

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

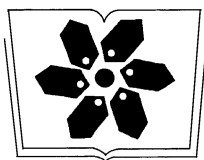
中国生态学会2011年学术年会专辑



第31卷 第19期 Vol.31 No.19 **2011**

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 31 卷 第 19 期

2011 年 10 月 (半月刊)

目 次

卷首语	本刊编辑部 (I)
我国生态学研究及其对社会发展的贡献	李文华 (5421)
生态学的现任务——要在混乱和创新中前进	蒋有绪 (5429)
发展的生态观:弹性思维	彭少麟 (5433)
中国森林土壤碳储量与土壤碳过程研究进展	刘世荣,王 晖,栾军伟 (5437)
区域尺度陆地生态系统碳收支及其循环过程研究进展	于贵瑞,方华军,伏玉玲,等 (5449)
流域尺度上的景观格局与河流水质关系研究进展	刘丽娟,李小玉,何兴元 (5460)
中国珍稀濒危孑遗植物珙桐种群的保护	陈 艳,苏智先 (5466)
水资源投入产出方法研究进展	肖 强,胡 聃,郭 振,等 (5475)
我国害鼠不育控制研究进展	刘汉武,王荣欣,张凤琴,等 (5484)
基于 NDVI 的三江源地区植被生长对气候变化和人类活动的响应研究	李辉霞,刘国华,傅伯杰 (5495)
毛乌素沙地克隆植物对风蚀坑的修复	叶学华,董 鸣 (5505)
近 50 年黄土高原地区降水时空变化特征	王麒麟,范晓辉,王孟本 (5512)
森林资源可持续状况评价方法	崔国发,邢韶华,姬文元,等 (5524)
黄土丘陵区景观格局对水土流失过程的影响——景观水平与多尺度比较	王计平,杨 磊,卫 伟,等 (5531)
未来 10 年黄土高原气候变化对农业和生态环境的影响	俄有浩,施 茜,马玉平,等 (5542)
山东近海生态资本价值评估——近海生物资源现存量价值	杜国英,陈 尚,夏 涛,等 (5553)
山东近海生态资本价值评估——供给服务价值	王 敏,陈 尚,夏 涛,等 (5561)
特大冰冻灾害后大明山常绿阔叶林结构及物种多样性动态	朱宏光,李燕群,温远光,等 (5571)
低磷和干旱胁迫对大豆植株干物质积累及磷效率的影响	乔振江,蔡昆争,骆世明 (5578)
中国环保模范城市生态效率评价	尹 科,王如松,姚 亮,等 (5588)
污染足迹及其在区域水污染压力评估中的应用——以太湖流域上游湖州市为例	焦雯珺,闵庆文,成升魁,等 (5599)
近二十年来上海不同城市空间尺度绿地的生态效益	凌焕然,王 伟,樊正球,等 (5607)
城市社区尺度的生态交通评价指标	戴 欣,周传斌,王如松,等 (5616)
城市生态用地的空间结构及其生态系统服务动态演变——以常州市为例	李 锋,叶亚平,宋博文,等 (5623)
中国居民消费隐含的碳排放量变化的驱动因素	姚 亮,刘晶茹,王如松 (5632)
煤矿固废资源化利用的生态效率与碳减排——以淮北市为例	张海涛,王如松,胡 聃,等 (5638)
城市遮阴环境变化对大叶黄杨光合过程的影响	于盈盈,胡 聃,郭二辉,等 (5646)
广东永汉传统农村的聚落生态观	姜雪婷,严力蛟,后德仟 (5654)
长江三峡库区昆虫丰富度的海拔梯度格局——气候、土地覆盖及采样效应的影响	刘 晔,沈泽昊 (5663)
东南太平洋智利竹筴鱼资源和渔场的时空变化	化成君,张 衡,樊 伟 (5676)
豚草入侵对中小型土壤动物群落结构特征的影响	谢俊芳,全国明,章家恩,等 (5682)

我国烟粉虱早春发生与秋季消退·····	陈春丽, 鄧军锐, 戈 峰, 等 (5691)
变叶海棠及其伴生植物峨眉小檗的水分利用策略 ·····	徐 庆, 王海英, 刘世荣 (5702)
杉木人工林不同深度土壤 CO ₂ 通量·····	王 超, 黄群斌, 杨智杰, 等 (5711)
不同浓度下四种除草剂对福寿螺和坑螺的生态毒理效应·····	赵 兰, 骆世明, 黎华寿, 等 (5720)
短期寒潮天气对福州市绿地土壤呼吸及组分的影响·····	李熙波, 曾文静, 李金全, 等 (5728)
黄土丘陵沟壑区景观格局对流域侵蚀产沙过程的影响——斑块类型水平·····	王计平, 杨 磊, 卫 伟, 等 (5739)
气候变化对物种分布影响模拟中的不确定性组分分割与制图——以油松为例·····	张 雷, 刘世荣, 孙鹏森, 等 (5749)
北亚热带马尾松年轮宽度与 NDVI 的关系 ·····	王瑞丽, 程瑞梅, 肖文发, 等 (5762)
物种组成对高寒草甸植被冠层降雨截留容量的影响·····	余开亮, 陈 宁, 余四胜, 等 (5771)
若尔盖湿地退化过程中土壤水源涵养功能 ·····	熊远清, 吴鹏飞, 张洪芝, 等 (5780)
桂西北喀斯特峰丛洼地不同植被演替阶段的土壤脲酶活性·····	刘淑娟, 张 伟, 王克林, 等 (5789)
利用混合模型分析地域对国内马尾松生物量的影响 ·····	符利勇, 曾伟生, 唐守正 (5797)
火烧对黔中喀斯特山地马尾松林土壤理化性质的影响·····	张 喜, 朱 军, 崔迎春, 等 (5809)
不同培育时间侧柏种基盘苗根系生长和分布·····	杨喜田, 董娜琳, 闫东锋, 等 (5818)
Cd ²⁺ 与 CTAB 复合污染对枫香幼苗生长与生理生化特征的影响 ·····	章 芹, 薛建辉, 刘成刚 (5824)
3 种入侵植物叶片挥发物对早稻幼苗根的影响 ·····	张凤娟, 徐兴友, 郭艾英, 等 (5832)
米槠-木荷林优势种群的年龄结构及其更新策略 ·····	宋 坤, 孙 文, 达良俊 (5839)
褐菖鲉肝 CYP 1A 作为生物标志物监测厦门海域石油污染状况 ·····	张玉生, 郑榕辉, 陈清福 (5851)
基于输入-输出流分析的生态网络 φ 模式能流 ρ 模式能流测度方法 ·····	李中才, 席旭东, 高 勤, 等 (5860)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 444 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 50 * 2011-10	



封面图说: 胡杨是我国西北干旱沙漠地区原生的极其难得的高大乔木, 树高 15—30 米, 能忍受荒漠中的干旱环境, 对盐碱有极强的忍耐力。为适应干旱气候一树多态叶, 因此胡杨又称“异叶杨”。它对于稳定荒漠河流地带的生态平衡, 防风固沙, 调节绿洲气候和形成肥沃的森林土壤具有十分重要的作用。秋天的胡杨林一片金光灿烂。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

徐庆,王海英,刘世荣. 变叶海棠及其伴生植物峨眉小檗的水分利用策略. 生态学报, 2011, 31(19): 5702-5710.

