

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 20 期 Vol.32 No.20 **2012**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 20 期

2012 年 10 月 (半月刊)

目 次

太湖流域源头溪流氧化亚氮(N_2O)释放特征.....	袁淑方, 王为东 (6279)
闽江河口湿地植物枯落物立枯和倒伏分解主要元素动态.....	曾从盛, 张林海, 王天鹅, 等 (6289)
宁夏荒漠草原小叶锦鸡儿可培养内生细菌多样性及其分布特征.....	代金霞, 王玉炯 (6300)
陕西省栎黄枯叶蛾蛹的空间分布.....	章一巧, 宗世祥, 刘永华, 等 (6308)
模拟喀斯特生境条件下干旱胁迫对青冈栎苗木的影响.....	张中峰, 尤业明, 黄玉清, 等 (6318)
中国井冈山生态系统多样性.....	陈宝明, 林真光, 李 贞, 等 (6326)
鄂西南木林子常绿落叶阔叶混交林恢复过程中优势树种生态位动态.....	汤景明, 艾训儒, 易咏梅, 等 (6334)
不同增温处理对夏蜡梅光合特性和叶绿素荧光参数的影响	徐兴利, 金则新, 何维明, 等 (6343)
模拟长期大风对木本猪毛菜表观特征的影响	南 江, 赵晓英, 余保峰 (6354)
雷竹林土壤和叶片 N、P 化学计量特征对林地覆盖的响应	郭子武, 陈双林, 杨清平, 等 (6361)
利用树木年轮重建赣南地区 1890 年以来 2—3 月份温度的变化	曹受金, 曹福祥, 项文化 (6369)
川西亚高山草甸土壤呼吸的昼夜变化及其季节动态.....	胡宗达, 刘世荣, 史作民, 等 (6376)
火干扰对小兴安岭白桦沼泽和落叶松-苔草沼泽凋落物和土壤碳储量的影响	周文昌, 牟长城, 刘 夏, 等 (6387)
黄土丘陵区三种典型退耕还林地土壤固碳效应差异.....	佟小刚, 韩新辉, 吴发启, 等 (6396)
岩质公路边坡生态恢复土壤特性与植物多样性	潘树林, 辜 彬, 李家祥 (6404)
坡位对东灵山辽东栎林土壤微生物量的影响.....	张 地, 张育新, 曲来叶, 等 (6412)
太湖流域典型入湖港口景观格局对河流水质的影响.....	王 瑛, 张建锋, 陈光才, 等 (6422)
基于多角度基尼系数的江西省资源环境公平性研究	黄和平 (6431)
中国土地利用空间格局动态变化模拟——以规划情景为例	孙晓芳, 岳天祥, 范泽孟 (6440)
世界主要国家耕地动态变化及其影响因素	赵文武 (6452)
不同氮源下好氧反硝化菌 <i>Deffluibacter lusatiensis</i> str. DN7 的脱氮特性	肖继波, 江惠霞, 褚淑祎 (6463)
基于生态足迹方法的南京可持续发展研究.....	周 静, 管卫华 (6471)
基于投入产出方法的甘肃省水足迹及虚拟水贸易研究.....	蔡振华, 沈来新, 刘俊国, 等 (6481)
浦江县土壤碱解氮的空间变异与农户 N 投入的关联分析	方 斌, 吴金凤, 倪绍祥 (6489)
长江河口潮间带盐沼植被分布区及邻近光滩鱼类组成特征	童春富 (6501)
深圳湾不同生境湿地大型底栖动物次级生产力的比较研究.....	周福芳, 史秀华, 邱国玉, 等 (6511)
灰斑古毒蛾口腔反吐物诱导沙冬青细胞 Ca^{2+} 内流及 H_2O_2 积累	高海波, 张淑静, 沈应柏 (6520)
濒危物种金斑喙凤蝶的行为特征及其对生境的适应性.....	曾菊平, 周善义, 丁 健, 等 (6527)
细叶榕榕小蜂群落结构及动态变化.....	吴文珊, 张彦杰, 李凤玉, 等 (6535)
专论与综述	
流域生态系统补偿机制研究进展	张志强, 程 莉, 尚海洋, 等 (6543)
可持续消费的内涵及研究进展——产业生态学视角	刘晶茹, 刘瑞权, 姚 亮 (6553)
工业水足迹评价与应用.....	贾 佳, 严 岩, 王辰星, 等 (6558)
矿区生态风险评价研究述评.....	潘雅婧, 王仰麟, 彭 建, 等 (6566)
研究简报	
围封条件下荒漠草原 4 种典型植物群落枯落物枯落量及其蓄积动态.....	李学斌, 陈 林, 张硕新, 等 (6575)
密度和种植方式对夏玉米酶活性和产量的影响.....	李洪岐, 蔺海明, 梁书荣, 等 (6584)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 312 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2012-10	

封面图说: 草丛中的朱鹮——朱鹮有着鸟中“东方宝石”之称。洁白的羽毛, 艳红的头冠和黑色的长嘴, 加上细长的双脚, 朱鹮历来被日本皇室视为圣鸟。20 世纪前朱鹮在中国东部、日本、俄罗斯、朝鲜等地曾有较广泛地分布, 由于环境恶化等因素导致种群数量急剧下降, 至 20 世纪 70 年代野外已认为无踪影。1981 年 5 月, 中国鸟类学家经多年考察, 在陕西省洋县重新发现朱鹮种群, 一共只有 7 只, 也是世界上仅存的种群。此后对朱鹮的保护和科学研究做了大量工作, 并于 1989 年在世界首次人工孵化成功。

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

DOI: 10.5846/stxb201204080492

张中峰, 尤业明, 黄玉清, 李先琨, 张金池, 张德楠, 何成新. 模拟喀斯特生境条件下干旱胁迫对青冈栎苗木的影响. 生态学报, 2012, 32(20): 6318-6325.

Zhang Z F, You Y M, Huang Y Q, Li X K, Zhang J C, Zhang D N, He C X. Effects of drought stress on *Cyclobalanopsis glauca* seedlings under simulating karst environment condition. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(20): 6318-6325.

