

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

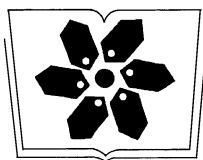
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第8期 Vol.32 No.8 **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 8 期

2012 年 4 月 (半月刊)

目 次

东北地区 5 种阔叶树苗木对火烧的生理响应.....	王 荣, 胡海清 (2303)
梭梭木虱发生规律及其影响因子.....	李粉莲, 吴雪海, 王佩玲, 等 (2311)
基于遥感降尺度估算中国森林生物量的空间分布.....	刘双娜, 周 涛, 舒 阳, 等 (2320)
流域景观格局与河流水质的多变量相关分析.....	赵 鹏, 夏北成, 秦建桥, 等 (2331)
内蒙古达赉湖地区赤狐生境选择及生境景观特征分析.....	张洪海, 李成涛, 窦华山, 等 (2342)
雅鲁藏布江流域底栖动物多样性及生态评价.....	徐梦珍, 王兆印, 潘保柱, 等 (2351)
用组合模型综合比较的方法分析气候变化对朱鹮潜在生境的影响.....	翟天庆, 李欣海 (2361)
2010 年牧区 2 代草地螟成虫迁飞的虫源分析	张 丽, 张云慧, 曾 娟, 等 (2371)
基于细胞色素 b 基因的中国岩羊不同地理种群遗传差异分析.....	李楠楠, 刘振生, 王正寰, 等 (2381)
喀斯特峰丛洼地不同退耕还林还草模式的土壤微生物特性.....	鹿士杨, 彭晚霞, 宋同清, 等 (2390)
永定河沿河沙地杨树人工林生态系统呼吸特征.....	方显瑞, 张志强, 查同刚, 等 (2400)
基于湿地植物光谱的水体总氮估测.....	刘 克, 赵文吉, 郭逍宇, 等 (2410)
背瘤丽蚌 F 型线粒体基因组全序列分析	陈 玲, 汪桂玲, 李家乐 (2420)
流域“源-汇”景观格局变化及其对磷污染负荷的影响——以天津于桥水库流域为例	李崇巍, 胡 婕, 王 飒, 等 (2430)
线虫群落对抚顺煤矸石山周边土壤可溶性盐污染的响应.....	张伟东, 吕 莹, 肖 莹, 等 (2439)
地上竞争对林下红松生物量分配的影响.....	汪金松, 范秀华, 范 娟, 等 (2447)
湿地松和马尾松人工林土壤甲烷代谢微生物群落的结构特征.....	王 芸, 郑 华, 陈法霖, 等 (2458)
马尾松和杉木树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值对气象因子的响应	卢钰茜, 王振兴, 郑怀舟, 等 (2466)
沙坡头人工植被演替过程的土壤呼吸特征.....	高艳红, 刘立超, 贾荣亮, 等 (2474)
豫西刺槐能源林的热值动态.....	谭晓红, 刘诗琦, 马履一, 等 (2483)
铁皮石斛种子的室内共生萌发	吴慧凤, 宋希强, 刘红霞 (2491)
红光与远红光比值对温室切花菊形态指标、叶面积及干物质分配的影响	杨再强, 张继波, 李永秀, 等 (2498)
扑草净对远志幼苗根系活力及氧化胁迫的影响.....	温银元, 郭平毅, 尹美强, 等 (2506)
地表臭氧浓度增加和 UV-B 辐射增强及其复合处理对大豆光合特性的影响	郑有飞, 徐卫民, 吴荣军, 等 (2515)
AMF 对喀斯特土壤枯落物分解和对宿主植物的养分传递	何跃军, 钟章成, 董 鸣 (2525)
传统豆酱发酵过程中细菌多样性动态.....	葛菁萍, 柴洋洋, 陈 丽, 等 (2532)
定位施肥对紫色菜园土磷素状况的影响.....	孙倩倩, 王正银, 赵 欢, 等 (2539)
基于生态需水保障的农业生态补偿标准.....	庞爱萍, 孙 涛 (2550)
保障粮食安全造成的生态价值损失评估模型及应用.....	芦蔚叶, 姜志德, 张应龙, 等 (2561)
专论与综述	
疏浚泥用于滨海湿地生态工程现状及在我国应用潜力.....	黄华梅, 高 杨, 王银霞, 等 (2571)
问题讨论	
厌氧氨氧化菌群体感应系统研究.....	丁 爽, 郑 平, 张 萌, 等 (2581)
基于形态结构特征的洞庭湖湖泊健康评价.....	帅 红, 李景保, 夏北成, 等 (2588)
研究简报	
黄土高原不同树种枯落叶混合分解效应.....	刘增文, 杜良贞, 张晓曦, 等 (2596)
不同经营类型毛竹林土壤活性有机碳的差异.....	马少杰, 李正才, 王 斌, 等 (2603)
干旱对辣椒光合作用及相关生理特性的影响	欧立军, 陈 波, 邹学校 (2612)
硅和干旱胁迫对水稻叶片光合特性和矿质养分吸收的影响	陈 伟, 蔡昆争, 陈基宁 (2620)



封面图说: 红树林粗大的气生根——红树林是热带、亚热带海湾及河口泥滩上特有的常绿灌木或乔木群落。由于海水环境条件特殊, 红树林植物具有一系列特殊的生态和生理特征。其中之一就是气根, 红树从根部长出许多指状的气生根露出海滩地面, 以便在退潮时甚至潮水淹没时用以通气, 故称呼吸根。在中国, 红树林主要分布在海南、广西、广东和福建省沿海, 它一般分布于高潮线与低潮线之间的潮间带, 往往潮差越大, 红树的呼吸根就长得越高越粗大。

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

DOI: 10.5846/stxb201110211564

卢钰茜,王振兴,郑怀舟,朱锦懋. 马尾松和杉木树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值对气象因子的响应. 生态学报, 2012, 32(8): 2466-2473.

Lu Y X, Wang Z X, Zheng H Z, Zhu J M. $\delta^{13}\text{C}$ values of stem phloem water soluble sugars of *Pinus massoniana* and *Cunninghamia lanceolata* response to meteorological factors. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(8): 2466-2473.

