

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

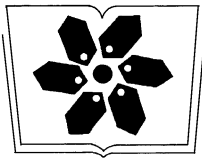
Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 11 期 Vol.31 No.11 **2011**

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 31 卷 第 11 期

2011 年 6 月 (半月刊)

目 次

微生物介导的碳氮循环过程对全球气候变化的响应·····	沈菊培, 贺纪正 (2957)
巢湖蓝藻水华形成原因探索及“优势种光合假说”·····	贾晓会, 施定基, 史绵红, 等 (2968)
我国甜菜夜蛾间歇性暴发的非均衡性循环波动·····	文礼章, 张友军, 朱 亮, 等 (2978)
庞泉沟自然保护区华北落叶松林的自组织特征映射网络分类与排序·····	张钦弟, 张金屯, 苏日古嘎, 等 (2990)
上海大莲湖湖滨带湿地的生态修复·····	吴 迪, 岳 峰, 罗祖奎, 等 (2999)
芦芽山典型植被土壤有机碳剖面分布特征及碳储量·····	武小钢, 郭晋平, 杨秀云, 等 (3009)
土壤微生物群落结构对中亚热带三种典型阔叶树种凋落物分解过程的响应·····	张圣喜, 陈法霖, 郑 华 (3020)
中亚热带几种针、阔叶树种凋落物混合分解对土壤微生物群落碳代谢多样性的影响·····	陈法霖, 郑 华, 阳柏苏, 等 (3027)
桂西北喀斯特峰丛洼地表层土壤养分时空分异特征·····	刘淑娟, 张 伟, 王克林, 等 (3036)
重金属 Cd 胁迫对红树蚬的抗氧化酶、消化酶活性和 MDA 含量的影响·····	赖廷和, 何斌源, 范航清, 等 (3044)
海南霸王岭天然次生林边缘效应下木质藤本与树木的关系·····	乌玉娜, 陶建平, 奚为民, 等 (3054)
半干旱黄土丘陵区不同人工植被恢复土壤水分的相对亏缺·····	杨 磊, 卫 伟, 莫保儒, 等 (3060)
季节性干旱对中亚热带人工林显热和潜热通量日变化的影响·····	贺有为, 王秋兵, 温学发, 等 (3069)
新疆古尔班通古特沙漠南缘多枝桉柳光合作用及水分利用的生态适应性·····	王珊珊, 陈 曦, 王 权, 等 (3082)
利用数字图像估测棉花叶面积指数·····	王方永, 王克如, 李少昆, 等 (3090)
野生大豆和栽培大豆光合机构对 NaCl 胁迫的不同响应·····	薛忠财, 高辉远, 柳 洁 (3101)
水磷耦合对小麦次生根特殊根毛形态与结构的影响·····	张 均, 贺德先, 段增强 (3110)
应用物种指示值法解析昆崙山植物群落类型和植物多样性·····	孙志强, 张星耀, 朱彦鹏, 等 (3120)
基于 MSIASM 方法的中国省级行政区体外能代谢分析·····	刘 晔, 耿 涌, 赵恒心 (3133)
不同生态区烟草的叶面腺毛基因表达·····	崔 红, 冀 浩, 杨惠娟, 等 (3143)
B 型烟粉虱对 23 种寄主植物适应度的评估和聚类分析·····	安新城, 郭 强, 胡琼波 (3150)
杀虫剂啉虫脒和毒死蜱对捕食蜘蛛血细胞 DNA 的损伤作用·····	李 锐, 李生才, 刘 佳 (3156)
杀真菌剂咪鲜安对蓼花臂尾轮虫的影响·····	李大命, 陆正和, 封 琦, 等 (3163)
长、短期连续孤雌生殖对蓼花臂尾轮虫生活史和遗传特征的影响·····	葛雅丽, 席貽龙 (3170)
专论与综述	
区域景观格局与地表水环境质量关系研究进展·····	赵 军, 杨 凯, 邵 俊, 等 (3180)
露水对植物的作用效应研究进展·····	叶有华, 彭少麟 (3190)
葡萄座腔菌科研究进展——鉴定, 系统发育学和分子生态学·····	程燕林, 梁 军, 吕 全, 等 (3197)
人工林生产力年龄效应及衰退机理研究进展·····	毛培利, 曹帮华, 田文侠, 等 (3208)
树木年轮在干扰历史重建中的应用·····	封晓辉, 程瑞梅, 肖文发, 等 (3215)
植物中逆境反应相关的 WRKY 转录因子研究进展·····	李 冉, 娄永根 (3223)
研究简报	
三江源地区高寒草原土壤微生物活性和微生物量·····	任佐华, 张于光, 李迪强, 等 (3232)
3 种黑杨无性系水分利用效率差异性分析及相关 <i>ERECTA</i> 基因的克隆与表达·····	郭 鹏, 夏新莉, 尹伟伦 (3239)
猕猴桃园节肢动物群落重建及主要类群的生态位·····	杜 超, 赵惠燕, 高欢欢, 等 (3246)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 298 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-06