Xu Q, Wang H Y, Liu S R. Water use strategies of *Malus toringoides* and its accompanying plant species *Berberis aemulans*. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(19): 5702-5710.

变叶海棠及其伴生植物峨眉小檗的水分利用策略

徐 庆,王海英,刘世荣*

(中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所,北京 100091)

摘要:变叶海棠(*Malus toringoides*)是分布在我国四川省甘孜州炉霍县亚高山地区的野生植物种,其嫩叶可制茶,为一种纯正的天然保健珍品。它根系发达、抗逆性强,也是川西亚高山干旱地区退化植被生态恢复的良好树种。运用氢稳定同位素示踪技术,比较分析了变叶海棠和伴生植物峨眉小檗(*Berberis aemulans*)茎水与其潜在水源(降水、土壤水和河水)的 δD 值,结果表明:变叶海棠与峨眉小檗植物水主要来源于降水和深层土壤水。生长在河边的变叶海棠并不利用河水。在干季,降水 10—20 mm 后,变叶海棠对降水的利用率为 33.50%—70.06%,而峨眉小檗为 26.17%—45.17%;在雨季,降水 10—25 mm 后,变叶海棠对降水的利用率为 40.64%—69.01%,而峨眉小檗为 28.44%—71.41%;无论干季还是雨季,两种植物在雨后对降水利用的格局相似,但变叶海棠对降水的利用率皆显著高于峨眉小檗($P < 0.01$)。两种植物水分利用策略与其根系分布相一致。为川西甘孜州亚高山干旱地区退化植被生态恢复的树种选择以及变叶海棠的扩繁与利用提供科学理论依据。

关键词:变叶海棠;峨眉小檗;氢稳定同位素;水分利用策略;降水

Water use strategies of *Malus toringoides* and its accompanying plant species *Berberis aemulans*

XU Qing, WANG Haiying, LIU Shirong*

Institute of Forest Ecology Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

Abstract: Water is often the main limiting factor for plant growth in arid and semi-arid areas. Plants of different life-forms have different water use patterns and strategies, which reflect the balance and interrelationships between species characteristics and water distribution. These water use patterns and strategies may be subject to great variability in response to climate change. *Malus toringoides* is a native tree species of the sub-alpine arid areas in Luhuo County of Ganzi Region in Sichuan Province. It is often used for ornamental horticulture because of its beautiful tree form, and for vegetation restoration along dry river valleys and south-facing hillsides in degraded ecosystem because of its well-developed root system and its drought tolerance to water-stressed conditions. *M. toringoides* also has other commercial values; its young new leaves can be processed to make tea with natural and green nutrients that can be used as health supplement. *Berberis aemulans* is a shallow root species and lives often in close association with *M. toringoides* as an accompanying species. The growth and reproduction of *M. toringoides* are increasingly affected by severe shortage of water in the arid area due to changing climate. Therefore, it is of importance to examine water use patterns of *M. toringoides* and *Berberis aemulans*. In this study, we used hydrogen stable isotope composition (δD) to examine water utilization pattern of *M. toringoides* and *B. aemulans*. Stable isotope techniques is considered as an effective tools to help understanding relationships between plants and their environment conditions and provides quantitative information about water use strategies and efficiencies of plants. By comparing δD value of water in xylem of *M. toringoides* and *B. aemulans* with potential water sources (rainfall, soil

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30771712, 31170661); 国家科技部“十一五”林业科技支撑资助课题(2006BAD03A04)

收稿日期:2011-06-20; **修订日期:**2011-09-19

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

water, and river water), the results showed that the water utilization source for *M. toringoides* and *B. aemulans* was mainly from rain water and soil water from deep layers of the soil profile. *M. toringoides* did not take up river water even though it grew on river banks. After a rain event of 10—20 mm in the dry season, *M. toringoides* had a precipitation utilization rate of 33.50%—70.06%, while *B. aemulans* was 26.17%—45.17%. After a rain event of 10—25 mm in the wet season, *M. toringoides* and *B. aemulans* had rain utilization rates of 40.64%—69.01% and 28.44%—71.41%, respectively. The results showed that the utilization rates of precipitation were not significantly different ($P>0.05$) between the two seasons for either of the two plant species. After rain events, the water use patterns of *M. toringoides* and *B. aemulans* were similar regardless of the dry or wet season, and the utilization rate of precipitation of *M. toringoides* was significantly higher than that of *B. aemulans* ($P<0.01$). The water use patterns of *M. toringoides* and *B. aemulans* were consistent with the distribution patterns of their root systems: well-developed for *M. toringoides* and shallow for *B. aemulans*. Consequently, the two species can co-exist in the same vegetation communities. The results can contribute to in-depth understanding of growth, breeding and improvement, propagation of *M. toringoides*. In addition, we recommend that *M. toringoides* and *B. aemulans* be used together for ecological vegetation restoration by taking advantage of their co-beneficial water use strategies with different water sources.

Key Words: *Malus toringoides*; *Berberis aemulans*; hydrogen stable isotope; water utilization strategies; precipitation

变叶海棠(*Malus toringoides* 为蔷薇科(Rosaceae)苹果属(*Malus*)植物,其嫩叶可制茶,具有天然、绿色、环保、健康的特点,是一种纯正的天然保健珍品^[1-2]。它根系发达、树形美观、抗逆性强,是四川甘孜州高海拔干旱河谷、阳坡、半阳坡地带退化植被生态恢复良好的乡土树种^[1-3],具有重要的经济价值和生态价值。然而,变叶海棠分布区多干旱缺水^[1-3],野生资源数量有限。

水是干旱和半干旱地区植物生长的限制因子^[4-7]。不同生活型植物具有不同的水分利用来源,这在一定程度上也影响了气候变化背景下生态水分平衡与植物响应程度^[6-7]。在植物吸收利用水分的过程中,采用传统的水文学方法很难研究植物吸收利用水分的过程中的水分来源和水分利用格局,特别是在判断多个可能水分来源对植物的贡献率差异时,通过直接方法来确定植物水分来源和水分利用策略就显得更加困难了^[7]。

氢稳定同位素示踪技术有较高的灵敏度与准确性,为定量研究植物水分来源和水分利用格局等提供了新的技术手段^[4-17]。本文运用氢稳定同位素示踪技术,对变叶海棠(*Malus toringoides*)及伴生植物峨眉小檗(*Berberis aemulans*)茎(木质部)水 δD 与其潜在水源(降水、土壤水、河水) δD 值的比较与分析,探讨和辨识变叶海棠的水分来源,定量地阐明变叶海棠及伴生种峨眉小檗在旱季和雨季的植物水分利用格局和策略,为我国川西甘孜州亚高山干旱地区植被恢复的树种的选择和变叶海棠植物的扩繁与利用提供科学的理论依据。