马尾松和杉木树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值对气象因子的响应

卢钰茜^{1,2}, 王振兴¹, 郑怀舟^{2,3}, 朱锦懋^{1,2,*}

(1. 福建师范大学生命科学院, 福州 350007; 2. 福建省湿润亚热带山地生态省部共建国家重点实验室培育基地, 福州 350007;

3. 福建师范大学地理研究所, 福州 350007)

摘要:通过测定亚热带马尾松和杉木树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值的连日变化, 及其对天气变化过程的响应, 研究 $\delta^{13}\text{C}$ 值对短期天气变化动态的响应特征。结果显示, 春季马尾松和杉木树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 日均值分别介于 -26.81‰ 到 -26.49‰ 之间, 以及 -29.26‰ 到 -27.47‰ 之间, 平均值分别为 $(-26.58 \pm 0.12)\text{‰}$ 和 $(-28.67 \pm 0.65)\text{‰}$ 。进一步分析表明, 马尾松树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值与取样之前第 4 天的太阳辐射、水气压亏缺、相对湿度和空气温度显著相关 ($P \leq 0.05$), 杉木树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值取样之前第 3 天的太阳辐射、水气压亏缺和相对湿度显著相关 ($P \leq 0.05$), 但与空气温度的相关性不显著 ($P \leq 0.05$)。在所测定的环境因子中, 太阳辐射是影响马尾松和杉木树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值的首要因素。当天降水事件可能导致马尾松和杉木树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值连日变化出现异常波动。马尾松和杉木韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值可以敏感记录短期天气变化动态。

关键词: 韧皮部; 水溶性糖; $\delta^{13}\text{C}$ 值; 针叶树

$\delta^{13}\text{C}$ values of stem phloem water soluble sugars of *Pinus massoniana* and *Cunninghamia lanceolata* response to meteorological factors

LU Yuxi^{1,2}, WANG Zhenxing¹, ZHENG Huaizhou^{2,3}, ZHU Jinmao^{1,2,*}

1 College of Life Science, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China

2 Key Laboratory for Subtropical Mountain Ecology (Ministry of Science and Technology and Fujian Province Funded), Fuzhou 350007, China

3 Institute of Geography, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China

Abstract: The phloem acts as the main pathway of long distance transport and allocation of nutrients, and as a conduit of inter-organ communication in vascular plants. As a carrier of the dynamic photosynthetic and post-photosynthetic carbon isotope fractionation signal, $\delta^{13}\text{C}$ value of stem phloem water soluble sugars can be a reliable indicator of whole canopy stomata conductance (Gs) to reflect plant responses to the environmental variables in the plant canopy. Therefore, quantifying the stable carbon isotope fractionation of stem phloem and the extent such fractionation would be impacted by outer environmental variables is the key to understanding plant stem phloem carbon pool discrimination, and interactions between plants and outer environmental parameters. However, nearly all current studies of phloem carbon isotope fractionation of conifer trees had been limited to only several conifers in temperate forests, and there is little information about the impact of abundant availability of water and light, and higher temperature on different conifer tree species in subtropical monsoon ecosystem. Given the importance of exploring plant responses and adaption to outer environmental

基金项目: 教育部创新团队项目 (IRT0960); 福建省公益类科研院所基本专项资助 (2009R10039-3)

收稿日期: 2011-10-21; **修订日期:** 2012-02-27

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jmzhu@fjnu.edu.cn

variables, there was a need for more studies of phloem stable carbon isotope fractionation of additional plant groups in additional ecosystem. The paper measured $\delta^{13}\text{C}$ value of stem phloem water soluble sugars of *Pinus massoniana* and *Cunninghamia lanceolata* for 6 consecutive days from April 20 to 25, 2011, and related such values to the daily mean solar radiation (S_r), relative humidity (R_h), water vapor pressure deficit (VPD) and air temperature (T_a) calculated on the sampling day and for 1—7 days before the sampling day, meanwhile combining precipitation (PPT) data for further analysis, in order to reveal the day to day dynamics of stable carbon isotope discrimination of newly assimilated photosynthates in *P. massoniana* and *C. lanceolata* stem phloem, and its responses to the studied meteorological factors in subtropics during the spring season. The study showed that the daily mean $\delta^{13}\text{C}$ values of stem phloem water soluble sugars of *P. massoniana* and *C. lanceolata* fluctuated between -26.81‰ and -26.49‰ , and between -29.26‰ and -27.47‰ , with an average of $(-26.58 \pm 0.12)\text{‰}$ and $(-28.67 \pm 0.65)\text{‰}$ respectively. $\delta^{13}\text{C}$ values of stem phloem water soluble sugars of *P. massoniana* was significantly related to daily mean S_r , R_h , VPD and T_a , but with a time lag of 4 days. Except T_a , such values of *C. lanceolata* stem phloem were significantly related to the other three meteorological factors, with a time lag of 3 days. Among environmental variables studied in the paper, S_r had the foremost impact on $\delta^{13}\text{C}$ values of stem phloem water soluble sugars both of two conifer species. Rainfall event on the day of sampling would change the day-to-day dynamic pattern of the $\delta^{13}\text{C}$ value of stem phloem water soluble sugars. The results suggested that $\delta^{13}\text{C}$ values of stem phloem water soluble sugars of *P. massoniana* and *C. lanceolata* can be a sensitive record of short-term weather change, thus helping to understand and predict the impacts of the weather change on stable carbon isotope discrimination of plant phloem water soluble sugars.