模拟喀斯特生境条件下干旱胁迫对青冈栎苗木的影响

张中峰^{1,2}, 尤业明³, 黄玉清¹, 李先琨¹, 张金池², 张德楠⁴, 何成新^{1,*}

(1. 广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所, 桂林 541006; 2. 南京林业大学森林资源与环境学院, 南京 210037;

3. 北京林业大学林学院, 北京 100083; 4. 广西师范大学生命科学院, 桂林 541002)

摘要:为了研究喀斯特“双层”地质结构对植物的影响,以及在干旱环境下,喀斯特地区植物的生理变化与适应策略,建立“土壤层-岩石(石灰岩)层-岩溶水层”水分供应分层模拟柱,对‘土壤层’设置不同水分梯度,种植青冈栎(*Cyclobalanopsis glauca*)苗木进行干旱胁迫试验,测定青冈栎的叶面积、比叶面积、生物量、渗透调节物质含量、相对叶绿素含量。结果表明:在模拟柱‘岩溶水层’加水条件下,植物根系能下扎至‘岩溶水层’,‘土壤层’干旱胁迫对青冈栎的生理变化没有产生影响;在‘岩溶水层’无水条件下,青冈栎生理变化受‘土壤层’干旱胁迫影响显著,‘土壤层’水分含量越低,青冈栎的叶面积、生物量、叶绿素含量、叶片相对含水量越小,青冈栎干鲜比、根冠比、可溶性糖、丙二醛和脯氨酸含量越高。青冈栎幼苗利用岩溶水层水分是适应喀斯特干旱环境的重要策略。

关键词:表层岩溶带; 双层结构; 干旱胁迫; 渗透调节; 适应策略; 叶面积

Effects of drought stress on *Cyclobalanopsis glauca* seedlings under simulating karst environment condition

ZHANG Zhongfeng^{1,2}, YOU Yeming³, HUANG Yuqing¹, LI Xiankun¹, ZHANG Jinchu², ZHANG Denan^{1,4}, HE Chengxin^{1,*}

1 Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuangzu Autonomous Region and the Chinese Academy of Sciences, Guilin 541006, Guangxi, China

2 College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China

3 College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

4 College of Life Sciences, Guangxi Normal University, Guilin 541002, Guangxi, China

Abstract: The bare karst terrain in South China is one of the largest and most densely-populated tropical karsts in the world. It is distinguished for its harsh natural conditions. Most karst areas have a characteristic “double layer” geological structure; the soil layers and fissures formed after prolonged intensive karstification cause a loss of surface water and subsequent desiccation. Seasonal drought is the main feature of karst ecosystems and is a major constraint upon agricultural production and vegetation restoration. In the South China karst region, particularly the bare-rock karst areas, plants have evolved adaptations to the rocky and xeric conditions of karst soils; the dominant plants commonly have robust root systems. One such plant, *Cyclobalanopsis glauca*, is an evergreen broadleaf species and a dominant species in the Guilin karst forest. These plants survive well in higher mountain elevations, even in very thin and rocky soils, and karst forests can grow under seasonal drought conditions.

基金项目:国家自然科学基金项目(40872198); 岩溶动力学重点实验室基金(kdl2008-09); 国家自然科学基金(41172313); 中国地质调查局工作项目(水[2011]地调出1-15-02); 国家科技支撑计划项目(2011BAC09B02); 广西植物研究所科学研究基金项目(桂植业09014,1002)

收稿日期:2012-04-08; 修订日期:2012-08-03

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hecx@gxib.cn

We set up a water supply device in combination with a simulated karst structure comprising soil, limestone, and epikarst layers. The setup had a diameter of 100 cm. Soil, limestone, and epikarst layers had heights of 30, 50, and 20 cm, respectively. Epikarst layer had two treatments—watered and unwatered—and the water content of the soil layer was controlled within 30%—40%, 50%—60%, 70%—80%, or 90%—100%. Each treatment was replicated three times. We investigated the effects of this karst structure on the growth, leaf area (LA), specific leaf area (SLA), biomass, osmotic solutes, $SPAD$ value, root-shoot ratio, leaf relative water content (RWC), and ratio of dry weight to fresh weight (RDF) of 2-year-old seedlings of *C. glauca* that were transplanted from a nursery into the simulated karst substrate. The controlled soil water treatments lasted for 4 months, after which the plant physiological parameters were tested. Results showed that plant roots could extend into the epikarst layer, and seedling growth was not affected by topsoil drought stress when water was added to the epikarst layer. When the epikarst layer had no water, the physiology of the seedlings was greatly influenced by the soil water content (SWC). When the topsoil underwent drought, LA , RWC , and $SPAD$ decreased, while RDF and root-shoot ratio increased. Malondialdehyde (MDA), soluble sugars, and proline are important osmotic solutes; they are products of lipid peroxidation and the most prominent indicators of oxidative stress in plants. Compared with well-watered treatments and treatments watered in the epikarst layer, MDA , soluble sugars, and proline content increased significantly (analysis of variance, Duncan's test; $P < 0.01$) in the leaves of unwatered *C. glauca* seedlings, suggesting that they suffered drought stress. The results also showed that using water in the epikarst layer was an important adaptive strategy for *C. glauca* seedlings in drought-stricken karst soils. In this study, we also found that the seedling roots could penetrate through the rock layer to reach the epikarst layer when the latter was watered. However, no roots penetrated this layer when it was not watered. The results suggested that ground water in the epikarst layer plays an important role in the growth and survival of *C. glauca* seedlings and in their water use.

Key Words: epikarst, double layer structure, drought stress, osmotic adjustment, adaptive strategy, leaf area

西南喀斯特地区是全球三大喀斯特集中连片区中面积最大、喀斯特作用发育最强烈的典型生态脆弱区,总面积达 50 多万 km^2 ^[1]。这一区域因存在岩石裸露率高、土层浅薄、“双层”地质结构等特点而表现出地质性干旱,即使降雨充分,土壤能保持的田间持水量仅可供植物维持 1—2 周的蒸腾^[2]。西南喀斯特地区被作为一种特殊的类型,是全国生态区划的旱性喀斯特生态系统区^[3]。频繁的干旱胁迫是限制该区域植物生长与分布的主要因素之一^[4],研究喀斯特地区植物对干旱胁迫的生理响应成为当务之急。