1 实验材料和研究方法

1.1 研究地区概况

四川省炉霍县格鲁(100°31′32″—100°31′37″E, 31°29′38″—31°29′51″N, 海拔3290—3490 m)为内陆型温带季风气候,夏季温暖,冬春寒冷,空气干燥,风沙较大。年平均气温6.9—10℃,1月平均气温-3.7—0.3℃,7月平均气温15.1℃。年最高气温25.6℃,年最低气温-15.6℃,>10℃的年积温为1516℃。年蒸发量为1596.2 mm,日照时数2618.5 h,无霜期105 d。年均降水量为652.3 mm。干季和雨季分明。干季(10月至翌年5月)雨量小,干旱严重;雨季(6月上旬至9月中旬)降水集中,约占全年降水量的80%。

研究区的植被主要以灌木或小乔木树种变叶海棠为主,伴生的灌木主要有:峨眉小檗(*Berberis aemulans*)、平枝栒子(*Cotoneaster horizontalis*)、高山绣线菊(*Spiraea alpina*)、川西茶藨子(*Ribes acuminatum*)、西藏忍冬(*Lonicera tibetica*)、葱皮忍冬(*Lonicera ferdinandii*)。伴生草本植物主要有:三角叶荨麻(*Urtica triangularis*)、川赤芍(*Paeonia veitchii*)、卷叶黄精(*Polygonatum cirrhifolium*)、草玉梅(*Anemone rivularia*)和唐松草(*Thalictrum aquilegifolium*)等^[1-3]。土壤以暗棕壤为主,土壤中有有机质、腐殖质层较深厚,有机质含量高,土

壤显微酸性,有利于林木生长。研究样地正下方 30 m 处为川西青藏高原东南沿的长江上游雅砻江一级支流鲜水河流域,自西向东流长,约 46 km。

1.2 样地的设置和样品的采集

在四川省炉霍县格鲁选择具有代表性的变叶海棠群落作为研究样地,沿 3290, 3390, 3490 m 海拔高度,每隔 100 m 设置 A, B, C 3 个固定样方 (10 m×10 m)。

植物 在 A, B, C 3 个固定样方中采集变叶海棠和峨眉小檗植物茎(木质部)(每个样方每种植物 3 棵,3 个重复),立即装入采样瓶,低温保存,回实验室提取植物水。雨前采集对照样品。

土壤 在 A, B, C 3 个各固定样方中,距离采样植株 0.5—1 m 处挖取土壤剖面,采集 3 个土壤剖面不同深度(0—20 cm, 20—40 cm, 40—60 cm, 60—80 cm)处土壤样品,立即装入采样瓶,回实验室后用蒸发冷却的方法提取土壤水;同时,用铝盒收集每层土壤样品,用于测定各层土壤含水量。雨前采集对照样品。

降水和河水 在距离研究样地附近约 100 m 处的无林地采集降水。在研究样地(山脚下)A 样方的正下方约 30 m 处的鲜水河中收集河水。收集降水和河水的时间为 8:00。收集植物茎样和土壤样的时间为 8:00—10:00。

采样分干季和雨季两个采样期。在干季:5 月 20 日采集雨前对照样品,5 月 23 日—31 日连续 9d 采样(5 月 22 日降水 10.1 mm, 5 月 23 日降水 5.7 mm);在雨季:7 月 29 日采集对照样品,8 月 2 日—10 日连续 9d 采样(7 月 31 日降水 10.3 mm, 8 月 1 日降水 13.4 mm, 8 月 2 日降水 5.5 mm, 8 月 4 日降水 3.4 mm)。采样频率:降水 1 次/d,共采集降水样 6 个。河水 1 次/d,共采集河水样 20 个。采集植物茎样 360 个(其中,变叶海棠植物茎样 180 个,峨眉小檗植物茎样 180 个)。采集土壤样品 240 个,即 3(土壤剖面)×4(层次)×10(d)×2(降水事件)。

野外收集所有水样、植物茎和土壤样品,立即装入采样瓶密封,并存放于低温冰柜(−5—−18 ℃)保存。

1.3 根系生物量的调查

在采集植物茎样品的样方内,选择大小相近、生长良好的变叶海棠和峨眉小檗植株各 3 株,在距离各植株 0.5 m 处挖取土壤剖面,将根系分布层分为 4 层(0—20 cm, 20—40 cm, 40—60 cm, 60—80 cm),取每层相同位置 30 cm×20 cm×20 cm 的土体,经破碎过筛,用游标卡尺测量根系直径,按粗根(>5 mm)、中根(2 mm<a≤5 mm)、细根(≤2 mm)进行分级。用电子天平称量每层各级根系鲜重后,带回实验室烘干,计算各层不同等级根系干重。

1.4 样品预处理与测试

所有植物水和土壤水的提取工作在中国林业科学院稳定同位素实验室用蒸发冷却的方法^[4,6,10]来完成。

所有水样 δD 的测定由中国林业科学院稳定同位素实验室 Delta plus XP 和 TC/EA 2 气体质谱仪完成的。δD 标准误差为 ±2‰。

1.5 数据分析

植物对降水的利用率:当植物利用的是某一种水分来源时,通过将植物水分的 δD 与这种水源的 δD 进行对比,即可得知植物利用的水分来源^[14-16]。

如果通过 δD 数据的对比确定植物利用的是某两种水源时,可以用二元线性混合模型确定每一种来源所占比例^[12]。当两种水源的 δD 不同时,植物水分的 δD 一定介于两者之间。将具有较大 δD 值的水源作为富集端,具有较小 δD 值的水源作为消耗端,则植物水分中消耗端水源所占的比例为:

$$P_{\text{消耗}} = \frac{\delta D_{\text{富集}} - \delta D_{\text{植物}}}{\delta D_{\text{富集}} - \delta D_{\text{消耗}}} \times 100$$

式中, $P_{\text{消耗}}$ 表示植物水分中消耗端水源所占的比例,δD_{富集}、δD_{消耗}和 δD_{植物}分别表示富集端水源(降水)、消耗端水源(深层土壤水)和植物茎水的 δD^[17]。

1.6 统计分析

数据统计分析处理运用 SPSS 11.0 统计分析软件(SPSS, Inc., Chicago, IL, USA),进行 F 检验、均值比

较和 ANOVA 方差分析。

分别对两次降水事件 A, B, C 三个样方土壤剖面各层次(0—20 cm, 20—40 cm, 40—60 cm, 60—80 cm) 土壤水 δD 进行 ANOVA 方差分析, 结果表明: 3 个样方同一层次土壤水 δD 差异不显著 ($P > 0.05$)。因此, 在下面的计算中, A, B, C 三个样方同一层次土壤水 δD 均可以作为 3 个重复使用。

同样, 分别对 2 次降水事件 A, B, C 三个样方中每种植物(茎)水 δD 进行 ANOVA 方差分析, 结果表明: A, B, C 三个样方每种植物水 δD 差异不显著 ($P > 0.05$)。因此, A, B, C 三个样方同一种植物水 δD 可以作为 3 个重复使用。

