用 Pearson 相关计算 5 项年轮特征指标与初日时间、终日时间、持续时间、活动积温的相

关系系数,分析不同的年轮特征与不同温度的关系。

表 2 华山气象站 1953—1989 年的不同温度的平均初日时间、终日时间和持续时间

Table 2 The mean onset date, ending date and duration of different temperature of Huashan Meteorological Station during 1953—1989

起始温度/℃ Initial temperature	初日时间 Onset day DOY	开始日期 Onset date month-day	终日时间 Ending day DOY	结束日期 Ending date month-day	持续时间 Duration	活动积温 Activity accumulation temperature
0	77.6±9.4	03-19	324.6±11.3	11-20	245.4±15.1	2789.1±144.9
1	81.0±10.7	03-22	321.2±11.0	11-17	238.6±14.5	2774.8±151.8
2	87.0±10.5	03-27	317.9±10.8	11-12	229.3±15.5	2054.6±153.8
3	91.5±10.7	04-02	311.6±12.5	11-07	218.5±14.8	1897.3±259.1
4	94.8±9.9	04-05	307.3±14.1	11-03	210.9±15.9	1763.2±184.9
5	102.7±11.0	04-12	300.1±14.8	10-27	195.8±17.2	1573.5±174.0
6	107.6±10.9	04-17	294.4±15.2	10-21	185.2±17.5	1342.8±247.8
7	111.5±10.9	04-22	289.3±14.3	10-16	176.2±16.3	1136.9±250.2
8	117.7±9.7	04-27	280.4±11.3	10-07	162.7±13.6	2741.6±156.2
9	124.9±9.6	05-05	274.7±10.4	09-30	149.8±13.5	2699.8±156.6
10	130.2±9.6	05-10	268.5±10.1	09-26	138.3±12.8	2655.4±165.5
11	136.2±10.5	05-16	262.1±18.0	09-18	125.9±17.4	2572.1±171.1
12	142.7±10.3	05-22	258.2±10.5	09-15	115.5±15.3	2498.4±170.7
13	149.3±9.7	05-28	251.3±9.3	09-08	102.0±12.8	2422.5±177.4
14	156.5±10.1	06-06	242.3±10.5	08-30	85.9±16.5	2309.9±162.8
15	165.3±12.5	06-14	239.2±10.2	08-26	73.9±15.0	2186.2±171.2

2 结果与分析

2.1 不同温度的初日时间与年轮特征的关系

初日时间越早其在一年中的位序 DOY 越小,因此与初日时间负相关表明初日时间越早会对某项指标有促进作用(表 3)。总体上,0—10℃的初日时间越早对径向生长的促进作用越大,11—15℃的温度初日时间越早对径向生长的限制作用越大。其中 3、4℃和 8℃初日时间对径向生长的促进作用最明显。3、4℃的初日时间对早材宽度的影响要大于年轮宽度,而对晚材的影响不大,对最大密度和最小密度的影响也不显著;8℃初日时间对径向生长的促进作用最显著,对年轮宽度、晚材宽度、最小密度和最大密度都有显著影响,唯独与早材宽度的相关性不显著,且 8℃与年轮宽度的负相关系数最高,为-0.444,其初日时间越早对年轮宽度的促进作用最大。11℃的初日时间对径向生长的限制作用较显著,对 5 项特征都有显著的影响,其中对最大密度的影响极显著。12℃的初日时间对年轮特征的影响与 11℃一致,只是对最小密度的影响不显著。13、14℃的初日时间对年轮特征的作用与 11、12℃相似,但是显著性较低;15℃的初日时间与年轮宽度、早材宽度和晚材宽度的正相关性极显著,但对密度的影响要小于对宽度的影响。说明 3、4℃的初日时间通过作用于早材宽度影响年轮宽度,8℃的初日时间主要影响晚材宽度进而影响年轮宽度,同时也对年轮的密度有很大影响。而 11℃之上温度的初日时间不仅限制年轮的宽度且对密度的影响也较大,而 11、12℃和 15℃的限制作用最明显。