最近几年,许多学者对此进行了研究,研究内容从干旱胁迫对喀斯特植物的水势及吸水潜能的影响^[5-6]、干旱复水后的光合作用恢复能力^[7-8]、水分利用效率^[9-10]、抗氧化酶活性和渗透调节^[11]、叶片解剖特征^[12-14]以及克隆植物的形态与生理可塑性^[15]、幼苗的生理适应性^[4,16]等方面进行。这些研究大部分采用了传统的试验方法模拟植物受土壤干旱胁迫的影响,但不能模拟西南喀斯特地区植物的根系生长环境。在喀斯特地区地表土壤干旱的情况下,岩溶植物往往通过根系向裂隙和表层岩溶带伸长,吸收岩石裂隙中贮存水分或表层岩溶带水分。Huang 等^[17]通过对喀斯特植物青冈栎(*Cyclobalanopsis glauca*)水分利用效率研究表明,即使在上层土壤十分干燥的条件下,青冈栎仍能够保持较高的蒸腾和光合作用。Nie 等^[18]通过稳定氢氧同位素测定了喀斯特植物水分来源,表明在干旱季节植物较多地利用了岩溶裂隙水分与岩溶地下水。可见,在表层土壤干旱条件下,喀斯特植物也未必受到干旱胁迫,仅通过模拟土壤干旱,不能完全反映野外喀斯特植物受干旱胁迫的特点,所得试验结果往往与实际情况不同。因此,本文作者根据西南喀斯特地质结构特点以及植物根系生长特征,设计了一套模拟野外喀斯特生境的装置——“水分供应分层模拟柱”,模拟自上而下的“土壤层”、“岩石层”和“岩溶水层”的连续结构,并在模拟装置上种植青冈栎,进行土壤和岩溶层水分的控制试验,测定青冈栎生理特征的变化,以期探明这种特殊生境对喀斯特地区植物的影响。青冈栎是构成我国亚热带森林的主要成分之一,具有较强的适应性,是喀斯特生态系统顶极群落的建群种,是森林生态系统恢复到一定程度才出现

的物种^[19]。研究青冈栎在喀斯特生境下的适应性,阐明植物在喀斯特干旱环境中的生理特征变化,可为这一地区的人工造林和植被自然恢复提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料与试验地概况

本研究选择2年生青冈栎苗木为实验材料,苗木为2007年播种培育,平均株高48.0 cm,平均地径1.1 cm,无病虫害,长势一致。每个试验装置上种植4株青冈栎;实验所用土壤为喀斯特山地棕色石灰土。试验时间从2008年12月至2009年12月(以保证苗木根系充分生长)。研究地点位于广西壮族自治区桂林市,该地区属岩溶区,中亚热带季风气候区,年降雨量1900 mm,年平均日照约1550 h,年平均气温为19℃。

1.2 试验设计和处理

模拟柱直径100 cm,地上部高约120 cm,由墙砖建成,地下部分为水池,水池上部与岩石接触部位放置钢筋承重,模拟柱外围开有观测窗口(图1)。装置上层为30 cm厚的薄土层,中层为岩石层,厚度约50 cm,用石灰岩石块垒砌,石块之间有空隙,根系与水分可以通过;岩石下层为水池,模拟岩溶水层。在土壤层种植试验植物青冈栎,在植物生长恢复3个月后进行土壤水分控制。试验设W和N两种个处理:W处理为土壤层-岩石层-岩溶水层(加水);N处理为土壤层-岩石层-岩溶水层(不加水)。两种处理又通过控制土壤层相对含水量分别设4个干旱胁迫梯度:1,30%—40%;2,50%—60%;3,70%—80%;4,90%—100%。共有8个处理:W1、W2、W3、W4、N1、N2、N3、N4,每个处理设3个重复。每隔2d用土壤水分测定仪(HH2 Delta-T Devices Moisture Meter, 英国 Delta 公司)测定1次土壤水分相对含量,根据土壤容重和体积确定各处理所需添加水量。在对上层土壤进行水分控制4个月后,发现在W处理的岩石层和岩溶水层中有大量根系分布时,开始采集样品并进行生理指标测试。

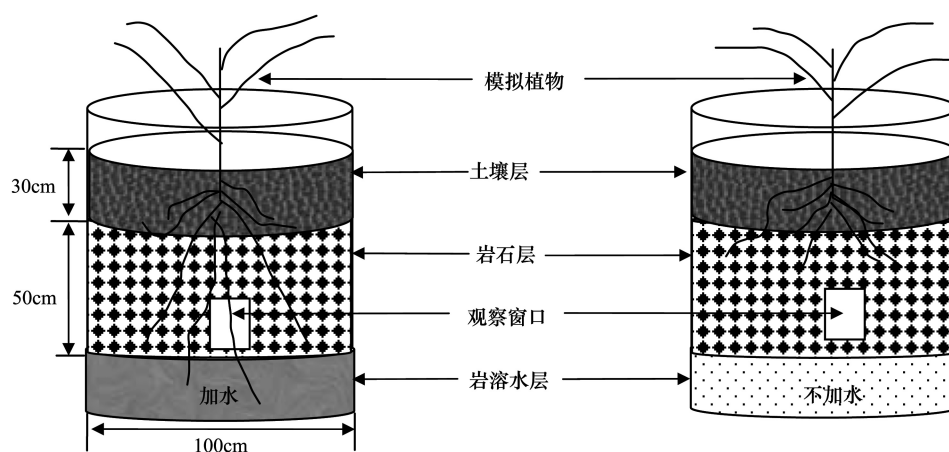


图1 水分供应分层模拟柱

Fig. 1 Water supply device with simulated hierarchical columniation

1.3 指标测定方法

1.3.1 叶面积与生物量

叶面积与比叶面积:用叶面积仪(LI-3000A,美国LI-COR公司)测定叶面积(LA),烘干后测定叶片干重,根据叶面积/叶干重计算比叶面积(SLA),每种处理测定4株,每株青冈栎随机摘取9片完全展开叶片进行测定。

叶片相对含水量(RWC):剪取青冈栎植物叶片,迅速称其鲜重(W_f),然后将叶片浸入水中8h后取出,用吸水纸吸干叶片水分,称取叶片饱和鲜重(W_t),然后于105℃下杀青0.5h,于80℃下烘至恒量(W_d),叶片相

对含水量(%) = $\frac{W_f - W_d}{W_t - W_d} \times 100\%$, 根据 $\frac{W_d}{W_t}$ 计算叶片干鲜比(RDF),每种处理测定4株,每株青冈栎随机摘

取 9 个叶片测定。

生物量:在试验结束后,拆开水分供应分层模拟柱,每种处理取出 3 株完整青冈栎植株用于测定生物量。分别将根、茎、叶单独收获称重,然后在 85 ℃ 下烘干至恒重并称重,三者总重量为青冈栎生物量,根冠比 = 根干重/地上部干重。

1.3.2 渗透调节物质与叶绿素含量

叶片脯氨酸 (Proline) 含量的测定采用酸性茚三酮法;可溶性糖含量用苯酚法测定;丙二醛 (Malondialdehyde, MDA) 含量用硫代巴比妥酸 (Thiobarbituric acid, TBA) 法进行测定;具体方法参照高俊凤的试验方法^[20]。每个处理测定 4 株。相对叶绿素含量的测定:用植物叶绿素计 SPAD-502 型测定植株当年生完全展开叶,每个处理测 4 株,每株测定 12 片叶,每片叶子测 4 个不同的叶片部位求平均值。