2 结果与分析

2.1 采样期间土壤含水量变化

在干季和雨季二个采样期, 降水当天和降水后 9d 内变叶海棠群落样地各层土壤平均含水量的变化如图 1。无论干季还是雨季, 降水后前 2—3d 各层土壤平均含水量均较降水前不同程度的增加。随采样天数的增加, 降水后 4—9d 土壤平均含水量逐渐降低, 接近雨前的水平; 在干季, 土壤平均含水量的变化范围为 9.53%—14.15% (图 1); 在雨季, 土壤平均含水量的变化范围为 16.85%—23% (图 1)。雨季的土壤平均含水量显著高于干季 (图 1)。

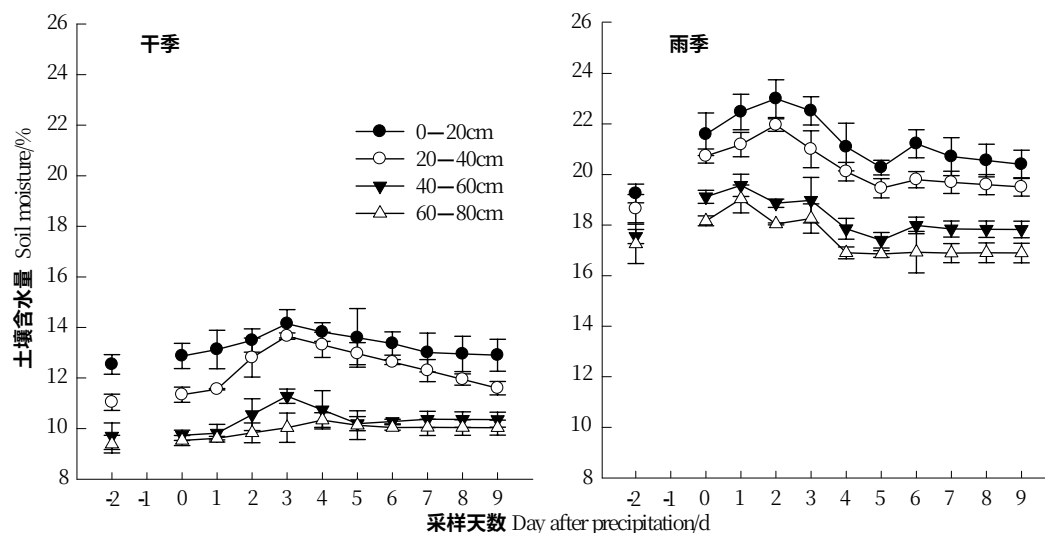


图 1 采样期间土壤含水量随采样时间的变化

Fig. 1 Changes in soil moisture at different depths over the sample period

2.2 变叶海棠与峨眉小檗根系分布

变叶海棠与峨眉小檗植物根系生物量的垂直分布如图 2。在土壤剖面中, 变叶海棠总根系生物量高于峨眉小檗。变叶海棠总根系生物量在 20—60cm 土层占总根生物量的 64.20%, 细根生物量在 20—60cm 土层占总细根生物量的 66.13%。峨眉小檗植物根系生物量在土壤剖面的分布情况几乎与变叶海棠相反, 总根系生物量在 0—40cm 土层占总根生物量的 73.55%, 细根生物量在 0—40cm 土层占总细根生物量的 70.21%。

2.3 土壤水 δD 变化

研究样地各层次土壤水 δD 随采样时间的变化如图 3。在干季, 降水后 9d 内, 随着土壤深度的增加, 土壤水 δD 的变化范围为 -124.709‰ — -112.009‰ (图 3); 在雨季, 降水后 9d 内, 随着土壤深度的增加, 土壤水 δD 的变化范围为 -123.125‰ — -97.378‰ (图 3)。(在雨季采样期, 8 月 4 日有 3.4 mm 的小雨干扰, 本研究可忽略不计)。0—60 cm 土壤水 δD 介于降水 δD 与 60—80 cm 深层土壤水 δD 之间。根据 SPSS, 对于干季和雨季期间 A, B, C 三个样方土壤剖面各层次(0—20 cm, 20—40 cm, 40—60 cm, 60—80 cm) 土壤水 δD 进行 ANOVA 方差分析, 结果表明: 两个降水事件 4 个不同层次土壤水 δD 差异皆极显著 ($P < 0.01$), 这与降水下渗

到不同层次土壤水的再分配过程有关。

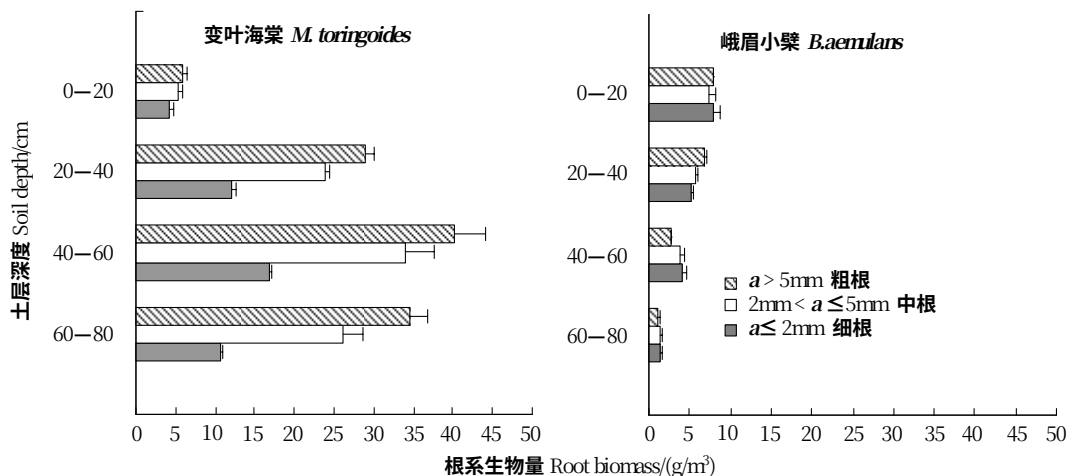


图2 变叶海棠与峨眉小檗根系生物量垂直分布

Fig. 2 The vertical distributions of root biomass of *M. toringoides* and *B. aemulans* along the soil profile