封面图说: 盘锦市盘山县水稻田——盘锦市位于辽宁省西南部, 自古就有“鱼米之乡”的美称。这里地处温带大陆半湿润季风气候, 有适宜的温度条件和较长的生长期以供水稻生长发育, 农业以种植水稻为主, 年出口大米达 1 亿多公斤, 是国家级水稻高产创建示范区和重要的水稻产区。

彩图提供: 沈菊培博士 中国科学院生态环境研究中心 E-mail: jpshe@reccs.ac.cn

新疆古尔班通古特沙漠南缘多枝怪柳光合作用 及水分利用的生态适应性

王珊珊^{1,2}, 陈曦^{1,*}, 王权^{1,3}, 包安明¹, 曹晓明^{1,2}, 李平衡^{1,3}

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;
3. 静冈大学农学部, 日本 4228529)

摘要:以新疆古尔班通古特沙漠南缘荒漠绿洲过渡带的建群种多枝怪柳(*Tamarix ramosissima*)为研究对象,分别在自然状态,模拟降水、遮光处理以及降水和遮光双因子处理下,利用 LI-6400 光合作用系统和 Model 3500 植物水分压力室分别测定光合作用和枝条水势,研究多枝怪柳枝条水势对浅层土壤水分和光照变化的响应,以及在不同条件下的水分利用效率(WUE)和光能利用效率(LUE)的日进程。结果表明:这4种处理方式下,枝条水势随土壤水分的变化没有明显的差异,趋势表现为黎明前枝条水势最高(-1.2 MPa),正午枝条水势最低(-3.2 MPa),太阳落山后枝条水势逐渐升高的趋势;WUE和LUE日变化呈现出近似双峰型抛物线,WUE日变化曲线在11:00和16:00有两个不明显的波峰,LUE日变化曲线在10:00和16:00出现两个明显波峰。当光照发生变化时,遮光处理下的WUE和LUE日变化都较自然状态下的日变化低,分别降低了1.5 $\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$ 的WUE和0.20 $\times 10^{-2}$ $\mu\text{mol CO}_2/\mu\text{mol APAR}$ 的LUE。研究表明,作为深根系植物的多枝怪柳,生存主要依靠地下水来补给水分,所以浅层土壤水分条件变化没有明显引起光合和蒸腾的响应。而午间光强、高温是构成多枝怪柳光抑制现象的主要原因,这是多枝怪柳长期在荒漠绿洲过渡带形成的对抗环境胁迫的一种表现。

关键词:生态适应性;水分利用效率;光能利用效率;多枝怪柳;荒漠绿洲过渡带

Ecological adaptability of photosynthesis and water use for *Tamarix ramosissima* in the southern periphery of Gurbantunggut Desert, Xinjiang

WANG Shanshan^{1,2}, CHEN Xi^{1,*}, WANG Quan^{1,3}, BAO Anming¹, CAO Xiaoming^{1,2}, LI Pingheng^{1,3}

1 Xinjiang Institute of Ecology and Geography, CAS, Urumqi 830011, China

2 Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 Faculty of Agriculture, Shizuoka University, Shizuoka 4228529, Japan

Abstract: Photosynthesis and water use are the most important factors limiting photosynthetic assimilation of carbon dioxide and growth of individual plant in terrestrial ecosystems. To understand the role of photosynthesis and water use in plant of the desert-oasis ecotone, this study took *Tamarix ramosissima*-a native dominant desert shrub-as a subject to investigate the plant adaptability to light and precipitation under different controlled conditions. The experiment was conducted within the desert-oasis ecotone in the southern periphery of Gurbantunggut Desert with four treatments. The treatments are A: natural state without any disturbance, B: simulated precipitation with 12 mm which is equivalent to the average of the maximum precipitation event within September last five years taking place in target desert-oasis ecotone, C: shading, i. e. the whole plant covered by opaque black cloth and D: a combination of treatments B and C. Using the LI-6400 system by LI-COR, Inc and Model 3005 plant water pressure chamber, the authors studied the responses of photosynthesis and the variation of water potential of branches to the simulated precipitation and light variation, and investigated the diurnal course of water use efficiency (WUE) and light use efficiency (LUE) of *T. ramosissima*. Results showed that the treatment B resulted in rich