1.4 统计分析

利用 Excel 和 SPSS12.0 统计软件对试验数据进行方差分析、多重比较与作图。

2 结果与分析

2.1 叶面积与比叶面积

方差分析结果表明,W 处理下青冈栎叶面积差异不显著,说明青冈栎叶面积未受土壤干旱胁迫影响;N 处理对叶面积影响显著,经过多重比较,1、2 两种水分胁迫处理极显著小于 3、4 两种水分处理 ($P < 0.01$),表现为上层土壤越干旱,青冈栎叶面积越小(图 2)。W1、W2 处理分别极显著高于 N1、N2 处理 ($P = 0.0000$ 、 $P = 0.0000$),3、4 两种水分梯度下,W 与 N 处理差异不显著,由此可见,只有在土壤干旱条件下,下层无水处理才对叶面积产生显著影响。

方差分析结果表明,不同水分梯度下,W 与 N 处理均未对比叶面积产生显著影响(图 2),说明青冈栎比叶面积不受表层土壤水分条件影响,也未受岩溶水层水分影响。

2.2 叶片相对含水量与叶片干鲜比

方差分析结果显示,W 处理对青冈栎叶片相对水分含量影响不显著(图 2);N 处理中,N1 显著低于 N3、N4 处理 ($P = 0.0050$ 、 $P = 0.0130$),表现为土壤越干旱,叶片相对含水量越低;在 1 水分梯度下,W 处理显著高于 N 处理 ($P = 0.0180$),在 2、3、4 水分梯度水平下,W 与 N 处理差异不显著,说明只有在土壤最干旱的条件下,下层无水处理才对叶片含水量有显著影响。

不同水分梯度下,W 与 N 处理对叶片干鲜比影响显著(图 2),经多重比较发现,W 处理中,只有 2 与 3 两种水分梯度处理差异显著 ($P = 0.0330$),其它水分梯度处理无差异;N 组中,N1 显著高于 N3、N4 ($P = 0.0250$ 、 $P = 0.0041$),表现为土壤水分含量越低,叶片干鲜比越大;W1 与 W2 处理分别极显著低于 N1、N2 处理 ($P = 0.0001$ 、 $P = 0.0000$),3、4 水分梯度下,W 与 N 处理差异不显著,这说明在土壤干旱时,下层加水的处理对青冈栎干鲜比影响显著,而在土壤水分条件良好时,岩溶水层加水与否对干鲜比无影响。

2.3 根冠比与生物量

在 W 处理中,青冈栎根冠比差异不显著(图 2),表明根冠比未受上层土壤水分含量影响;N 处理中,1、2 两种水分梯度处理与 3、4 两种水分梯度处理之间根冠比差异极显著 ($P < 0.01$),表现为土壤水分含量越低,根冠比越大。1、2 水分梯度下,W 与 N 差异显著 ($P = 0.0001$ 、 $P = 0.0001$),3、4 水分梯度下 W 与 N 处理差异不显著,表明只有在土壤干旱条件下,岩溶水层加水才对根冠比有影响,而在土壤水分条件良好时,无论下层加水与否对根冠比均无影响。

由方差分析结果可知,不同水分梯度下,W 处理青冈栎生物量差异不显著(图 2),表明土壤干旱对生物量无影响;在 N 处理中,不同水分梯度对生物量影响显著,1、2 水分梯度处理显著小于 3、4 处理,表层土壤越干旱,生物量越小;W1 与 N1 ($P = 0.0004$),W2 与 N2 ($P = 0.0210$) 差异极显著,W3 与 N3、W4 与 N4 处理差异不显著,说明只有在土壤干旱条件下,岩溶层水分对青冈栎生物量会产生显著影响。

2.4 相对叶绿素含量

方差分析结果表明,不同水分条件处理对青冈栎叶片 SPAD 值影响显著(图 2)。W 处理中,虽然不同水

分梯度处理间差异显著,但均值变化无规律;在 N 处理中。N1 处理显著低于 N2、N3、N4 处理 ($P < 0.01$),表现为上层土壤越干旱 SPAD 值越低;W1、W2 处理分别显著高于 N1、N2 处理 ($P = 0.0000$ 、 $P = 0.0280$),表明土壤干旱胁迫下,岩溶土层无水对青冈栎 SPAD 值影响显著。