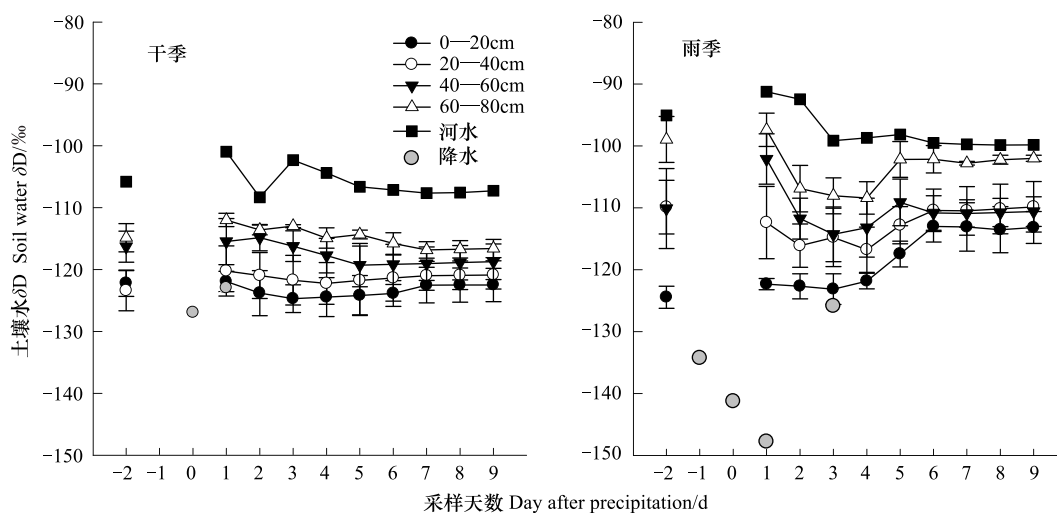


图3 不同深度土壤水 δD 与河水 δD 随采样时间的变化

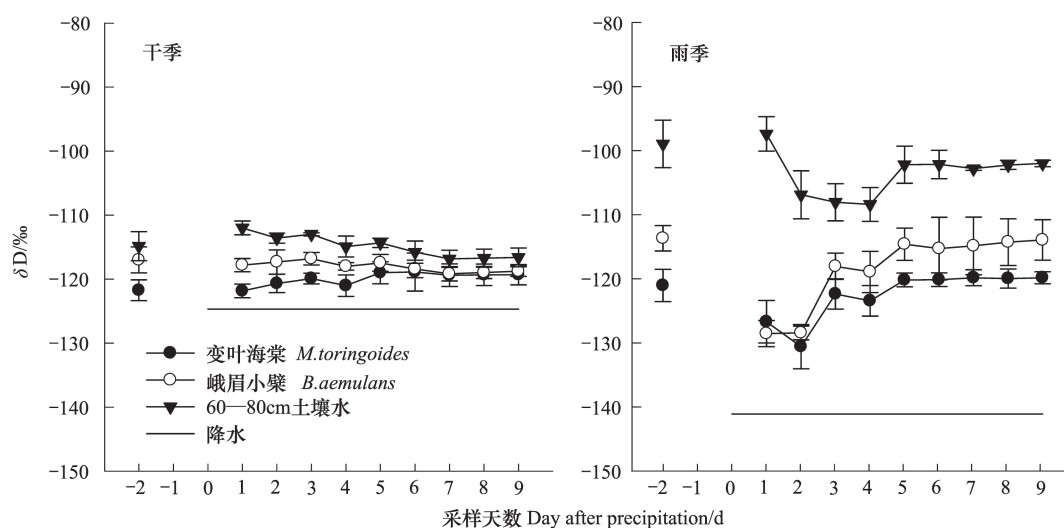
Fig. 3 Changes in the soil water δD at different depths and river water δD over the sample period

2.3 植物水 δD 变化

变叶海棠和峨眉小檗植物水 δD 随采样时间的变化如图4。在干季,降水10—20 mm后9d内变叶海棠植物水 δD 的变化范围为 -121.841‰ — -118.896‰ ,峨眉小檗植物水 δD 的变化范围为 -117.329‰ — -119.163‰ (图4)。在雨季,降水10—25 mm后9天内变叶海棠植物水 δD 的变化范围为 -130.599‰ — -119.831‰ ,峨眉小檗植物水 δD 的变化范围为 -128.556‰ — -113.923‰ (图4)。无论干季还是雨季,变叶海棠植物水 δD 介于降水 δD 与60—80 cm 深层土壤水 δD 之间,表明植物茎水主要来源于该地区大气降水和60—80 cm 深层土壤水的混合。由于该地区的地下水埋藏较深(约5m以下),本研究排除地下水作为植物水的水源。

2.4 植物对降水的利用率

从图5a可以看出,干季降水10—20 mm后9d内,变叶海棠与峨眉小檗对该次降水的利用率随采样天数的增加逐渐降低,变叶海棠第1天对降水的利用率为70.06%,第9天降低到33.5%;峨眉小檗第1天对降水的利用率为45.17%,第9天降低到26.17%。变叶海棠对降水利用率远远高于峨眉小檗。在干季降水后,峨

图4 变叶海棠、峨眉小檗植物茎水中 δD 随采样时间的变化Fig. 4 Changes in the stem water δD of *M. toringoides* and *B. aemulans* over the sample period

峨眉小檗并不与变叶海棠竞争吸收该次降水,主要吸收利用土壤中稳定的水源。

在雨季,降水 10—25 mm 后第 1 天,变叶海棠与峨眉小檗对该次降水的利用率接近,分别为 67.23% 和 71.41%,且峨眉小檗对降水利用率略高于变叶海棠;但降水后第 2—9 天,变叶海棠对降水利用率皆高于峨眉小檗(图 5),这是两种植物可在同一群落共存的重要原因。

对变叶海棠和峨眉小檗两次降水事件后 9 天内的植物水分利用率进行 ANOVA 方差分析结果表明:两个不同的降水事件对植物水分利用率的影响差异不显著($P=0.097$)。不同植物种(变叶海棠和峨眉小檗)对降水的利用率存在显著差异($P=0.000$)(表 1)。从图 5 可以看出,无论干季还是雨季,在同一群落中,变叶海棠对降水利用率的均值高于峨眉小檗。

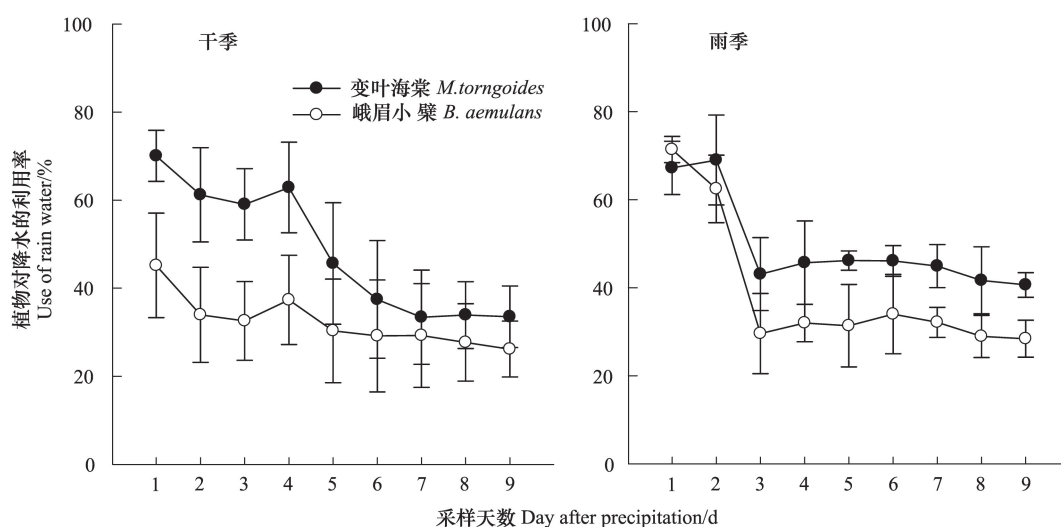


图5 变叶海棠与峨眉小檗植物对该次降水的利用率随采样时间变化

Fig. 5 Changes in water utilization rates of *M. toringoides* and *B. aemulans* after precipitation events in the dry season and the rainy season