2.2 不同温度的终日时间与年轮特征的关系

与初日时间不同的是,终日时间越迟,DOY 越大,与终日时间正相关说明终日时间迟会对径向生长有促进作用。不同温度的终日时间与初日时间对径向生长的作用相似,较低温度终日时间迟对华山松径向生长有促进作用,而较高温度的终日时间迟对华山松的径向生长不利(表 3)。低于 11℃温度的终日时间对各项年轮特征影响不明显,其中 7℃的终日时间与年轮宽度正相关最大,但是相关性不显著,只有 0℃终日时间与最大密度有显著负相关。11℃终日时间与年轮宽度呈显著负相关,但是 15℃终日时间与年轮宽度显著正相关。12、14℃的终日时间与晚材宽度显著负相关。总体上,终日时间对晚材宽度的影响大于早材宽度,对最

大密度的影响大于最小密度。温度的终日时间对华山松年轮特征的影响要小于初日时间(表3)。

表3 华山松径向生长和不同温度的开始、终日时间的相关系数

Table 3 The correlation coefficient between the width and density chronology of the Huanshan pine to different temperature' onset and ending date

起始温度/°C T_1	初日时间 Onset date					终日时间 Ending date				
	宽度 RW	早材宽度 EWW	晚材宽度 LWW	最小密度 MinD	最大密度 MaxD	宽度 RW	早材宽度 EWW	晚材宽度 LWW	最小密度 MinD	最大密度 MaxD
0	-0.035	-0.007	-0.099	0.064	-0.04	-0.031	-0.158	-0.277	-0.037	-0.328 *
1	-0.118	-0.086	-0.146	0.108	-0.044	-0.023	-0.100	-0.159	-0.150	-0.208
2	-0.176	-0.145	-0.026	0.127	0.048	0.024	-0.072	0.066	-0.110	0.000
3	-0.310 *	-0.345 *	-0.193	0.106	-0.125	0.112	0.079	0.186	-0.264	0.182
4	-0.305 *	-0.335 *	-0.216	0.096	-0.186	0.044	0.014	0.028	-0.169	0.007
5	-0.209	-0.063	-0.140	0.257	-0.099	-0.166	-0.107	0.029	-0.041	-0.013
6	-0.064	0.116	-0.134	0.084	-0.021	0.090	0.175	0.238	-0.183	0.211
7	-0.132	0.029	-0.055	0.128	-0.037	0.249	0.227	0.142	-0.129	0.126
8	-0.444 **	-0.270	-0.318 *	0.325 *	-0.299 *	0.045	0.168	0.061	-0.049	0.071
9	-0.261	-0.059	-0.163	-0.013	-0.151	0.058	0.230	0.053	0.029	0.095
10	-0.212	-0.078	-0.203	0.142	-0.122	-0.111	-0.028	-0.026	0.125	-0.073
11	0.327 *	0.380 *	0.322 *	-0.294 *	0.445 **	-0.311 *	-0.249	-0.194	0.185	-0.239
12	0.308 *	0.383 *	0.344 *	-0.230	0.487 **	-0.201	-0.225	-0.296 *	-0.016	-0.274
13	0.333 *	0.265	0.185	-0.301 *	0.175	-0.066	-0.064	-0.204	-0.262	-0.088
14	0.194	0.195	0.190	0.027	0.087	-0.100	-0.225	-0.397 **	0.039	-0.272
15	0.450 **	0.450 **	0.462 **	-0.155	0.367 *	0.296 *	0.185	0.029	-0.284	0.112

$n = 36$, * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

2.3 不同温度的持续时间与年轮特征的关系

不同温度的持续时间对年轮的影响印证了初日时间对华山松径向生长影响。与温度初日时间相似, 11 °C 以下温度的持续时间与华山松年轮宽度主要为正相关, 但是在 11 °C 以上对年轮宽度的影响却相反(表4)。其中 3 °C 和 8 °C 的持续时间与年轮特征的相关性最显著, 在 5 项年轮特征中只有最大密度与 3 °C 持续时间正相关性不显著。11 °C 的持续时间对年轮宽度的限制作用最强, 相关指数为 -0.400, 显著负相关。大于 12 °C 的生长期对晚材的宽度和密度的影响最大。低温的持续时间对早材的作用大于晚材, 对最小密度的作用大于最大密度, 而高温的持续时间却恰恰相反。