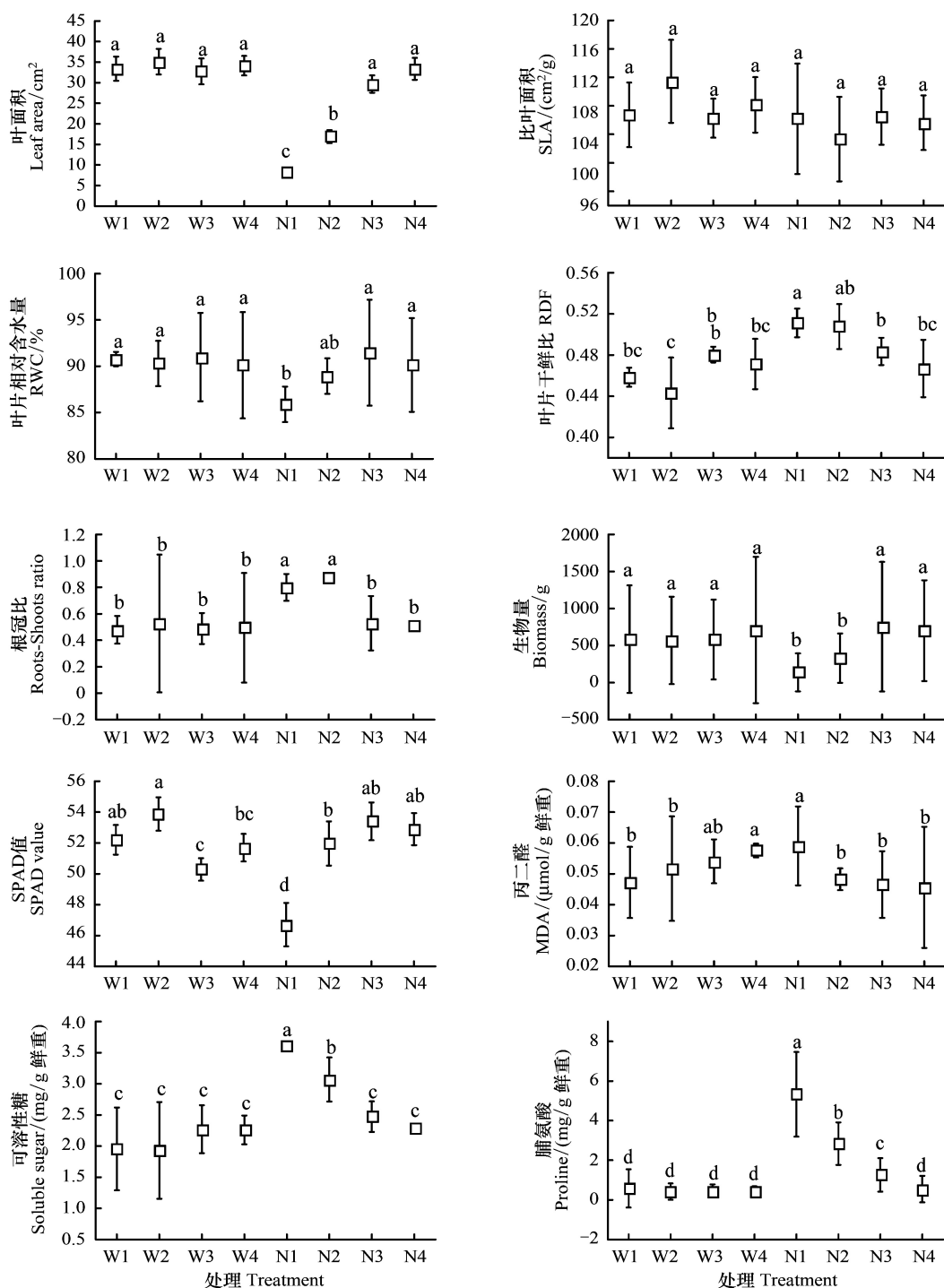


图2 不同处理下青冈栎叶面积、比叶面积、叶片相对含水量、叶片干鲜比、根冠比、生物量、SPAD、丙二醛含量、可溶性糖、脯氨酸含量

Fig. 2 Leaf area (LA), Specific leaf area (SLA), Relative water content (RWC), Ratio of dry weight to fresh weight (RWF), Biomass, Root-shoots ratio, SPAD, MDA, Soluble sugar and Proline content of *Cyclobalanopsis glauca* seedlings under different treatments

W 为下层加水处理,上层土壤水分含量控制为 W1:30%—40%;W2:50%—60%;W3:70%—80%;W4:90%—100%;N 为下层不加水处理,上层土壤水分含量控制为 N1:30%—40%;N2:50%—60%;N3:70%—80%;N4:90%—100%;图中不同字母代表差异显著

2.5 渗透调节物质变化

由方差分析结果可以看出,土壤水分对叶片丙二醛含量影响显著(图2)。在W处理中,W4处理的丙二醛含量显著高于W1、W2($P=0.0000$ 、 $P=0.0040$),均值变化趋势表现为,土壤水分含量越高丙二醛含量越高;在N处理中,N1处理的丙二醛含量显著高于其它处理($P<0.01$),表现为土壤越干旱,丙二醛含量越高。

W处理中,不同土壤水分含量对可溶性糖含量影响不显著(图2),表明未受到土壤干旱胁迫影响;N处理中,N1、N2显著高于其它处理,表现为土壤越干旱,可溶性糖含量高。1、2水分梯度下,W与N差异显著($P=0.0000$ 、 $P=0.0000$),3、4水分梯度下W与N处理差异不显著,这表明当土壤处于干旱条件时,岩溶土层水分对植物可溶性糖含量影响显著。

方差分析结果表明,W处理对叶片脯氨酸含量影响不显著(图2),表明植物未受到土壤胁迫的影响;N处理对脯氨酸含量影响显著,表现为土壤越干旱脯氨酸含量越高。1、2、3水分胁迫梯度下N处理的脯氨酸含量极显著高于W处理($P=0.0000$ 、 $P=0.0000$ 、 $P=0.0050$),表明下层加水处理对叶片脯氨酸含量影响显著。

3 讨论与结论

3.1 土壤干旱对青冈栎生物量和根冠比的影响

植物资源受到限制时,通常会调节生物量分配来适应环境变化^[21],增加植物的根冠比以增大植物对水分和养分的吸收,对植物适应外界极端环境有重要作用^[22]。在W各处理中,青冈栎叶面积、根冠比和生物量均未表现出显著性差异,这说明土壤干旱胁迫没有对青冈栎的生物量和物质分配造成影响。这是由于W处理的植物根系下扎至岩石层吸收缝隙中的水分,甚至下扎至岩溶土层吸收水分,即使上层土壤干旱,仍能保证青冈栎对水分的正常利用。Nie等^[18]用稳定同位素方法测定喀斯特地区植物水分来源曾证实,在干旱季节,植物主要利用岩石裂隙水分。在N处理中,叶面积、根冠比和生物量均差异显著,表现为土壤越干旱,叶面积和生物量越小,根冠比越大。N处理中岩溶土层无水,在进行4个月的水分控制后发现,岩溶土层没有根系,甚至在岩石层也很少有根系分布,植物主要利用土壤层水分进行生长,因此上层土壤干旱胁迫对青冈栎的生长影响较为明显。在上层土壤干旱时,N处理的叶面积、根冠比、生物量和干鲜比显著高于W处理,当表层土壤水分条件较好时,两种处理没有差异。这说明岩溶层水分对植物生物量的影响只是发生在表层土壤干旱条件下,当表层土壤水分条件较好时,岩溶层有无水分对植物影响不大。由此也可以说明在干旱季节,喀斯特地区的岩石裂隙及表层岩溶带水分对植物生长有相当重要的作用。比叶面积能反映植物对不同生境的适应特征,植物受到干旱胁迫时会降低比叶面积来适应恶劣环境^[23]。但在本实验中,在各处理条件下青冈栎比叶面积未表现出显著性差异,说明青冈栎并没有通过降低比叶面积或减少叶面积来适应土壤干旱,对此还需要进一步实验研究证实。

3.2 土壤干旱对渗透调节物质的影响

植物能够通过积累细胞内溶质浓度降低渗透势,使植物在干旱条件下维持一定的膨压,从而保证植物的生理过程顺利进行^[24]。脯氨酸和可溶性糖是两种重要的渗透调节物质。由上述的分析结果可知,W处理的脯氨酸和可溶性糖含量均未受到土壤水分含量影响,显示植物未受到土壤干旱的胁迫;N处理中,在土壤水分含量较低时,脯氨酸和可溶性糖显著升高,表现出干旱胁迫状态。刘伟玲等^[11]用模拟土壤干旱的方法,对几种喀斯特森林植物进行干旱胁迫试验,结果表明随着土壤干旱程度加深喀斯特植物脯氨酸和可溶性糖含量迅速增加。本研究中,N处理结果与前人的研究结果是一致的,但这种试验只设计了植物在喀斯特生境上生长的一种情况。另外一种情况是喀斯特植物往往是生长在薄土层之上,植物根系下面就是岩石裂隙,其中的水分可供植物利用,本研究中W处理就是真对这一特殊的生境而设计的,试验结果更符合野外的实际情况。丙二醛是生物膜氧化的产物,具有很强的细胞毒性,它的含量是植物受到胁迫伤害程度的重要指标^[25-26]。W4处理的丙二醛含量显著高于其它处理,表明W4处理受到胁迫的伤害,这是因为W4保持90%—100%相对田间持水量,可能受到水分的胁迫缘故,并不是由干旱胁迫造成。