2.5 植物水 δD 与土壤水 δD 和河水 δD 的关系

在干季,根据 SPASS,将变叶海棠植物水 δD 与 4 个不同深度(0—20 cm, 20—40 cm, 40—60 cm, 60—80

cm) 土壤水 δD 和河水 δD 进行 One way ANOVA 方差分析, 结果表明: 变叶海棠植物水与河水的 δD 差异极显著 ($P=0.000$), 与 20—40 cm, 40—60 cm 深度土壤水的 δD 差异不显著 ($P=0.523$ 和 $P=0.055$); 峨眉小檗植物水与河水的 δD 差异极显著 ($P=0.000$), 与 40—60 cm 深度土壤水 δD 差异不显著 ($P=0.996$)。可见, 在干季, 生长在鲜水河岸附近的变叶海棠和峨眉小檗并不吸收利用河水。变叶海棠主要吸收利用 20—60 cm 深处土壤水 δD ; 峨眉小檗主要吸收利用 40—60 cm 深处土壤水 δD 。这与两种植物的总根生物量分布和细根生物量分布是一致的。

表 1 植物对两次降水的利用率的方差分析结果

Table 1 Effects of soil layers (Depth) and days after rain (Day) on the soil water δD in different rain events

误差来源 Source	SSE	自由度 df	F	P
降水事件 Rainevent	278.692	1	2.822	0.097
物种 Species	4513.346	1	45.702	0.000
天数 Day	11380.965	8	14.405	0.000
降水事件×物种 Rainevent×Species	170.580	1	1.727	0.193
降水事件×天数 Rainevent×Day	2143.953	8	2.714	0.011
物种×天数 Species×Day	493.247	8	0.624	0.755
降水事件×物种×天数 Rainevent×Species×Day	1165.924	8	1.476	0.181
误差 Error	7110.423	72		
总和 Total	221869.155	108		

显著水平 $P<0.05$

运用 SPSS 将雨季的变叶海棠植物水 δD 与 4 个不同深度土壤水 δD 和河水 δD 进行 One way ANOVA 方差分析, 结果表明: 变叶海棠植物水与河水的 δD 差异极显著 ($P=0.000$), 与 0—20 cm, 20—40 cm 深处土壤水 δD 差异不显著 ($P=0.078$ 和 $P=0.051$); 峨眉小檗植物水与河水的 δD 差异极显著 ($P=0.000$), 与 0—20 cm 深处的土壤水 δD 差异不显著 ($P=0.999$), 与 20—40 cm 深处的土壤水 δD 差异显著 ($P=0.049$)。可见, 在雨季, 生长在鲜水河岸附近的变叶海棠和峨眉小檗并不吸收利用河水。变叶海棠主要吸收利用 0—40 cm 土壤水 δD ; 峨眉小檗主要吸收利用 0—20 cm 深处土壤水 δD 。这两种植物不同的水分利用策略与其植物的根系分布有密切的关系。

3 结论与讨论

据前人研究, 通过分析对比植物茎(木质部)水与各种潜在水源的 δD , 可以确定植物的水分来源^[1, 9, 11]。本研究对四川省甘孜州炉霍县变叶海棠及其伴生植物峨眉小檗植物茎(木质部)水与该地区降水、河水和不同深度(0—20 cm, 20—40 cm, 40—60 cm, 60—80 cm)土壤水的 δD 进行比较, 发现变叶海棠植物水 δD 值介于降水和 60—80 cm 深层土壤水的 δD 值之间(图 3), 表明变叶海棠及其伴生种峨眉小檗植物水分主要来源于降水和 60—80 cm 深层土壤水。

无论干季还是雨季, 变叶海棠植物水分利用率的均值皆高于峨眉小檗, 这与变叶海棠有发达的根系以及总根系和细根垂直分布有关。变叶海棠总根系生物量高于峨眉小檗, 前者的根系生物量在 20—60 cm 土层占总根系生物量的 64.20%, ≤ 2 mm 细根生物量在 20—60 cm 土层占总细根生物量的 66.13%。所以, 在干旱地区土壤缺水时, 深根植物变叶海棠可吸收利用 20—60 cm 深层土壤水这一环境中稳定的水源, 从而更好地生长, 浅根植物峨眉小檗主要吸收浅层土壤水, 有利于两种植物在同一群落中共存。Xu 等^[6]对川西卧龙亚高山暗针叶林几种优势植物水分利用策略研究也得出相似的结果, 深根植物岷江冷杉对降水的依赖性较小, 主要利用 40—80 cm 深层土壤水这一稳定的水源, 而浅根植物冷箭竹主要利用 0—40 cm 表层土壤水。这两种植物不同的水分利用策略与其细根系分布相一致; 在亚高山暗针叶林中, 不同生活型植物水分利用策略不同, 维持了亚高山箭竹-冷杉林群落的稳定性^[6]。在植物的生长季节, 水分利用率对植物的生长、个体之间的竞争和群落的组成起着关键的作用^[4-6]。在干季降雨后, 雨水能够很快地渗入植物的根系层, 对干旱区植物的补

水作用较强,植物能够及时利用大雨,而且雨水在植物体内保持的时间较长。在短时间的连续降水中,每次降水都起着不同程度的作用。通过确定植物主要水源和利用土壤哪一层次水分,可以有针对性地改善植物生长条件^[4-7]。White 的研究发现美国纽约州沼泽土壤上的 5 种针叶植物在晴天利用的水分几乎全部来自地下水,而雨后 5d 内这些植物主要利用降水^[12]。Farrington^[15]研究了澳大利亚西部不同土壤类型和水位梯度下红柳桉树 (*Eucalyptus marginata*) 在不同季节的水分利用来源,发现冬季和春季植物主要吸收储存在土壤表层的冬季降水,在夏季植物吸收较深层的土壤水更多。李鹏菊研究得出,西双版纳石灰山热带季节性湿润林植物在干季可通过自身非常发达的根系吸收深层土壤水及地下水,即吸收环境中能够给植物提供稳定而持久的水分供应^[16]。植物在干旱地区通过自身非常发达的根系吸收环境中稳定的水源,也是植物长期适应环境的结果。

生长在河边的小乔木变叶海棠和灌木峨眉小檗并不利用河水,这可能是该区的地下水埋藏较深(约 5m 以下),变叶海棠和峨眉小檗根系吸收利用不到地下水,同时也可能缘于河流经常改道。如果树木要在干旱环境中活下来,需要具备利用深层土壤水的潜能,由此出现生长在河岸边小乔木无论在干季还是雨季,皆不利用河水的现象,而利用深层的土壤水。这一结果与 Dawson 等^[11]研究生长在美国西部盐湖城附近河岸的大树利用地下水、而不是河水这一结论相一致。