2.4 不同温度的活动积温与年轮特征的关系

活动积温表示一定温度期限内的热量的积累, 表示某地热量条件的指标。1—10 °C 的活动积温对年轮特征的影响不显著, 而 11—15 °C 的活动积温对径向生长的限制作用较大, 特别是与晚材宽度负相关最明显(表4)。11 °C 的活动积温对年轮宽度的限制最大, 表明高于 11 °C 的天数越多, 对径向生长越不利。而 12 °C 的活动积温对晚材的宽度和密度作用最强。在 5 项年轮特征中, 活动积温对晚材宽度的限制最大。这说明华山松径向生长主要受到生长季节较高温度胁迫影响。

3 讨论

3.1 不同温度的初日、终日和持续时间对年轮的影响

研究发现春季木质部开始形成的时间与温度相关而受到降水的影响较小^[7], 这主要是由于树木的形成层在春季结束休眠受到植物激素的调控, 而此时植物激素的浓度主要受到外界气温的影响^[18], 春季平均温度或某一温度的有效积温超过一定值以后形成层才开始活动^[9,11]。华山松径向生长对 4 月的平均温度较敏感, 同样油松 (*Pinus tabulaeformis*)、红松 (*Pinus koraiensis*) 的径向生长都与春季的温度有显著的正相关^[19-20]。在生长结束前的很长时间形成层已经停止分生, 径向生长主要是由于木质部细胞的增大和细胞壁的增厚。形成层

的休眠时间却不受温度的影响^[18],因此一定温度的终日时间对华山松的年轮宽度影响不显著,而初日时间对华山松年轮特征的影响要大终日时间。

表 4 华山松径向生长和不同温度的生长期、活动积温的相关系数

Table 4 The correlation coefficients between the width and density chronology of the Huanshan pine to different temperature' duration

起始温度/°C T_1	持续时间 Length of growing season					活动积温 Actively accumulate temperature				
	宽度 RW	早材宽度 EWW	晚材宽度 LWW	最小密度 MinD	最大密度 MaxD	宽度 RW	早材宽度 EWW	晚材宽度 LWW	最小密度 MinD	最大密度 MaxD
0	0.005	-0.108	-0.121	-0.077	-0.204	-0.078	-0.175	-0.158	-0.002	-0.158
1	0.083	0.001	0.01	-0.198	-0.111	0.011	-0.089	-0.074	-0.066	-0.128
2	0.154	0.068	0.062	-0.169	-0.038	0.072	-0.029	-0.017	-0.087	-0.066
3	0.359 *	0.365 *	0.312 *	-0.296 *	0.250	0.160	0.111	0.128	-0.142	0.112
4	0.247	0.239	0.171	-0.220	0.132	0.069	-0.002	0.007	-0.099	-0.010
5	0.039	-0.028	0.124	-0.220	0.065	-0.030	-0.139	0.023	-0.109	-0.020
6	0.115	0.040	0.277	-0.198	0.171	-0.006	-0.109	0.088	-0.054	0.039
7	0.270	0.127	0.137	-0.187	0.113	0.119	-0.013	-0.034	-0.042	-0.008
8	0.404 **	0.363 *	0.313 *	-0.309 *	0.306 *	0.171	0.116	0.061	-0.125	0.089
9	0.244	0.270	0.169	0.038	0.202	-0.001	-0.009	-0.065	0.145	-0.023
10	0.065	0.033	0.121	-0.007	0.030	-0.178	-0.223	-0.149	0.110	-0.188
11	-0.400 **	-0.389 **	-0.319 *	0.296 *	-0.421 **	-0.474 **	-0.493 **	-0.438 **	0.301 *	-0.477 **
12	-0.331 *	-0.394 **	-0.421 **	0.129	-0.493 **	-0.391 **	-0.464 **	-0.499 **	0.129	-0.493 **
13	-0.301 *	-0.248	-0.290 *	0.037	-0.197	-0.324 *	-0.309 *	-0.381 *	0.052	-0.227
14	-0.190	-0.279 *	-0.397 **	0.011	-0.245	-0.210	-0.278	-0.384 *	0.048	-0.222
15	-0.222	0.293 *	-0.403 **	-0.039	-0.264	-0.170	-0.234	-0.316 *	-0.058	-0.176