Key Words: phloem; water soluble sugars; $\delta^{13}\text{C}$ value; conifers

针叶树的韧皮部是其物质运输和信号传递的主干道^[1-3]。在收集的韧皮部汁液中,绝大部分是水溶性糖^[3-4],韧皮部含有的水溶性糖主要来自新合成的光合同化物,其不但是能量代谢以及合成更加复杂的碳水化合物底物的主要底物,而且可以充当第二信使、调节植物的生长、发育和代谢过程^[5-6]。已有研究表明,树干韧皮部的水溶性糖包含了新同化的碳,其 $\delta^{13}\text{C}$ 值对环境因子和物种差异敏感,可用于反映短期和长期环境变化对植物同化作用的影响^[7-17],而且韧皮部水溶性糖的 $\delta^{13}\text{C}$ 值还包含了从光合作用水平和光合作用之后水平的碳分馏信号^[18-19],整合的是整个植物冠层的 $\delta^{13}\text{C}$ 值信号,能够反映冠层的碳分馏,还可以用来分析植物冠层水平对环境的响应和适应^[9]。

目前大多数的研究认为树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值可以敏感记录天气和气候变化^[7-17],但也有研究发现树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值与其测定的环境因子和生理因子(无直接关系)^[19-20]。目前,关注针叶树树干韧皮部水溶性糖及其 $\delta^{13}\text{C}$ 值的研究只限于温带森林的几个树种,均没有考虑到针叶树在水分光照充足,温度较高的亚热带季风区对环境因子的响应^[7-17, 19-21]。鉴于研究植物对环境因子的响应,以及植物对环境的调节能力和适应性的重要性,需要扩大气候带生态系统以及功能树种的研究范围。据此,本实验选择在水分充沛、光照充足,温度较高的典型亚热带季风性湿润气候区,以中国特有树种马尾松(*Pinus massoniana*)和杉木(*Cunninghamia lanceolata*)为研究对象,连续6d测定两种针叶树树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值,将该值与取样当天和之前1—7d的太阳辐射(S_r)、水汽压亏缺(VPD)、相对湿度(R_h)和空气温度(T_a)进行相关性分析,并结合降雨量(PPT)数据,以此阐明亚热带针叶树种树干韧皮部中的碳库分馏情况,以及短期天气变化是否会对针叶树树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值造成影响,揭示影响针叶树树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化的环境因子,为深入认识稳定碳同位素在韧皮部中分馏情况及其对环境因子的响应奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

研究区位于福建省建瓯万木林自然保护区($26^{\circ}02' \text{N}$, $119^{\circ}18' \text{E}$),属典型的亚热带季风气候区,保护区

2010 年年均气温为 16.1℃, 年均降水量为 1762.5mm, 年均相对湿度为 74%。本实验马尾松 (*Pinus massoniana*) 测试植株 6 株, 杉木 (*Cunninghamia lanceolata*) 测试植株 6 棵, 均位于西南坡, 海拔 387m。马尾松胸径在 34 到 46.4cm 之间, 杉木胸径 26.5 到 33cm 之间。12 棵样树树高介于 19—24m 之间, 生长情况良好, 无病虫害, 树干笔直, 样树分布较为分散, 植株间的距离介于 3—100m 之间。

1.2 气象因子的测定

太阳辐射 (S_r)、相对湿度 (R_h) 和空气温度 (T_a) 采用小型气象站 (ONSET 公司, 美国) 测定, 每隔 15 min 自动记录一次。水气压亏缺 (VPD) 使用空气温度 (T_a) 和相对湿度 (R_h) 计算。降水量 (PPT) 数据由万木林气象站提供。气象因子测定时间从 2011 年 4 月 13 日持续到 4 月 25 日。

1.3 韧皮部取样

采用打孔器 (口径 7mm), 随机在上述 12 棵树树干胸高 (1.3m) 处采集韧皮部圆片样品。每天每棵树采集 3 个韧皮部圆片, 每棵树取样位点尽量互相远离。随后立即使用解剖刀去除遗留在韧皮部圆片样品上的树皮和木质部, 最终获得韧皮部。

取样期间从 2011 年 4 月 20 日开始到 25 日结束, 每天 9:00 开始取样, 10:30 以前取样结束, 持续 6d。

1.4 水溶性糖的提取

马尾松和杉木树干韧皮部中的水溶性糖采用韧皮部渗出法收集^[8, 21], 这一方法可以避免来自形成层的污染^[23]。先使用去离子水冲洗获取的韧皮部样品, 除去取样过程中被破坏的细胞流出的细胞组分; 接着分别将各个韧皮部圆片放入装有 1mL 去离子水的离心管, 在室温下静置 5 h。到时间后, 取出韧皮部圆片, 将渗出液放置在液氮中保存运输^[21]。

1.5 水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值测定

从液氮中取出马尾松和杉木韧皮部渗出液, 在室温条件下解冻, 然后将样品在 11000g 离心 10min^[23], 吸取 20 μL 上清液放入锡囊, 放置在烘箱中, 65℃ 下烘 6h, 最后使用稳定同位素质谱仪测定韧皮部水溶性糖的 $\delta^{13}\text{C}$ 值。同位素值采用 ThermoFinnigan-MAT253 同位素比例质谱仪测定, 整个流程分析误差 $\leq 0.15\%$, 采用尿素标准样 (UREA, $\delta^{13}\text{C} = -49.1\%$) 进行校验, 测定结果相对于 PDB 标准表示为 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$, 简写为 $\delta^{13}\text{C}$, 表达式为^[24]:

$$\delta^{13}\text{C} = [({}^{13}\text{C} / {}^{12}\text{C} \text{ 样品}) / ({}^{13}\text{C} / {}^{12}\text{C} \text{ 标准}) - 1] \times 1000\%$$

1.6 数据处理

使用 SPSS 软件中的单因素方差分析 (One-Way ANOVA), 分别以植株、日期为分类变量, 分析马尾松和杉木两种针叶树种内不同植株以及不同取样日之间韧皮部水溶性糖的 $\delta^{13}\text{C}$ 值的差异。对马尾松和杉木韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值进行配对 t 检验分析种间差异。

对马尾松和杉木树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值与取样当天以及之前 1—7d 的各项气象因子 (太阳辐射、水气压亏缺、相对湿度和空气温度) 进行双变量相关性分析。分析采用的是各项气象因子的日均值。