3.3 干旱胁迫对喀斯特地区植物水分利用的影响

由于喀斯特地区存在地上-地下双层地质结构特征,当地适生植物对环境的适应方式与其它地区的植物

有所不同。在喀斯特地区,大部分乔木树种和深根性植物的根系可以通过岩石裂隙和落水洞向下生长。在干旱季节,即使表层土壤含水量相当低,植物仍然可以通过根系吸收裂隙水分或地下水水分,保持较高的光合和蒸腾^[27]。本试验岩溶土层加水处理与不加水处理的结果,也证明在植物根系可以利用岩溶土层水分情况下,表层土壤干旱不会对植物造成胁迫影响;如果上层土壤水分条件较好,有无岩溶层水分对植物影响不大。我国西南喀斯特区域,普遍存在季节性干旱^[2],这种条件下,岩石裂隙水分和岩溶层水分是植物生长水分利用的重要来源。大部分植物可以通过利用裂隙水分渡过干旱季节,这是喀斯特区域植物适应干旱的一种方式。在干旱条件下植物根系生长速度较快,仅4个月的干旱控制时间,青冈栎根系就可以穿过50 cm厚的岩石缝隙进入岩溶土层,说明其对喀斯特环境适应能力非常强。根系的向水性是陆生植物对土壤干旱的一种适应,它促使植物将有限的同化物分配到可吸收的水量最多的地方^[28]。在本研究中,W处理的青冈栎根系能下扎至岩石层,甚至下扎至岩溶土层;而N处理的岩溶土层没有加水,在岩石层很少有根系分布,可以看出青冈栎根系具有较好的向水性。

本试验通过建立喀斯特生境水分供应分层模拟柱,模拟干旱胁迫对青冈栎幼苗的影响,结果表明岩溶土层对植物生长影响显著,当表层土壤干旱时,岩溶层水分是植物水分的主要来源。有裂隙发育的山地可使降水渗入地下岩层土中,干旱季节深层岩土储存的水分可维持深根性木本植物的生存^[29]。在西南喀斯特地区,尤其在土壤层较薄、岩石裂隙较多地段,选择深根性植物进行植树造林,植物可通过吸取岩石裂隙水分而生存下来,从而提高造林成活率。本试验结果是基于青冈栎幼苗阶段的干旱胁迫试验,部分验证了喀斯特地区植物的用水策略,还不能完全说明喀斯特地区成熟大树对干旱的适应特征。另外,植物对干旱的胁迫的适应还与其它因素有关,比如土壤养分、微生物、光照、季节等因子都会影响到喀斯特植物的生长和水分利用策略,在这些方面有待深入研究。

References:

- [1] Liu C Q. Biogeochemical Processes and Cycling of Nutrients in the Earth's Surface: Cycling of Nutrients in Soil-Plant Systems of Karstic Environments, Southwest China. Beijing: Science Press, 2009.
- [2] Li A D, Lu Y F, Wei X L, Yu L F. Studies on the regime of soil moisture under different microhabitats in Huajiang karst valley. *Carsologica Sinica*, 2008, 27(1): 56-62.
- [3] Wang S J, Li Y B. Problems and development trends about researches on karst rocky desertification. *Advances in Earth Science*, 2007, 22(6): 573-582.
- [4] Liu Z C, Liu Y G, Guo K. Ecophysiological adaptations to drought stress of seedlings of four plant species with different growth forms in karst habitats. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2011, 35(10): 1070-1082.
- [5] Wang D, Yao J, Yang X Z, Xue J H. Changes of leaf water potential and water absorption potential capacities of six kinds of seedlings in Karst mount area under different drought stress intensities: taking six forestation seedlings in karst Mountainous region for example. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(8): 2216-2226.
- [6] Zhang Z F, Huang Y Q, You Y M, He C X, Zhu F, Li Y Y. Changes of *Cyclobalanopsis glauca* water parameters under drought stress in karst environment. *Chinese Journal of Ecology*, 2011, 30(4): 664-669.
- [7] Wei X L, Yu L F, Zhu S Q, Xu X Z. Effect of soil drying-wetting alternation on physiology and growth of *Pteroceltis tatarinowii* seedlings. *Scientia Silvae Sinicae*, 2007, 43(8): 23-28.
- [8] Liu C C, Liu Y G, Guo K, Zheng Y R, Li G Q, Yu L F, Yang R. Influence of drought intensity on the response of six woody karst species subjected to successive cycles of drought and rewating. *Physiologia Plantarum*, 2010, 139(1): 39-54.
- [9] Rong L, Wang S J, Du X L. Responses of foliar $\delta^{13}\text{C}$ values of woody plants to different karst rocky desertification degrees in Huajiang Gorge, Guizhou. *Scientia Silvae Sinicae*, 2007, 43(6): 38-44.
- [10] Peng X Q, Liu Y L, Xie S X. Effect of soil drought stress on water balance maintaining of different varieties of flos *lonicerace*. *Hubei Agricultural Sciences*, 2011, 50(6): 1119-1121.
- [11] Liu W L, Xie S X, Yu L F. Physiological response of sevdral karst common tree species seedlings to water stress. *Guizhou Science*, 2003, 21(3): 51-55.
- [12] Rong L, Wang S J, Liu N, Yang L. Leaf anatomical characters and its ecological adaptation of the pioneer species in the karst mountain area-with a special reference to the Huajiang Canyon of Guizhou. *Journal of Mountain Science*, 2005, 23(1): 35-42.
- [13] Pan X J, Zhang W E, Yang X Y, Li S Y. Correlation between drought resistance and leaf anatomical structure of wild *Vitis quinquangularis* seedlings in karst mountainous areas. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2010, 38(9): 176-178.
- [14] Dong L, Cao H L, Ye W H, Xu Z F, Wu L F, Chen Y Z. Leaf anatomic traits of 5 species in southwestern China's karst region. *Chinese Journal*