$n = 36$, * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

在不同起始温度的初日时间、持续时间和活动积温的分析中,3 °C 和 8 °C 对生长的促进作用最明显。邵雪梅的研究表明 4 月的温度对年轮宽度、最大密度和最小密度有显著影响^[12],3 °C 的平均初日时间为 4 月 2 日,8 °C 的平均初日时间是 4 月 27 日,两个敏感温度的初日时间分别在月初和月末,这很好的印证了邵雪梅的研究,从生长温度的角度解释了 4 月份温度和年轮特征显著相关的原因。在不同起始温度的初日时间、持续时间和活动积温的分析中不难发现,11 °C 是一个转折点,11 °C 平均初日时间是 5 月中旬,此时雨季还没有到来,正是干旱容易发生的时期,若此时有降雨发生会对华山松的径向生长促进作用很大,而降雨伴随的低温会使 11 °C 的初日时间延迟,若此时持续的干旱伴随的高温天气会导致 11 °C 的初日时间提早对年轮宽度以及其他的年轮特征都有限制作用,这使得 11 °C 的初日时间与年轮宽度正相关。5 月的平均温度为 11.7 °C,日均温度从 8 °C (4 月 27 日)升高到了 13 °C (5 月 28 日),11 °C 的开始时间约为 5 月 16 日,由于 11 °C 是转折点造成了 5 月的温度与年轮宽度的关系不明显,而只有降水对年轮宽度的促进作用较显著。

从形成层在一年中的活动周期看,春季开始后活力最旺盛,分生木质部的能力最强,所形成的木质部管胞数量多且直径大,而随着时间推移,形成层的活动能力逐渐减弱,对应的木质部管胞数量少且直径小^[21],而管胞的大小直接影响到年轮的密度。在开始活动的后的 2 个月内形成了 65%—80% 的年轮宽度^[22]。温带地区形成一个成熟的早材管胞要 2—3 周,而形成一个成熟的晚材管胞要 2 个月^[23]。从外界环境对年轮密度的影响看,土壤水分对密度的影响较大^[24],在水分供应充足时期,对应的年轮密度会减小,而环境较为恶劣时密度相应要增加^[25]。最小密度越小说明生长的速率越快,而最大密度与年轮宽度正相关,因此五项年轮特征中除最小密度和年轮宽度负相关以外其他 3 项都与年轮宽度正相关。

3.2 敏感温度

一般认为温度高于 5 °C 针叶树种就会有光合作用,在本研究中采用的是日均温度,在华山主峰,日均温度高于 3 °C 后可能是土壤可能解冻的敏感温度,与此同时日均温度 3 °C 当日的最高温度要高于 5 °C,如 1965 年

3 ℃的初日时间为4月7日,当日最高温度8.0 ℃,最低温度0.1 ℃,华山松树干茎流开始加速,针叶光和作用开始加速,光和产物开始积累,因此可以把3 ℃日均温度看作是华山松春季光合作用开始的温度,光和作用开始的时间越早对当年的径向生长越有利。而尹训刚对华山松的生长模拟中采用日均温度5 ℃为华山松光合作用的起始温度进行模拟^[16],可能导致其模拟的生长结果会有所偏差。

欧洲和北美的10种针叶树种形成层开始活动的温度是8.4 ℃^[26-27],意大利高山地区的欧洲白皮松(*Pinus leucodermis*)的木质部开始形成的平均温度为8.2 ℃^[9],阿尔卑斯山区的针叶树种木质部开始形成的阈值温度为5.6—8.5 ℃^[28],加拿大北方针叶林的黑云杉(*Picea mariana*)木质部形成层活动的温度平均9.8 ℃,这与第二个敏感温度接近,8 ℃可能是木质部形成层活动的敏感温度。但是华山松是常绿树种,老的针叶在新针叶长出来之前已经开始了光合作用,新叶长出后光合作用会加速,促进树木的径向生长,8 ℃也可能是新叶生长的敏感温度。现有的资料尚不能证明8 ℃是木质部开始形成还是针叶长出的敏感温度。