2 结果与分析

2.1 气象因子动态

测定期间的气象因子动态如图 1 所示。太阳辐射 (S_r) 平均值为 181.41 W/m^2 , 日均最高值出现在 4 月 25 日, 值为 301.13 W/m^2 , 日均最低值出现在 4 月 22 日, 值为 32.28 W/m^2 。水气压亏缺 (VPD) 变化趋势与日均太阳辐射的变化趋势基本一致, 平均值为 0.59, 日均最高值和最低值分别为 1.12 和 0.11。相对湿度 (R_h) 的平均值为 79.75%, 其变化趋势与日均太阳辐射 (S_r) 和日均水气压亏缺 (VPD) 相反, 日均最高值为 94.30%, 而日均最低值为 66.07%。空气温度 (T_a) 平均值为 18.43℃, 日均最高值为 20.89℃, 日均最低值 16.48℃。

4 月 13 日—25 日总降水量 (PPT) 为 34.9mm, 其中 4 月 17 日降水量为 22.5mm。连续 6d 的取样期间, 除 4 月 22 日降水量为 1.8mm 之外, 其余为晴天。

2.2 树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值动态

马尾松树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值 ($\delta^{13}\text{C}_p$) 连日变化动态如图 2 所示,其波动范围介于 -26.69‰ 到 -26.36‰ 之间,平均值为 $(-26.58 \pm 0.12)\text{‰}$, $\delta^{13}\text{C}_p$ 分别在 4 月 20 日和 23 日出现最大值和最小值,两者之差为 0.33‰ 。

杉木树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值 ($\delta^{13}\text{C}_f$) 连日变化动态如图 2 所示,其波动范围比马尾松的宽,介于 -29.26‰ 到 -27.47‰ 之间,平均值为 $(-28.67 \pm 0.65)\text{‰}$,比马尾松 $\delta^{13}\text{C}_p$ 低 2.09‰ 。和马尾松树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值一样,杉木韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值也分别在 4 月 20 日和 23 日出现最大值和最小值,两者之差为 1.79‰ 。比较图 2,可以看出除有下雨的 4 月 22 日外,马尾松和杉木韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值的波动呈现完全相同的变化趋势。

单因素方差分析 (One-Way ANOVA) 显示,马尾松树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值 ($\delta^{13}\text{C}_p$) 不同植株之间差异显著,不同日期之间差异显著;杉木树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值 ($\delta^{13}\text{C}_f$) 不同植株之间差异不显著,但在不同日期之间差异显著。对马尾松和杉木韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值进行配对 t 检验的结果显示,两者之间差异显著。

2.3 树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值与气象因子之间的相关性

本实验将马尾松树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值 ($\delta^{13}\text{C}_p$) 与杉木树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值 ($\delta^{13}\text{C}_f$) 分别与日均太阳辐射 (S_r)、水气压亏缺 (VPD)、相对湿度 (R_h) 和空气温度 (T_a) 进行相关性分析,发现 $\delta^{13}\text{C}_p$ 和 $\delta^{13}\text{C}_f$ 对环境因子能够进行响应,但两者之间存在差异。

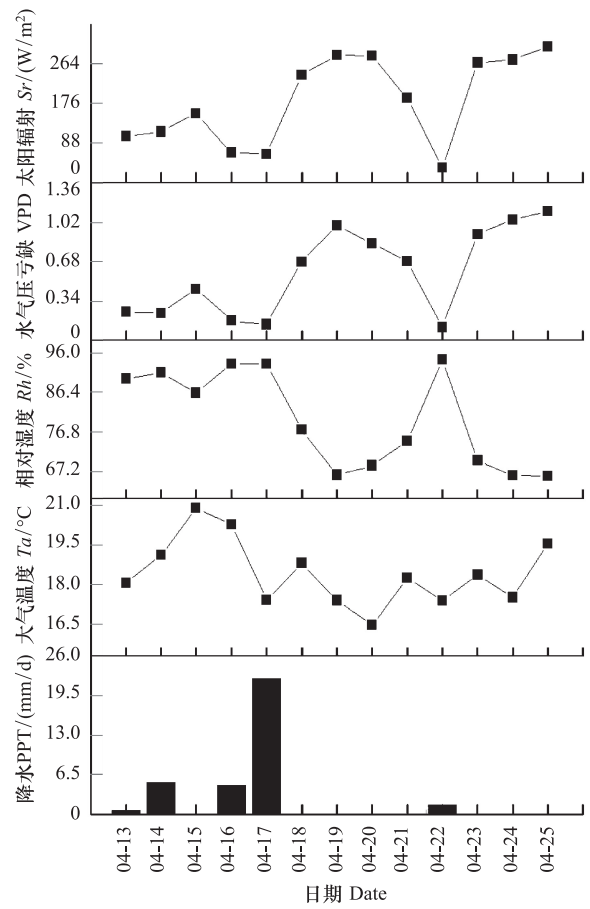


图 1 太阳辐射 (S_r)、水气压亏缺 (VPD)、相对湿度 (R_h)、空气温度 (T_a) 和降水量 (PPT) 的连日变化动态

Fig.1 Day to day dynamics of solar radiation (S_r), water vapor deficit (VPD), relative humidity (R_h), air temperature (T_a) and precipitation (PPT)

表 1 马尾松树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值与取样当天和之前 1—7d 的气象因子的相关分析

Table 1 Correlation analysis between the $\delta^{13}\text{C}$ value of stem phloem water soluble sugars of *P. massoniana* and meteorological factors of the day of sampling and 1—7 days prior to sampling

$\delta^{13}\text{C}_p$	时滞/d							
	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7
太阳辐射 S_r	0.219	0.57	0.402	-0.658	-0.840 *	-0.281	-0.02	0.168
水气压亏缺 VPD	0.039	0.566	0.271	-0.722	-0.814 *	-0.29	-0.07	0.094
相对湿度 R_h	-0.174	-0.586	-0.178	0.753	0.819 *	0.334	0.085	-0.176
空气温度 T_a	-0.452	-0.354	0.538	0.118	0.820 *	0.627	0.201	-0.382