- of Applied and Environmental Biology, 2011, 17(5): 747-749.
- [15] Liu C C, Liu Y G, Guo K, Fan D Y, Yu L F, Yang R. Exploitation of patchy soil water resources by the clonal vine *Ficus tikoua* in karst habitats of southwestern China. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2011, 33(1): 93-102.
- [16] Liu Y H, Zhang X S, Hu Q. Water consumption of the seedlings of main adaptive tree species in karst upland in different seasons and different drought stress levels. *Guizhou Forestry Science and Technology*, 2006, 34(3): 10-15.
- [17] Huang Y Q, Zhao P, Zhang Z F, Li X K. Transpiration of *Cyclobalanopsis glauca* (syn. *Quercus glauca*) stand measured by sap-flow method in a karst rocky terrain during dry season. *Ecological Research*, 2009, 24(4): 791-801.
- [18] Nie Y P, Chen H S, Wang K L, Tan W, Deng P Y, Yang J. Seasonal water use patterns of woody species growing on the continuous dolostone outcrops and nearby thin soils in subtropical China. *Plant and Soil*, 2011, 341(1/2): 399-412.
- [19] Su Z M. The classified system of natural vegetation in Guangxi. *Guihaia*, 1998, 18(3): 237-246.
- [20] Gao J F. Experiment Technology of Plant Physiology. Xi'an: World Library Press, 2000.
- [21] Wu G L, Du G Z. Relationships between seed size and seedling growth strategy of herbaceous plant: a review. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(1): 191-197.
- [22] Xu B C, Shan L. Water demand and root and shoot ratio of *Medicago* and *Astragalus* seedlings. *Journal of Grassland*, 2003, 11(1): 78-82.
- [23] Bacelar E A, Moutinho-Pereira J M, Gonçalves B C, Ferreira H F, Correia C M. Changes in growth, gas exchange, xylem hydraulic properties and water use efficiency of three olive cultivars under contrasting water availability regimes. *Environmental and Experimental Botany*, 2007, 60(2): 183-192.
- [24] White D A, Turner NC, Galbraith J H. Leaf water relations and stomatal behavior of four allopatric *Eucalyptus* species planted in Mediterranean southwestern Australia. *Tree Physiology*, 2000, 20(17): 1157-1165.
- [25] Yang Q L, Zhang F C, Liu X G, Wang X, Zhang N, Ge Z Y. Research progress on regulation mechanism for the process of water transport in plants. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(15): 4427-4436.
- [26] Blokhina O, Virolainen E, Fagerstedt K V. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. *Annals of Botany*, 2003, 91(2): 179-194.
- [27] Huang Y Q, Li X K, Zhang Z F, He C X, Zhao P, You Y M, Mo L. Seasonal changes in *Cyclobalanopsis glauca* transpiration and canopy stomatal conductance and their dependence on subterranean water and climatic factors in rocky karst terrain. *Journal of Hydrology*, 2011, 402(1/2): 135-143.
- [28] Jin M X, Wang T D. Simulation of growth and hydrotropism of maize roots. *Acta Botanica Sinica*, 1996, 38(5): 384-390.
- [29] Zhang X B, Yang Z, Zhang J P. Lithologic types on hill slopes and revegetation zoning in the Yuanmou hot and dry valley. *Scientia Silvae Sinicae*, 2003, 39(4): 16-22.

参考文献:

- [1] 刘丛强. 生物地球化学过程与地表物质循环——西南喀斯特土壤植被系统生源要素循环. 北京: 科学出版社, 2009.
- [2] 李安定, 卢永飞, 韦小丽, 喻理飞. 花江喀斯特峡谷地区不同小生境土壤水分的动态研究. *中国岩溶*, 2008, 27(1): 56-62.
- [3] 王世杰, 李阳兵. 喀斯特石漠化研究存在的问题与发展趋势. *地球科学进展*, 2007, 22(6): 573-582.
- [4] 刘长成, 刘玉国, 郭柯. 四种不同生活型植物幼苗对喀斯特生境干旱的生理生态适应性. *植物生态学报*, 2011, 35(10): 1070-1082.
- [5] 王丁, 姚健, 杨雪, 薛建辉. 干旱胁迫条件下 6 种喀斯特主要造林树种苗木叶片水势及吸水潜能变化. *生态学报*, 2011, 31(8): 2216-2226.
- [6] 张中峰, 黄玉清, 尤业明, 何成新, 朱访, 黎彦余. 岩溶干旱胁迫下青冈栎水分参数变化. *生态学杂志*, 2011, 30(4): 664-669.
- [7] 韦小丽, 喻理飞, 朱守谦, 徐锡增. 土壤干湿交替对青檀幼苗生理及生长的影响. *林业科学*, 2007, 43(8): 23-28.
- [9] 容丽, 王世杰, 杜雪莲. 贵州花江峡谷区常见乔灌木叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值对喀斯特石漠化程度的响应. *林业科学*, 2007, 43(6): 38-44.
- [10] 彭素琴, 刘郁林, 谢双喜. 土壤干旱胁迫对不同品种金银花维持水分平衡能力的影响. *湖北农业科学北方园艺*, 2011, 50(6): 1119-1121.
- [11] 刘伟玲, 谢双喜, 喻理飞. 几种喀斯特森林树种幼苗对水分胁迫的生理响应. *贵州科学*, 2003, 21(3): 51-55.
- [12] 容丽, 王世杰, 刘宁, 杨龙. 喀斯特山区先锋植物叶片解剖特征及其生态适应性评价——以贵州花江峡谷区为例. *山地学报*, 2005, 23(1): 35-42.
- [13] 潘学军, 张文娥, 杨秀永, 李顺雨. 喀斯特山区野生葡萄实生苗木叶片解剖结构与抗旱性的关系. *贵州农业科学*, 2010, 38(9): 176-178.
- [14] 董蕾, 曹洪麟, 叶万辉, 徐志防, 吴林芳, 陈贻竹. 5 种喀斯特生境植物叶片解剖结构特征. *应用与环境生物学报*, 2011, 17(5): 747-749.
- [16] 刘延惠, 张晓珊, 胡冀. 喀斯特山地主要适生树种幼苗耗水量季节变化及对土壤干旱的响应. *贵州林业科技*, 2006, 34(3): 10-15.
- [19] 苏宗明. 广西天然植被类型分类系统. *广西植物*, 1998, 18(3): 237-246.
- [20] 高俊凤. 植物生理学实验技术. 西安: 世界图书出版公司, 2000.
- [21] 武高林, 杜国祯. 植物种子大小与幼苗生长策略研究进展. *应用生态学报*, 2008, 19(1): 191-197.
- [22] 徐炳成, 山仑. 苜蓿和沙打旺苗期需水及其根冠比. *草地学报*, 2003, 11(1): 78-82.
- [25] 杨启良, 张富仓, 刘小刚, 王玺, 张楠, 戈振扬. 植物水分传输过程中的调控机制研究进展. *生态学报*, 2011, 31(15): 4427-4436.
- [28] 金明现, 王天铎. 玉米根系生长及向水性的模拟. *植物学报*, 1996, 38(5): 384-390.
- [29] 张信宝, 杨忠, 张建平. 元谋干热河谷坡地岩土类型与植被恢复分区. *林业科学*, 2003, 39(4): 16-22.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 20 October, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Characteristics of nitrous oxide (N ₂ O) emission from a headstream in the upper Taihu Lake Basin	YUAN Shufang, WANG Weidong (6279)
Nutrient dynamics of the litters during standing and sediment surface decay in the Min River estuarine marsh	ZENG Congsheng, ZHANG Linhai, WANG Tian'e, et al (6289)
Diversity and distribution of endophytic bacteria isolated from <i>Caragana microphylla</i> grown in desert grassland in Ningxia	DAI Jinxia, WANG Yujiong (6300)
Spatial distribution of <i>Trabala vishnou gigantina</i> Yang pupae in Shaanxi Province, China	ZHANG Yiqiao, ZONG Shixiang, LIU Yonghua, et al (6308)
Effects of drought stress on <i>Cyclobalanopsis glauca</i> seedlings under simulating karst environment condition	ZHANG Zhongfeng, YOU Yeming, HUANG Yuqing, et al (6318)
Ecosystem diversity in Jinggangshan area, China	CHEN Baoming, LIN Zhengguang, LI Zhen, et al (6326)
Niche dynamics during restoration process for the dominant tree species in montane mixed evergreen and deciduous broadleaved forests at Mulinzi of southwest Hubei	TANG Jingming, AI Xuenru, YI Yongmei, et al (6334)
Effects of different day/night warming on the photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters of <i>Sinocalycanthus chinensis</i> seedlings	XU Xingli, JIN Zexin, HE Weiming, et al (6343)
The effect of simulated chronic high wind on the phenotype of <i>Salsola arbuscula</i>	NAN Jiang, ZHAO Xiaoying, YU Baofeng (6354)
Responses of N and P stoichiometry on mulching management in the stand of <i>Phyllostachys praecox</i>	GUO Ziwu, CHEN Shuanglin, YANG Qingping, et al (6361)
Tree-ring-based reconstruction of the temperature variations in February and March since 1890 AD in southern Jiangxi Province, China	CAO Shoujin, CAO Fuxiang, XIANG Wenhua (6369)
Diel variations and seasonal dynamics of soil respirations in subalpine meadow in western Sichuan Province, China	HU Zongda, LIU Shirong, SHI Zuomin, et al (6376)
Effects of fire disturbance on litter mass and soil carbon storage of <i>Betula platyphylla</i> and <i>Larix gmelinii</i> - <i>Carex schmidtii</i> swamps in the Xiaoxing'an Mountains of Northeast China	ZHOU Wenchang, MU Changcheng, LIU Xia, et al (6387)
Variance analysis of soil carbon sequestration under three typical forest lands converted from farmland in a Loess Hilly Area	TONG Xiaogang, HAN Xinhui, WU Faqi, et al (6396)
Soil-property and plant diversity of highway rocky slopes	PAN Shulin, GU Bin, LI Jiaxiang (6404)
Effects of slope position on soil microbial biomass of <i>Quercus liaotungensis</i> forest in Dongling Mountain	ZHANG Di, ZHANG Yuxin, QU Laiye, et al (6412)
Responses of water quality to landscape pattern in Taihu watershed: case study of 3 typical streams in Yixing	WANG Ying, ZHANG Jianfeng, CHEN Guangcai, et al (6422)
Study on the fairness of resource-environment system of Jiangxi Province based on different methods of Gini coefficient	HUANG Heping (6431)
Simulation of the spatial pattern of land use change in China: the case of planned development scenario	SUN Xiaofang, YUE Tianxiang, FAN Zemeng (6440)
Arable land change dynamics and their driving forces for the major countries of the world	ZHAO Wenwu (6452)
Denitrification characteristics of an aerobic denitrifying bacterium <i>Deffluibacter lusatiensis</i> str. DN7 using different sources of nitrogen	XIAO Jibo, JIANG Huixia, CHU Shuyi (6463)
Study on sustainable development in nanjing based on ecological footprint model	ZHOU Jing, GUAN Weihua (6471)
Applying input-output analysis method for calculation of water footprint and virtual water trade in Gansu Province	CAI Zhenhua, SHEN Laixin, LIU Junguo, et al (6481)
Correlation analysis of spatial variability of Soil available nitrogen and household nitrogen inputs at Pujiang County	FANG Bin, WU Jinfeng, NI Shaoxiang (6489)
Characteristics of the fish assemblages in the intertidal salt marsh zone and adjacent mudflat in the Yangtze Estuary	TONG Chunfu (6501)
A comparison study on the secondary production of macrobenthos in different wetland habitats in Shenzhen Bay	ZHOU Fufang, SHI Xiuhua, QIU Guoyu, et al (6511)
Regurgitant from <i>Orgyia ericae</i> Germar induces calcium influx and accumulation of hydrogen peroxide in <i>Ammopiptanthus mongolicus</i> (Maxim. ex Kom.) Cheng f. cells	GAO Haibo, ZHANG Shujing, SHEN Yingbai (6520)
Behavior characteristics and habitat adaptabilities of the endangered butterfly <i>Teinopalpus aureus</i> in Mount Dayao	ZENG Juping, ZHOU Shanyi, DING Jian, et al (6527)
Community structure and dynamics of fig wasps in syconia of <i>Ficus microcarpa</i> Linn. f. in Fuzhou	WU Wenshan, ZHANG Yanjie, LI Fengyu, et al (6535)
Review and Monograph	
Review and trend of eco-compensation mechanism on river basin	ZHANG Zhiqiang, CHENG Li, SHANG Haiyang, et al (6543)
Definition and research progress of sustainable consumption: from industrial ecology view	LIU Jingru, LIU Ruiquan, YAO Liang (6553)
The estimation and application of the water footprint in industrial processes	JIA Jia, YAN Yan, WANG Chenxing, et al (6558)
Research progress in ecological risk assessment of mining area	PAN Yajing, WANG Yanglin, PENG Jian, et al (6566)
Scientific Note	
Litter amount and its dynamic change of four typical plant community under the fenced condition in desert steppe	LI Xuebin, CHEN Lin, ZHANG Shuoxin, et al (6575)
Effects of planting densities and modes on activities of some enzymes and yield in summer maize	LI Hongqi, LIN Haiming, LIANG Shurong, et al (6584)

《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 20 期 (2012 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 20 (October, 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