从针叶树种的木质部的形成规律看,春季形成层开始活动后要经过三周时间最早形成的木质部细胞才能成为成熟的早材,期间新分生的细胞要经过径向和长度的生长,细胞壁的增厚和木质化最终形成成熟的管胞^[23]。假设3 ℃是光合作用开始的温度,8 ℃是木质部开始形成的温度,在光合作用开始一段时间后,树干木质部才开始生长,生长之前的光和产物积累对早材的影响较大,这很好的解释3 ℃对早材的影响,但不好解释8 ℃对早材宽度和晚材宽度的影响。

研究证明当年生针叶的萌发主要受到温度的影响,春季温度达到一定温度并达到一定的积温之上新叶才会长出^[29-30],而新叶的长出早晚影响当年的光合作用产物积累,假设8 ℃是新叶长出的敏感温度,新叶长出后的光合作用对当年的晚材生长影响较大,对结果的解释较合理。但是这样的解释都没有经过试验来证明,因此对敏感温度的解释不能下定论,需要利用树干新形成木质部的细胞数量和对应的时间来研究温度变化和树木形成层活动物候期的关系才能证明。

4 结论

以往的研究表明,华山松年轮生长主要受到初夏降水和春季温度的影响,本研究从连续变化的日均温度入手,尝试探寻不同的温度对华山松年轮特征的影响。春季的3 ℃和8 ℃是华山松径向生长的敏感温度,开始时间越早对径向生长的促进作用越大,其中度3 ℃对早材宽度的促进作用较显著,8 ℃对晚材宽度的促进作用显著;高于11 ℃的持续时间对年轮宽度的限制作用较显著;温度的终日时间对年轮宽度的影响不明显。这是由于春季华山松树干形成层开始活动的时间和木质部开始形成以及新叶的长出的时间都受到温度的控制,而在夏季较高温度伴随水分胁迫限制当年的径向生长。本研究从具体温度解释了4月温度与年轮宽度正相关而与6月温度负相关的原因,找出了春季华山松木质部形成的敏感温度,但是敏感温度对应的生理过程尚无法得知。

需要指出的是,华山松年轮中包含有较多的温度信息,特别是春季8、11 ℃的初日时间和持续时间,可尝试来进行历史气候重建。华山松生长的敏感温度的确定在理解树木对气候变化的影响以及模拟气候变化对树木生长的影响中将有重要的参考价值。在未来气候增温的条件下,华山松的春季径向生长会提早开始,同时夏季高温对其生长的胁迫将会加剧,温度升高对华山松的径向生长影响要与降水格局的变化结合才能确定。

References:

- [1] Smith K T. An organismal view of dendrochronology. *Dendrochronologia*, 2008, 26(3): 185-193.
- [2] Fritts H C. *Tree Rings and Climate*. London: Academic Press, 1976: 258-270.
- [3] Cook E R, Kairiukstis L A. *Methods of Dendrochronology: Applications in Environmental Science*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1990: 104-123.
- [4] Adams H D, Kolb T E. Tree growth response to drought and temperature in a mountain landscape in northern Arizona, USA. *Journal of Biogeography*, 2005, 32(9): 1629-1640.
- [5] Hou A M, Zhou G Y, Peng S L. Relationship between climatic factors and radial growth of *Pinus massoniana* in Dinghushan Mountain. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(4): 637-639.