* 在 0.05 水平上显著相关

马尾松树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值与环境因子之间的关系如表 1 所示。 $\delta^{13}\text{C}_p$ 取样之前第 4 天的太阳辐射、水气压亏缺、相对湿度和空气温度均显著相关,相关性按照大小排列是太阳辐射>空气温度>相对湿度>水气压亏缺。 $\delta^{13}\text{C}_p$ 与太阳辐射和水气压亏缺呈显著负相关,而与相对湿度和空气温度之间是显著正相关。

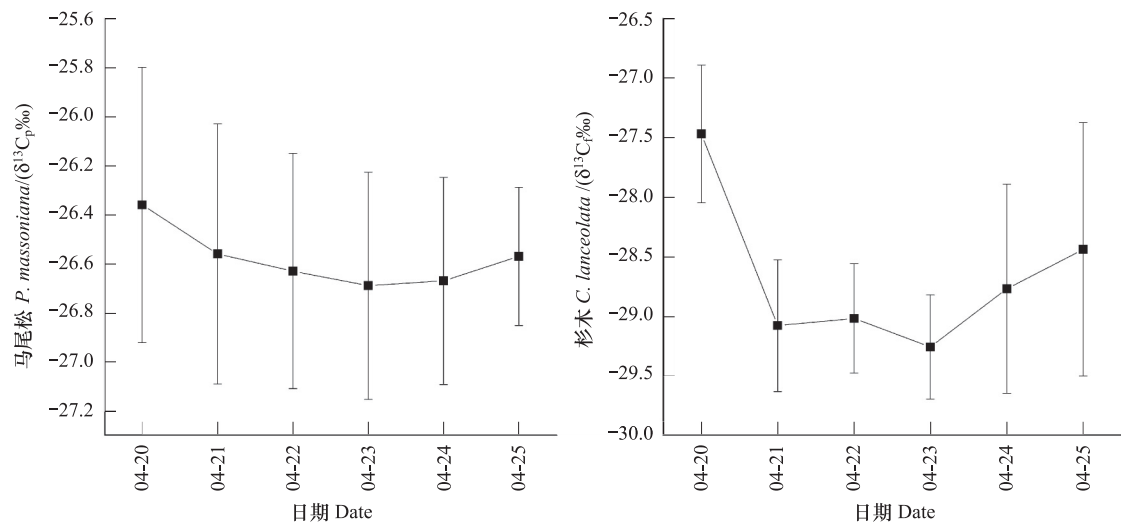


图2 马尾松和杉木树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值连日变化动态

Fig. 2 Day to day dynamics of the $\delta^{13}\text{C}$ value of stem phloem water soluble sugars of *P. massoniana* and *C. lanceolata* respectively

表2 杉木树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值与取样当天和之前 1—7 天的气象因子的相关分析

Table 2 Correlation analysis between the $\delta^{13}\text{C}$ value of stem phloem water soluble sugars of *C. lanceolata* and meteorological factors of the day of sampling and 1—7 days prior to sampling

$\delta^{13}\text{C}_f$	时滞/d							
	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7
太阳辐射 S_r	0.419	0.556	0.073	-0.824 *	-0.538	0.1	0.189	0.165
水气压亏缺 VPD	0.262	0.628	-0.073	-0.822 *	-0.512	0.105	0.117	0.13
相对湿度 R_h	-0.335	-0.584	0.171	0.820 *	0.500	-0.058	-0.127	-0.237
空气温度 T_a	-0.451	0.011	0.629	-0.038	0.746	0.343	-0.108	-0.577

* 在 0.05 水平上显著相关

杉木树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值与环境因子之间的关系如表 2 所示。 $\delta^{13}\text{C}_f$ 与取样之前第 3 天的太阳辐射、水气压亏缺、相对湿度之间显著相关,相关性按照大小排列依次为太阳辐射>水气压亏缺>相对湿度。 $\delta^{13}\text{C}_f$ 与太阳辐射和水气压亏缺也是显著负相关,与相对湿度显著正相关,而与空气温度之间的相关性不显著。

从时滞上来看,马尾松树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值与所研究的 4 项气象因子之间的显著相关性存在相同的时滞,均为 4d;杉木树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值与太阳辐射、水气压亏缺、相对湿度之间的显著相关性也存在相同的时滞,均为 3d。对两种针叶树树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值影响最大的,即相关性最高的气象因子均为太阳辐射,且均为显著负相关,韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值均随着太阳辐射的增加而降低。除了时滞和显著性大小之外,两种针叶树树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值与太阳辐射均为显著负相关,与水气压亏缺均为显著负相关;相对湿度均为显著正相关。马尾松树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值与空气温度显著正相关,但杉木树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值与空气温度之间相关性不显著,可是从表 2 可以看出该 $\delta^{13}\text{C}$ 值与取样之前第 4 天的空气温度之间的相关系数为 0.746,也是正相关关系。

3 讨论

3.1 春季马尾松和杉木韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值的差异

本研究发现春季马尾松和杉木树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值存在差异,马尾松韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值比杉木的高。有研究者以扭叶松 (*Pinus contorta*)、恩格曼云杉 (*Picea engelmannii*) 和亚高山冷杉 (*Abies lasiocarpa*) 为对象,发现这三种针叶树韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值之间不存在显著差异^[12]。而针对海岸松 (*Pinus*

pinaster) 的研究,发现了物种差异,其韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值高于长叶金合欢(*Acacia longifolia*) 的值^[9]。

此外,研究的两种针叶树树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值对所研究的气象因子的相应也存在差异,其中降水量的影响较显著,在 4 月 22 日取样之前出现少量降水,两种针叶树树种树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值波动不一致,但其他时间,两者的波动模式完全一致,明显可以看到物种因素带来的差异。

3.2 短期天气变化马尾松和杉木韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值的影响

据研究发现各种气象因子通过影响植物胞间 CO_2 的浓度,从而影响 C_i/C_a 来改变 $\delta^{13}\text{C}$ 值^[22,25-26,28]。目前多数研究发现在生长季节树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值与 C_i/C_a 显著相关,还可以用来指示冠层气孔导度 G_s 的变化^[7-8, 11, 13-14]。