此研究将为今后深入了解变叶海棠的生长规律、扩繁种植、改善植物生长条件等奠定了理论基础。鉴于变叶海棠与峨眉小檗水分利用模式的互补关系以及变叶海棠是四川省甘孜州高海拔地区植被恢复的良好树种,今后在该地区开展植被恢复过程时应该考虑将变叶海棠与峨眉小檗混交种植,籍以实现恢复植被群落的多样性和生态稳定性。在全球气候变化背景下,该地区目前正处于气候偏向暖干化的发展时期,导致对变叶海棠在内的亚高山植物的生长产生胁迫影响,所以需要进一步运用稳定同位素技术,定量地研究在不同的降水强度和降水时空格局的变化下变叶海棠植物水分利用策略,深入阐明气候变化背景下变叶海棠生长和空间分布的响应变化机制,为该地区的生态系统保护和生态系统适应性可持续管理提供理论依据。

References:

- [1] Wang H Y, Xu Q, Chai C Z, Tu B, Du M S. Nutritional components of fruits and leaves of *Malus toringoides* and *Malus transitoria* in Western Sichuan. *Scientia Silvae Sinicae*, 2010, 46(8): 157-161.
- [2] Wang H Y, Xu Q, Ji C L. Phenotypic variations of *Malus toringoides* in Western Sichuan. *Journal of Northeast Forestry University*, 2010, 38(5): 48-50.
- [3] Wang H Y, Xu Q, Fan G Q, Yu Y R, Ji C L. Progress in the study of *Malus toringoides* and its application prospect. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2009, 25(23): 155-160.
- [4] Cheng X L, An S Q, Li B, Chen J Q, Liu G H, Liu Y H, Luo Y Q, Liu S R. Summer rain pulse size and rainwater uptake by three dominant desert plants in a decertified grassland ecosystem in northwestern China. *Plant Ecology*, 2006, 184(1): 1-12.
- [5] Xu Q, Ji C L, Wang H Y, Li Y. Use of stable isotopes of hydrogen, oxygen and carbon to identify water use strategy by plants. *World Forestry Research*, 2009, 22(4): 41-46.
- [6] Xu Q, Li H B, Chen J Q, Cheng X L, Liu S R, An S Q. Water use patterns of three species in subalpine forest, Southwest China: the deuterium isotope approach. *Ecohydrology*, 2011, 4(2): 236-244.
- [7] Duan D Y, Ouyang H. Application of stable hydrogen and oxygen isotope in analyzing plant water use sources. *Ecology and Environment*, 2007, 16(2): 655-660.
- [8] Neilson R P. A model for predicting continental-scale vegetation distribution and water balance. *Ecological Applications*, 1995, 5(2): 362-385.
- [9] Ewe S M L, Sternberg L da S L, Busch D E. Water-use patterns of woody species in pineland and hammock communities of South Florida. *Forest Ecology and Management*, 1999, 118(1/3): 139-148.
- [10] Ehleringer J R, Phillips S L, Schuster W S F, Sandquist D R. Differential utilization of summer rains by desert plants: implication for competition and climate change. *Oecologia*, 1991, 88: 430-434.
- [11] Dawson T E, Ehleringer J R. Plants, isotopes and water use: a catchment scale perspective//Kendall C, McDonnell J J, eds. *Isotope Tracers in Catchment Hydrology*. New York: Elsevier, 1998: 165-202.
- [12] White J W C, Cook E R, Lawrence J R, Broecker W S. The *D/H* ratios of sap in trees: implications for water sources and tree ring *D/H* ratios.

Geochimica et Cosmochimica Acta, 1985, 49(1): 237-246.

- [13] Dawson T E. Hydraulic lift and water use by plants: implications for water balance, performance and plant-plant interactions. *Oecologia*, 1993, 95(4): 565-574.
- [14] Dawson T E, Ehleringer J R. Streamside trees that do not use stream water. *Nature*, 1991, 350(6316): 335-337.
- [15] Farrington P, Turner J V, Gailitis V. Tracing water uptake by jarrah (*Eucalyptus marginata*) trees using natural abundances of deuterium. *Trees*, 1996, 11(1): 9-15.
- [16] Li P J, Liu W J, Wang P Y, Li J T. Plant water use strategies in a limestone tropical seasonal moist rainforest in Xishuangbanna, SW China. *Acta Botanica Yunnanica*, 2008, 30(4): 496-504.
- [17] Cui J, An S Q, Wang Z S, Fang C M, Liu Y L, Xu Z, Liu S R. Using deuterium excess to determine the sources of high-altitude precipitation: implications in hydrological relations between sub-alpine forests and alpine meadows. *Journal of Hydrology*, 2009, 373(1/2): 24-33.

参考文献:

- [1] 王海英, 徐庆, 柴成忠, 土布, 杜孟殊. 川西 2 种高山海棠果实和叶片的营养成分. *林业科学*, 2010, 46(8): 157-161.
- [2] 王海英, 徐庆, 冀春雷. 川西变叶海棠的表型变异. *东北林业大学学报*, 2010, 38(5): 48-50.
- [3] 王海英, 徐庆, 樊高强, 于英茹, 冀春雷. 变叶海棠的研究进展与应用前景. *中国农学通报*, 2009, 25(23): 155-160.
- [5] 徐庆, 冀春雷, 王海英, 李旸. 氢氧碳稳定同位素在植物水分利用策略研究中的应用. *世界林业研究*, 2009, 22(4): 41-46.
- [7] 段德玉, 欧阳华. 稳定氢氧同位素在定量区分植物水分利用来源中的应用. *生态环境*, 2007, 16(2): 655-660.
- [16] 李鹏菊, 刘文杰, 王平元, 李金涛. 西双版纳石灰山热带季节性湿润林内几种植物的水分利用策略. *云南植物研究*, 2008, 30(4): 496-504.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 19 October, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Ecology research and its effects on social development in China	LI Wenhua (5421)
The current mission of ecology-advancing under the situation of chaos and innovation	JIANG Youxu (5429)
Resilience thinking: development of ecological concept	PENG Shaolin (5433)
A review of research progress and future prospective of forest soil carbon stock and soil carbon process in China	LIU Shirong, WANG Hui, LUAN Junwei (5437)
Research on carbon budget and carbon cycle of terrestrial ecosystems in regional scale: a review	YU Guirui, FANG Huajun, FU Yuling, et al (5449)
Advances in the studying of the relationship between landscape pattern and river water quality at the watershed scale	LIU Lijuan, LI Xiaoyu, HE Xingyuan (5460)
Research on the protection of <i>Davidia involucrata</i> populations, a rare and endangered plant endemic to China	CHEN Yan, SU Zhixian (5466)
Progress on water resources input-output analysis	XIAO Qiang, HU Dan, GUO Zhen, et al (5475)
Research advances of contraception control of rodent pest in China ...	LIU Hanwu, WANG Rongxin, ZHANG Fengqin, et al (5484)
Response of vegetation to climate change and human activity based on NDVI in the Three-River Headwaters region	LI Huixia, LIU Guohua, FU Bojie (5495)
Remediation of blowout pits by clonal plants in Mu Us Sandland	YE Xuehua, DONG Ming (5505)
Precipitation trends during 1961—2010 in the Loess Plateau region of China	WANG Qixiang, FAN Xiaohui, WANG Mengben (5512)
An evaluation method for forest resources sustainability	CUI Guofa, XING Shaohua, JI Wenyuan, et al (5524)
Effects of landscape patterns on soil and water loss in the hilly area of loess plateau in China: landscape-level and comparison at multiscale	WANG Jiping, YANG Lei, WEI Wei, et al (5531)
The impacts of future climatic change on agricultures and eco-environment of Loess Plateau in next decade	E Youhao, SHI Qian, MA Yuping, et al (5542)
Valuation of ecological capital in Shandong coastal waters: standing stock value of biological resources	DU Guoying, CHEN Shang, XIA Tao, et al (5553)
Valuation of ecological capital in Shandong coastal waters: provisioning service value	WANG Min, CHEN Shang, XIA Tao, et al (5561)
The dynamics of the structure and plant species diversity of evergreen broadleaved forests in Damingshan National Nature Reserve after a severe ice storm damage in 2008, China	ZHU Hongguang, LI Yanqun, WEN Yuanguang, et al (5571)
Interactive effects of low phosphorus and drought stress on dry matter accumulation and phosphorus efficiency of soybean plants	QIAO Zhenjiang, CAI Kunzheng, LUO Shiming (5578)
The eco-efficiency evaluation of the model city for environmental protection in China	YIN Ke, WANG Rusong, YAO Liang, et al (5588)
Pollution footprint and its application in regional water pollution pressure assessment: a case study of Huzhou City in the upstream of Taihu Lake Watershed	JIAO Wenjun, MIN Qingwen, CHENG Shengkui, et al (5599)
Ecological effect of green space of Shanghai in different spatial scales in past 20 years	LING Huanran, WANG Wei, FAN Zhengqiu, et al (5607)
Assessing indicators of eco-mobility in the scale of urban communities ...	DAI Xin, ZHOU Chuanbin, WANG Rusong, et al (5616)
Spatial structure of urban ecological land and its dynamic development of ecosystem services: a case study in Changzhou City, China	LI Feng, YE Yaping, SONG Bowen, et al (5623)
The carbon emissions embodied in Chinese household consumption by the driving factors	YAO Liang, LIU Jingru, WANG Rusong (5632)
The research on eco-efficiency and carbon reduction of recycling coal mining solid wastes: a case study of Huabei City, China	ZHANG Haitao, WANG Rusong, HU Dan, et al (5638)
Effects of urban shading on photosynthesis of <i>Euonymus japonicas</i>	YU Yingying, HU Dan, GUO Erhui, et al (5646)

Ecological view of traditional rural settlements: a case study in Yonghan of Guangdong Province	JIANG Xueting, YAN Lijiao, HOU Deqian (5654)
The altitudinal pattern of insect species richness in the Three Gorge Reservoir Region of the Yangtze River: effects of land cover, climate and sampling effort	LIU Ye, SHEN Zehao (5663)
Spatial-temporal patterns of fishing grounds and resource of Chilean jack mackerel (<i>Trachurus murphyi</i>) in the Southeast Pacific Ocean	HUA Chengjun, ZHANG Heng, FAN Wei (5676)
Impacts of <i>Ambrosia artemisiifolia</i> invasion on community structure of soil meso- and micro- fauna	XIE Junfang, QUAN Guoming, ZHANG Jiaen, et al (5682)
Appearance in spring and disappearance in autumn of <i>Bemisia tabaci</i> in China	CHEN Chunli, ZHI Junrui, GE Feng, et al (5691)
Water use strategies of <i>Malus toringoides</i> and its accompanying plant species <i>Berberis aemulans</i>	XU Qing, WANG Haiying, LIU Shirong (5702)
Analysis of vertical profiles of soil CO ₂ efflux in Chinese fir plantation	WANG Chao, HUANG Qunbin, YANG Zhijie, et al (5711)
Eco-toxicological effects of four herbicides on typical aquatic snail <i>Pomacea canaliculata</i> and <i>Crown conchs</i>	ZHAO Lan, LUO Shiming, LI Huashou, et al (5720)
Effects of short-term cold-air outbreak on soil respiration and its components of subtropical urban green spaces	LI Xibo, ZENG Wenjing, LI Jinqian, et al (5728)
Effects of landscape pattern on watershed soil erosion and sediment delivery in hilly and gully region of the Loess Plateau of China: patch class-level	WANG Jiping, YANG Lei, WEI Wei, et al (5739)
Partitioning and mapping the sources of variations in the ensemble forecasting of species distribution under climate change: a case study of <i>Pinus tabulaeformis</i>	ZHANG Lei, LIU Shirong, SUN Pengsen, et al (5749)
Relationship between masson pine tree-ring width and NDVI in North Subtropical Region	WANG Ruili, CHENG Ruimei, XIAO Wenfa, et al (5762)
Effects of species composition on canopy rainfall storage capacity in an alpine meadow, China	YU Kailiang, CHEN Ning, YU Sisheng, et al (5771)
Dynamics of soil water conservation during the degradation process of the Zoigê Alpine Wetland	XIONG Yuanqing, WU Pengfei, ZHANG Hongzhi, et al (5780)
Soil urease activity during different vegetation successions in karst peak-cluster depression area of northwest Guangxi, China	LIU Shujuan, ZHANG Wei, WANG Kelin, et al (5789)
Analysis the effect of region impacting on the biomass of domestic Masson pine using mixed model	FU Liyong, ZENG Weisheng, TANG Shouzheng (5797)
Influence of fire on a <i>Pinus massoniana</i> soil in a karst mountain area at the center of Guizhou Province, China	ZHANG Xi, ZHU Jun, CUI Yingchun, et al (5809)
The growth and distrubution of <i>Platyclusus orientalis</i> Seed-base seedling root in different culture periods	YANG Xitian, DONG Nalin, YAN Dongfeng, et al (5818)
Effects of complex pollution of CTAB and Cd ²⁺ on the growth of Chinese sweetgum seedlings	ZHANG Qin, XUE Jianhui, LIU Chenggang (5824)
The influence of volatiles of three invasive plants on the roots of upland rice seedlings	ZHANG Fengjuan, XU Xingyou, GUO Aiying, et al (5832)
Age structure and regeneration strategy of the dominant species in a <i>Castanopsis carlesii</i> - <i>Schima superba</i> forest	SONG Kun, SUN Wen, DA Liangjun (5839)
A study on application of hepatic microsomal CYP1A biomarkers from <i>Sebastiscus marmoratus</i> to monitoring oil pollution in Xiamen waters	ZHANG Yusheng, ZHENG Ronghui, CHEN Qingfu (5851)
The method of measuring energy flow φ and p in ecological networks by input-output flow analysis	LI Zhongcai, XI Xudong, GAO Qin, et al (5860)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

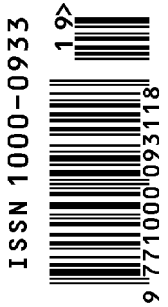
编辑部主任 孔红梅

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 31 卷 第 19 期 (2011 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 19 2011

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:100717	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