- [6] Deslauriers A, Giovannelli A, Rossi S, Castro G, Fragnelli G, Traversi L. Intra-annual cambial activity and carbon availability in stem of poplar. *Tree Physiology*, 2009, 29(10): 1223-1235.
- [7] 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.
- [8] Čufar K, Prislan P, de Luis M, Gričar J. Tree-ring variation, wood formation and phenology of beech (*Fagus sylvatica*) from a representative site in Slovenia, SE Central Europe. *Trees-Structure and Function*, 2008, 22(6): 749-758.
- [9] Deslauriers A, Rossi S, Anfodillo T, Saracino A. Cambial phenology, wood formation and temperature thresholds in two contrasting years at high altitude in southern Italy. *Tree Physiology*, 2008, 28(6): 863-871.
- [10] Seo J W, Eckstein D, Jalkanen R, Rickebusch S, Schmitt U. Estimating the onset of cambial activity in Scots pine in northern Finland by means of the heat-sum approach. *Tree Physiology*, 2008, 28(1): 105-112.
- [11] Begum S, Nakaba S, Oribe Y, Kubo T, Funada R. Cambial sensitivity to rising temperatures by natural condition and artificial heating from late winter to early spring in the evergreen conifer *Cryptomeria japonica*. *Trees-Structure and Function*, 2010, 24(1): 43-52.
- [12] Shao X M, Wu X D. Tree-ring chronologies for *Pinus armandi* Franch from Huashan, China. *Acta Geographica Sinica*, 1994, 49(2): 174-181.
- [13] Hughes M K, W X D, S X M, Garfin G M. A preliminary reconstruction of rainfall in north-central China since A. D. 1600 from tree-ring density and width. *Quaternary Research*, 1994, 42(1): 88-99.
- [14] Wu X D, Shao X M. A preliminary analysis on response of tree-ring density to climate in the Qining Mountains of China. *Journal of Applied Meteorological Science*, 1994, 58(2): 253-256.
- [15] Wu X D, Shao X M. A study on the reliability of tree-ring data-an example of Huashan pine from Shaanxi. *Progress in Geography*, 1997, 16(1): 54-59.
- [16] Yin X G, Wu X D. Modelling analysis of Huashan pine growth response to climate. *Journal of Applied Meteorological Science*, 1995, 49(3): 257-264.
- [17] Liu G B, Shao X M, Huang L. Reconstruction of early-summer drought indices in mid-north region of China after 1500 using tree ring chronologies. *Quaternary Sciences*, 2002, 22(3): 220-229.
- [18] Druart N, Johansson A, Baba K, Schrader J, Sjödin A, Bhalerao R R, Resman L, Trygg J, Moritz T, Bhalerao R P. Environmental and hormonal regulation of the activity-dormancy cycle in the cambial meristem involves stage-specific modulation of transcriptional and metabolic networks. *The Plant Journal*, 2007, 50(4): 557-573.
- [19] Chen Z J, He X Y, Chen W, Sun Y, Zhang C T, Fu Y D, Tian W, Liu T H. Responses of Chinese pine tree ring in Shenyang suburb (Fu Mausoleum) to global temperature fluctuation. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(9): 1945-1952.
- [20] Yin H, Guo P W, Liu H B, Huang L, Yu H M, Guo S Y, Wang F. Reconstruction of the october mean temperature since 1796 at Wuying from Tree Ring Data. *Advances in Climate Change Research*, 2009, 5(1): 18-23.
- [21] Singh N D, Venugopal N. Cambial activity and annual rhythm of xylem production of *Pinus kesiya* Royle ex. Gordon (Pinaceae) in relation to phenology and climatic factors growing in sub-tropical wet forest of North East India. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 2011, 206(3): 198-204.
- [22] Deslauriers A, Morin H, Begin Y. Cellular phenology of annual ring formation of *Abies balsamea* in the Quebec boreal forest (Canada). *Canadian Journal of Forest Research*, 2003, 33(2): 190-200.
- [23] Gindl W, Grabner M, Wimmer R. The influence of temperature on latewood lignin content in treeline Norway spruce compared with maximum density and ring width. *Trees-Structure and Function*, 2000, 14(7): 409.
- [24] 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.
- [25] Eilmann B, Weber P, Rigling A, Eckstein D. Growth reactions of *Pinus sylvestris* L. and *Quercus pubescens* Willd. to drought years at a xeric site in Valais, Switzerland. *Dendrochronologia*, 2006, 23(3): 121-132.
- [26] Rossi S, Deslauriers A, Gričar J, Seo J W, Rathgeber C B, Anfodillo T, Morin H, Levanić T, Oven P, Jalkanen R. Critical temperatures for xylogenesis in conifers of cold climates. *Global Ecology and Biogeography*, 2008, 17(6): 696-707.
- [27] Rossi S, Deslauriers A, Anfodillo T, Carraro V. Evidence of threshold temperatures for xylogenesis in conifers at high altitudes. *Oecologia*, 2007, 152(1): 1-12.
- [28] Arora V K, Boer G J. A parameterization of leaf phenology for the terrestrial ecosystem component of climate models. *Global Change Biology*, 2005, 11(1): 39-59.
- [29] Hannerz M. Evaluation of temperature models for predicting bud burst in Norway spruce. *Canadian Journal of Forest Research*, 1999, 29: 9-19.