本研究发现马尾松和杉木韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值与所研究的气象因子之间存在显著相关关系,反映了该值在很大程度上受到短期天气变化的影响,这一实验结果与过去的很多研究基本一致,如 Keital 研究发现欧洲山毛榉(*Fagus sylvatica*) 树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值与太阳辐射之间的相关性不显著,3 天之前的相对湿度和水气压亏缺之间的相关性最大,也与空气温度显著相关^[7];Hu 研究了 3 种针叶树,即扭叶松(*Pinus contorta*)、恩格曼云杉(*Picea engelmannii*) 和亚高山冷杉(*Abies lasiocarpa*),发现这 3 种针叶树树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值与取样前 1—5d 的白天空气温度显著负相关,与取样前 1—5d 的水气压亏缺显著相关^[12];Rascher 则发现海岸松(*Pinus pinaster*) 树干韧皮部 $\delta^{13}\text{C}$ 与取样之前第 4 天的水气压亏缺相关性显著^[9]。不过 Brandes 以欧洲赤松(*Pinus sylvestris*) 为研究对象,发现其树干韧皮部运输的水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值与取样当天以及之前的所有环境因子(如温度、相对湿度等)和生理因子(如气孔导度、蒸腾等)均无直接线性相关性^[18-19],但须注意到该实验样地非常干旱,年均降雨为 667mm,年均温度为 9.8℃,环境条件与本实验样地的环境条件相差甚大,因此在本实验的基础上,综合目前研究结果,可以合理推测马尾松和杉木树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值很有可能与取样之前第 2 或 3 天的冠层气孔导度相关,可以用来指针整个冠层的碳分馏,但这需要进一步的实验支持。

在本研究中,马尾松和杉木树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值与各项气象因子的日均值之间的显著相关性均存在一定时滞,马尾松的时滞是 4d,杉木的是 3d。这主要是因为同位素信号在光合作用的过程中的被印迹在光同化物中,然后转移到韧皮部,所以韧皮部中混合的是几小时甚至几天之前的碳库^[8]。早已有学者指出韧皮部运输速度因不同物种而异,介于 0.5—1.0m/h 之间^[27]。目前有研究推测在 25—27m 高的欧洲山毛榉(*Fagus sylvatica*) 中,叶片水平上固定的碳运往树干基部大概需要 2d 的时间^[7-8],也有研究推测高 14m 左右的欧洲赤松(*Pinus sylvestris*) 碳运输的速度约为 0.4m/h^[19],换算之后,和前者欧洲山毛榉(*Fagus sylvatica*) 的速度接近。如果在本研究基础上进一步针对韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值与整合环境和生理因子的冠层气孔导度(G_s) 之间的关系开展实验,也可推测马尾松和杉木韧皮部的碳运输速度。

研究中观察到两种针叶树韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值与太阳辐射之间的相关性都高于其他 3 个气象因子。一般认为太阳辐射和水分条件共同对树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值产生影响^[10, 15-17]。本研究样地地处亚热带,属典型的亚热带季风性气候,水分非常充沛,研究期间降水量就达 34.9mm,水分并非限制因子。在这一情况下,太阳辐射可能成为影响马尾松和杉木树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值的首要因素。

本研究还观察到取样当天降水事件可能对针叶树树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值产生影响,可能是马尾松和杉木对降水的响应存在物种差异性,以致两种针叶树韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值在降水当日的波动与其他研究时间不一致。已有研究发现降雨事件将会导致欧洲赤松(*Pinus sylvestris*) 韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值出现变化,该变化比叶片水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化迟 24h^[19]。

4 结论

综上,本文得到以下几个结论:1) 春季马尾松和杉木树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 日均值波动范围介于 -26.81‰到-26.49‰之间,以及-29.26‰到-27.47‰之间,平均值分别为 $(-26.58 \pm 0.12)\%$ 和 $(-28.67 \pm 0.65)\%$,马尾松韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值比杉木的高 2.09‰,波动范围也比后者窄。2) 马尾松树干韧皮部水

溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值与取样之前第 4 天的太阳辐射、水气压亏缺、相对湿度和空气温度显著相关 ($P \leq 0.05$), 杉木树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值取样之前第 3 天的太阳辐射、水气压亏缺和相对湿度显著相关 ($P \leq 0.05$), 但与空气温度的相关性不显著。结果表明马尾松和杉木韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值可以敏感记录短期天气变化动态, 有助于了解和预测天气变化对植物韧皮部水溶性糖的稳定碳同位素分馏的影响。3) 在所测定的环境因子中, 太阳辐射是影响马尾松和杉木树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 日均值波动的首要因素。4) 当天降水事件会对春季马尾松和杉木树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 日均值波动造成影响。

致谢: 本研究得到福建省建瓯万木林自然保护区的大力支持, 特此致谢。

References:

- [1] Van Bel AJE. The phloem, a miracle of ingenuity. *Plant, Cell & Environment*, 2003, 26(1): 125-149.
- [2] Turgeon R, Wolf S. Phloem Transport: Cellular Pathways and Molecular Trafficking. *Annual Review of Plant Biology*, 2009, 60: 207-21.
- [3] Dinant S, Lemoine A. The phloem pathway: New issues and old debate. *Comptes Rendus Biologies*, 2010, 333(4): 307-319.
- [4] Zimmermann M H, Ziegler H. List of sugars and sugar alcohols in sieve-tube exudates. In: Zimmermann M H, Milburn J A (eds). *Encyclopedia of plant physiology*. Vol. 1. Transport in plants. I. Phloem Transport. Berlin: Springer-Verlag, 1975: 480-503.
- [5] Gibson S I. Plant Sugar-Response Pathways. Part of a Complex Regulatory Web. *Plant Physiology*, 2000, 124(4): 1532-1539.
- [6] Hammond J P, White P J. Sucrose transport in the phloem: integrating root responses to phosphorus starvation. *Journal of Experimental Botany*, 2008, 59(1): 93-109.
- [7] Keitel C, Adams M A, Holst T, Matzarakis A, Mayer H, Rennenberg H, Gessler A. Carbon and oxygen isotope composition of organic compounds in the phloem sap provides a short-term measure for stomatal conductance of European beech (*Fagus sylvatica* L.). *Plant, Cell & Environment*, 2003, 26(7): 1157-1168.
- [8] Gessler A, Rennenberg H, Keitel C. Stable isotope composition of organic compounds transported in the phloem of European beech - evaluation of different methods of phloem sap collection and assessment of gradients in carbon isotope composition during leaf-to-stem transport. *Plant Biology*, 2004, 6(6): 721-729.
- [9] Rascher K G, Máguas C, Werner C. On the use of phloem sap $\delta^{13}\text{C}$ as an indicator of canopy carbon discrimination. *Tree Physiology*, 2010, 30(12): 1499-1514.
- [10] Gessler A, Schrempf S, Matzarakis A, Mayer H, Rennenberg H, Adams M A. Radiation modifies the effect of water availability on the carbon isotope composition of beech (*Fagus sylvatica*). *New Phytologist*, 2001, 150(3): 653-664.
- [11] Keitel C, Matzarakis A, Rennenberg H, Gessler A. Carbon isotope composition and oxygen isotope enrichment in phloem and total leaf organic matter of European beech (*Fagus sylvatica* L.) along a climate gradient. *Plant, Cell & Environment*, 2006, 29(8): 1492-1507.
- [12] Hu J, Moore D J P, Monson R K. Weather and climate controls over the seasonal carbon isotope dynamics of sugars from subalpine forest trees. *Plant, Cell & Environment*, 2010, 33(1): 35-47.
- [13] Barbour M M, Hunt J E, Dungan R J, Turnbull M H, Brailsford G W, Farquhar G D, Whitehead D. Variation in the degree of coupling between $\delta^{13}\text{C}$ of phloem sap and ecosystem respiration in two mature *Nothofagus* forests. *New Phytologist*, 2005, 166(2): 497-512.
- [14] Cernusak L A, Arthur D J, Pate J S, Farquhar G D. Water relations link carbon and oxygen isotope discrimination to phloem sap sugar concentration in *Eucalyptus globulus*. *Plant Physiology*, 2003, 131: 1544-1554.
- [15] Merchant A, Peuke A D, Keitel C, Macfarlane C, Warren C R, Adams M A. Phloem sap and leaf $\delta^{13}\text{C}$, carbohydrates, and amino acid concentrations in *Eucalyptus globulus* change systematically according to flooding and water deficit treatment. *Journal of Experimental Botany*, 2010, 61(6): 1785-1793.
- [16] Tausz M, Merchant A, Kruse J, Samsa G, Adams M A. Estimation of drought-related limitations to mid-rotation aged plantation grown *Eucalyptus globulus* by phloem sap analysis. *Forest Ecology and Management*, 2008, 256(4): 844-848.
- [17] Pate J, Arthur D. $\delta^{13}\text{C}$ analysis of phloem sap carbon: novel means of evaluating seasonal water stress and interpreting carbon isotope signatures of foliage and trunk wood of *Eucalyptus globulus*. *Oecologia*, 1998, 117(3): 301-311.
- [18] Badeck F W, Tcherkez G, Nogue S, Piel C, Ghashghaie J. Post-photosynthetic fractionation of stable carbon isotopes between plant organs-a wide spread phenomenon. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 2005, 19(11): 1381-1391.
- [19] Brandes E, Kodama N, Whittaker K, Weston C, Rennenberg H, Keitel C, Adams M A, Gessler A. Short-term variation in the isotopic composition of organic matter allocated from the leaves to the stem of *Pinus sylvestris*: effects of photosynthetic and post-photosynthetic carbon isotope fractionation. *Global Change Biology*, 2006, 12(10): 1922-1939.

- [20] Brandes E, Wenninger J, Koeniger P, Schindler D, Rennenberg H, Leibundgut C, Mayer H, Gessler A. Assessing environmental and physiological controls over water relations in a Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stand through analyses of stable isotope composition of water and organic matter. *Plant, Cell & Environment*, 2007, 30(1): 113-127.
- [21] Devaux M, Ghashghaite J, Bert D, Lambrot C, Gessler A, Bathellier C, Ogee J, Loustau D. Carbon stable isotope ratio of phloem sugars in mature pine trees throughout the growing season: comparison of two extraction methods. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 2009, 23(16): 2511-2518.
- [22] Farquhar G D, Ehleringer J R, Hubick K T. Carbon isotope discrimination and photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 1989, 40: 503-537.
- [23] Schneider S, Gessler A, Weber P, Sengbusch D, Hanemann U, Rennenberg H. Soluble N compounds in trees exposed to high loads of N: a comparison of spruce (*Picea abies*) and beech (*Fagus sylvatica*) grown under field conditions. *New Phytologist*, 1996, 134(1): 103-114.
- [24] Saurer M, Orellana S, Schweingruber F, Siegwolf R. Stable carbon isotopes in tree rings of beech: climatic versus site-related influences. *Trees*, 1997, 11(5): 291-297.
- [25] Adams M A, Grierson P F. Stable isotopes at natural abundance in terrestrial plant ecology and ecophysiology: An update. *Plant Biology*, 2001, 3(4): 299-310.
- [26] Brugnoli E, Hubick K T, Caemmerer S V, Wong S C, Farquhar G D. Correlations between the carbon isotope discrimination in leaf starch and sugars of C3 plants and the ratio of intercellular and atmospheric partial pressures of carbon dioxide. *Plant Physiology*, 1988, 88(4): 1418-1424.
- [27] Zimmermann M H, Braun C L. *Trees, Structure and Function*. Springer, Berlin. 1971.
- [28] Farquhar G D, O'Leary M H, Berry J A. On the relationship between carbon isotope discrimination and the intercellular carbon-dioxide concentration in leaves. *Australian Journal of Plant Physiology*, 1982, 9(2): 121-137.