参考文献:

- [5] 侯爱敏, 周国逸, 彭少麟. 鼎湖山马尾松径向生长动态与气候因子的关系. *应用生态学报*, 2003, 14(4): 637-639.
- [12] 邵雪梅, 吴祥定. 华山树木年轮年表的建立. *地理学报*, 1994, 49(2): 174-181.
- [14] 吴祥定, 邵雪梅. 中国秦岭地区树木年轮密度对气候响应的初步分析. *应用气象学报*, 1994, 58(2): 253-256.
- [15] 吴祥定, 邵雪梅. 树木年轮资料的可靠性分析——以陕西华山山松为例. *地理科学进展*, 1997, 16(1): 54-59.
- [16] 尹训钢, 吴祥定. 华山松树木年轮对气候响应的模拟分析. *应用气象学报*, 1995, 49(3): 257-264.
- [17] 刘洪滨, 邵雪梅, 黄磊. 中国陕西关中及周边地区近 500 年来初夏干燥指数序列的重建. *第四纪研究*, 2002, 22(3): 220-229.
- [19] 陈振举, 何兴元, 陈玮, 孙雨, 张春涛, 付印东, 田伟, 刘铁红. 沈阳福陵油松年轮对全球性气温波动的响应. *应用生态学报*, 2007, 18(9): 1945-1952.
- [20] 尹红, 郭品文, 刘洪滨, 黄磊, 于宏敏, 国世友, 王芳. 利用树轮重建小兴安岭五营 1796 年以来的温度变化. *气候变化研究进展*, 2009, 5(1): 18-23.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 5 March, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