CONTENTS

Physiological responses of five deciduous broad-leaved tree seedlings in the Northeast Area of China to burning	WANG Rong, HU Haiqing (2303)
The occurrence regularity of psyllid in <i>Haloxylon</i> spp and its influencing factors	LI Fenlian, WU Xuehai, WANG Peiling, et al (2311)
The estimating of the spatial distribution of forest biomass in China based on remote sensing and downscaling techniques	LIU Shuangna, ZHOU Tao, SHU Yang, et al (2320)
Multivariate correlation analysis between landscape pattern and water quality	ZHAO Peng, XIA Beicheng, QIN Jianqiao, et al (2331)
Red fox habitat selection and landscape feature analysis in the Dalai Lake Natural Reserve in Inner Mongolia	ZHANG Honghai, LI Chengtao, DOU Huashan, et al (2342)
Research on assemblage characteristics of macroinvertebrates in the Yalu Tsangpo River Basin	XU Mengzhen, WANG Zhaoyin, PAN Baozhu, et al (2351)
Climate change induced potential range shift of the crested ibis based on ensemble models	ZHAI Tianqing, LI Xinhai (2361)
Analysis of the sources of second generation meadow moth populations that immigrated into Chinese pastoral areas in 2010	ZHANG Li, ZHANG Yunhui, ZENG Juan, et al (2371)
Genetic diversity based on cytochrome <i>b</i> gene analysis of different geographic populations of blue sheep in China	LI Nannan, LIU Zhensheng, WANG Zhenghuan, et al (2381)
Soil microbial properties under different grain-for-green patterns in depressions between karst hills	LU Shiyang, PENG Wanxia, SONG Tongqing, et al (2390)
Ecosystem and soil respiration of a poplar plantation on a sandy floodplain in Northern China	FANG Xianrui, ZHANG Zhiqiang, ZHA Tonggang, et al (2400)
Estimating total nitrogen content in water body based on reflectance from wetland vegetation	LIU Ke, ZHAO Wenji, GUO Xiaoyu, et al (2410)
Analysis on complete F type of mitochondrial genome in <i>Lamprotula lei</i>	CHEN Ling, WANG Guiling, LI Jiale (2420)
The source-sink landscape pattern change and its effect on phosphorus pollution in Yuqiao watershed	LI Chongwei, HU Jie, WANG Sa, et al (2430)
Responses of soil nematode communities to soluble salt contamination around Gangue hill in Fushun	ZHANG Weidong, LV Ying, XIAO Ying, et al (2439)
Effect of aboveground competition on biomass partitioning of understory Korean pine (<i>Pinus koraiensis</i>)	WANG Jinsong, FAN Xiuhua, FAN Juan, et al (2447)
Research of methane metabolic microbial community in soils of slash pine plantation and Masson pine plantation	WANG Yun, ZHENG Hua, CHEN Falin, et al (2458)
$\delta^{13}\text{C}$ values of stem phloem water soluble sugars of <i>Pinus massoniana</i> and <i>Cunninghamia lanceolata</i> response to meteorological factors	LU Yuxi, WANG Zhenxing, ZHENG Huaizhou, et al (2466)
Soil respiration patterns during restoration of vegetation in the Shapotou area, Northern China	GAO Yanhong, LIU Lichao, JIA Rongliang, et al (2474)
Dynamics of caloric value of <i>Robinia pseudoacacia</i> L. energy forest in the west of Henan Province	TAN Xiaohong, LIU Shiqi, MA Luyi, et al (2483)
<i>Ex-situ</i> symbiotic seed germination of <i>Dendrobium catenatum</i>	WU Huifeng, SONG Xiqiang, LIU Hongxia (2491)
Effects of red/far red ratio on morphological index, leaf area and dry matter partitioning of cut chrysanthemum flower	YANG Zaiqiang, ZHANG Jibo, LI Yongxiu, et al (2498)
Effect of prometryne on root activity and oxidative stress of <i>Polygala tenuifolia</i> Willd. seedling roots	WEN Yinyuan, GUO Pingyi, YIN Meiqiang, et al (2506)
Combined effects of elevated O_3 concentration and UV-B radiation on photosynthetic characteristics of soybean	ZHENG Youfei, XU Weimin, WU Rongjun, et al (2515)
Nutrients transfer for host plant and litter decomposition by AMF in Karst soil	HE Yuejun, ZHONG Zhangcheng, DONG Ming (2525)
The dynamics of bacteria community diversity during the fermentation process of traditional soybean paste	GE Jingping, CHAI Yangyang, CHEN Li, et al (2532)
Effect of site-specific fertilization on soil phosphorus in purple garden soil	SUN Qianqian, WANG Zhengyin, ZHAO Huan, et al (2539)
A method of determining standards for ecological compensation in agricultural areas, giving priority to environmental flows in water allocation	PANG Aiping, SUN Tao (2550)
The loss of ecosystem services value caused by food security assessment model and its application	LU Weiye, JIANG Zhide, ZHANG Yinglong, et al (2561)
Review and Monograph	
Review of the current situation of coastal ecological engineering using dredged marine sediments and prospects for potential application in China	HUANG Huamei, GAO Yang, WANG Yinxia, et al (2571)
Discussion	
Quorum sensing in anaerobic ammonium oxidation bacteria	DING Shuang, ZHENG Ping, ZHANG Meng, et al (2581)
Health evaluation of Dongting Lake based on morphological characters	SHUAI Hong, LI Jingbao, XIA Beicheng, et al (2588)
Scientific Note	
Effects of mix-leaf litter decomposition of different trees in the Loess Plateau	LIU Zengwen, DU Liangzhen, ZHANG Xiaoxi, et al (2596)
Changes in soil active organic carbon under different management types of bamboo stands	MA Shaojie, LI Zhengcai, WANG Bin, et al (2603)
Effects of drought stress on photosynthesis and associated physiological characters of pepper	OU Lijun, CHEN Bo, ZOU Xuexiao (2612)
Effects of silicon application and drought stress on photosynthetic traits and mineral nutrient absorption of rice leaves	CHEN Wei, CAI Kunzheng, CHEN Jining (2620)

《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 8 期 (2012 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 8 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