- Statistical characteristics of eutrophication process in Dianshan Lake CHENG Xi, LI Xiaoping, CHEN Xiaohua (1355)
- Cadmium assimilation and elimination and biological response in *Pirata subpiraticus* (Araneae: Lycosidae) fed on Cadmium diets
..... ZHANG Zhengtian, ZHANG Guangduo, ZHANG Hucheng, et al (1363)
- Effect of co-cultivation time on camptothecin content in *Camptotheca acuminata* seedlings after inoculation with arbuscular
mycorrhizal fungi YU Yang, YU Tao, WANG Yang, et al (1370)
- Relationship between frequency of sandstorms and air humidity as well as plant phenology: a case study from the Minqin desert
area CHANG Zhaofeng, WANG Yaolin, HAN Fugui, et al (1378)
- Genetic diversity and evolution relationship on mtDNA D-loop in Tibetan yaks
..... ZHANG Chengfu, XU Lijuan, JI Qiumei, et al (1387)
- Geostatistical analysis on spatiotemporal distribution pattern of soil water content of forest gap in *Pinus koraiensis* dominated
broadleaved mixed forest LI Meng, DUAN Wenbiao, CHEN Lixin, et al (1396)
- Soil nitrogen and enzymes involved in nitrogen metabolism under different vegetation in Ziwuling mountain in the Loess Plateau,
China XING Xiaoyi, HUANG Yimei, HUANG Haibo, et al (1403)
- Soil carbon, nitrogen and microbiological characteristics during bamboo high-speed growth
..... WANG Xueqin, ZHANG Qichun, YAO Huaiying (1412)
- Effects of long-term increased soil N on leaf traits of several species in typical Inner Mongolian grassland
..... HUANG Juying, YU Hailong, YUAN Zhiyou, et al (1419)
- Influence of arbuscular mycorrhizal associations on the interspecific competition between mycorrhizal and non-mycorrhizal plants
..... ZHANG Yuting, WANG Wenhua, SHEN Hong, et al (1428)
- Structure and biodiversity of fig wasp community inside syconia of *Ficus virens* Ait. var. *sublanceolata* (Miq.) Corner in Fuzhou ...
..... WU Wenshan, CHEN Youling, CAI Meiman, et al (1436)
- Growth and photosynthetic characteristics of *Epimedium koreanum* Nakai in different habitats
..... ZHANG Yonggang, HAN Mei, HAN Zhongming, et al (1442)
- The critical temperature to Huashan Pine (*Pinus armandi*) radial growth based on the daily mean temperature
..... FENG Xiaohui, CHENG Ruimei, XIAO Wenfa, et al (1450)
- The analysis of grade diversity indices of butterfly community in the Three Gorges Reservoir Area of Yangtze River
..... MA Qi, LI Aimin, DENG Heli (1458)
- Research on dynamic characteristics of photosynthesis in muskmelon seedling leaves
..... HAN Ruifeng, LI Jianming, HU Xiaohui, et al (1471)
- Effects of different winter covering crops cultivation on methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O) emission fluxes from double-
cropping paddy field TANG Haiming, XIAO Xiaoping, SHUAI Xiqiang, et al (1481)
- Variations in groundwater levels and quality and their effects on vegetation in the western Grubantonggut Desert
..... ZENG Xiaoling, LIU Tong, ZHANG Weibin, et al (1490)
- Carbon and nitrogen stable isotope characteristics of particulate organic matter and zooplankton in Liuxihe Reservoir
..... NING Jiajia, LIU Hui, GU Binhe, et al (1502)
- Selection of vegetable seeds native in China instead of the cress seed for evaluating the maturity of biosolids
..... LIU Songsong, XU Tianfen, WU Qitang, et al (1510)
- Effects of anthropogenic nutrient input on organisms from different trophic levels in Hanfeng Lake: evidence from stable carbon
and nitrogen isotope analysis LI Bin, WANG Zhijian, JIN Li, et al (1519)
- Temporal and spatial distribution of phytoplankton in Liusha Bay ZHANG Caixue, CHEN Huiyan, SUN Xingli, et al (1527)
- Study on the supercooling of golden apple snail (*Pomacea canaliculata*)
..... ZHAO Benliang, ZHANG Jia'en, LUO Mingzhu, et al (1538)
- The effects of rice growth stages on the ovarian development and take-off of *Nilaparvata lugens* and *Sogatella furcifera*
..... CHEN Yu, FU Qiang, LAI Fengxiang, et al (1546)
- Cold tolerance of the overwintering egg of *Apolygus lucorum* Meyer-Dür (Hemiptera: Miridae)
..... ZHUO Degan, LI Zhaohui, MEN Xingyuan, et al (1553)
- A suggestion on the estimation method of population sizes of *Niviventer confucianus* in Land-bridge island
..... ZHANG Xu, BAO Yixin, LIU Jun, et al (1562)
- The carbon footprint of food consumption in Beijing WU Yan, WANG Xiaoke, LU Fei (1570)
- Anthropogenic phosphorus flow analysis of Hanshan County in Anhui Province
..... FU Yinyin, YUAN Zengwei, WU Huijun, et al (1578)
- A laboratory study of auctions for water rights transactions in inland river basin: a case study of irrigation areas of Heihe river
basin DENG Xiaohong, XU Zhongmin (1587)
- Review and Monograph**
- A review of the effect of typhoon on forests LIU Bin, PAN Lan, XUE Li (1596)
- Research progress on the effects of ocean acidification on coral reef ecosystems
..... ZHANG Chenglong, HUANG Hui, HUANG Liangmin, et al (1606)
- Interspecific competition among three invasive *Liriomyza* species
..... XIANG Juncheng, LEI Zhongren, WANG Haihong, et al (1616)
- Indicative significance of biogenic elements to eco-environmental changes in waters
..... YU Yu, SONG Jinming, LI Xuegang, et al (1623)
- Recent advances in studies on dissimilatory Fe(III)-reducing microorganisms
..... LI Huijuan, PENG Jingjing (1633)
- Discussion**
- Ecological vulnerability research for Xilingol League, Northern China XU Guangcai, KANG Muye, Marc Metzger, et al (1643)
- Scientific Note**
- Spatial distribution and species composition of zooplanktons in the eastern tropical Pacific Ocean off Costa Rica
..... LIU Bilin, CHEN Xinjun, JIA Tao, et al (1654)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,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,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 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 5 期 (2012 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 5 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:1000717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@espg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@espg.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