基金项目:国家基金项目(40730633)资助;中国科学院“百人计划”资助;西部之光人才培养计划西部博士专项(XBBS200801)

收稿日期:2010-05-28; **修订日期:**2010-11-29

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: chenxi@ms.xjb.ac.cn

water content ranging from 15% to 43% in shallow soil layer within the depth of 0—40cm, depending on the evaporation, but water content in the soil layer between 40cm and 100cm does not exit significant different from in natural state, which indicates that water from precipitation can only infiltrate to the depth of 40cm of the soil under the condition with the maximum precipitation event. There is slight difference in variations of the water potential in branches with changes of surface soil moisture under the four treatments. The highest and lowest water potential in branch presented in predawn (-1.2 MPa) and midday (-3.2 MPa) respectively, and then the water potential in branch gradually increased after the sunset. The diurnal variations of *WUE* and *LUE* in *T. ramosissima* showed bimodal pattern. The diurnal courses of *WUE* and *LUE* under shading conditions was lower $1.5 \mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$ and $0.20 \times 10^{-2} \mu\text{mol CO}_2/\mu\text{mol APAR}$ than those under natural conditions with the variation of light, respectively. It is demonstrated that even the shallow soil is under an extreme drought condition, water potential and photosynthesis of *T. ramosissima* branches are still able to stay at a normal level. A lower water potential indicates that *T. ramosissima* is able to survive under extreme drought stress. Physiological activity and biomass accumulation of *T. ramosissima* rely on the stable groundwater, and variations of soil moisture in the upper soil layers has slight influence on its photosynthesis and evapotranspiration. The “photosynthetic descent” phenomenon of *T. ramosissima* is caused by the high light and temperature in midday, which reflected the ecological adaptability of *T. ramosissima* in the course of cooperative evolution with the environment. Furthermore, the sensitive regulation of stomata was the adaptability mechanism in response of *T. ramosissima* to the variation of light and droughty habitats. These phenomena are significantly related to the water use strategy, leaf morphology, root function and eco-physiological adaptation of *T. ramosissima*. However, the groundwater table decreased in some transition regions between deserts and oasis over the past 50 years. As a result, *T. ramosissima* is difficult to obtain underground water and can not effectively adjust the individual ecological structure and water use strategies within certain period to adapt to changes in water conditions. They generate negative effect on phreatophyte species — *T. ramosissima*, and even threatens its survival in the future. Therefore, it is suggested to prevent overexploitation of groundwater and over-harvesting *T. ramosissima*.

Key Words: ecological adaptability; water use efficiency (*WUE*); light use efficiency (*LUE*); *Tamarix ramosissima*; desert-oasis ecotone

植物的光合作用和水分利用是荒漠生态系统研究的关键生态问题^[1]。光照强度是影响植物光合作用的主导环境因子^[2],由于光照强度的限制,在弱光下即使其它条件适合,光合速率也会降低;而光照太强,则会产生光抑制即光合“午休”,这种现象是植物为适应荒漠干旱环境的一种保护机制^[3-4]。水分条件可以限制植物光合同化和个体生长发育,其变化不仅使植物的形态结构发生了变化,最直接的是对其水分生理及生长特征的影响^[5]。迄今为止,许多学者对荒漠植被的生长特性、抗旱适应性以及在水盐胁迫下的生理生化响应等方面进行了广泛的研究^[6-8]。但尚缺乏对降水量和潜在蒸发量反差巨大,太阳辐射量日变化存在较大差异的荒漠绿洲过渡带展开研究。此外,随着全球气候变化的广泛影响,在过去近 20a 里荒漠绿洲过渡带天气变化剧烈,降雨量有明显的增加^[9]。因此,要从根本上认识到荒漠绿洲过渡带植物对现今和未来生境和气候变化的响应和适应机制,必须深入的了解植被对不同环境因子适应过程的协调性。本研究针对新疆古尔班通古特沙漠南缘与绿洲过渡带的建群种多枝怪柳为例,以光合作用和水分利用对环境的生态适应性展开研究。试验对 4 种不同处理(无处理、模拟降水处理、遮光处理以及模拟降水和遮光双因子处理)下的多枝怪柳进行比较,研究叶片的光合作用和枝条水势对浅层土壤水分和光照变化的响应,以及水分利用效率(*WUE*)和光能利用效率(*LUE*)的日进程,以了解多枝怪柳的生理生态等方面在荒漠绿洲过渡带适应的协调性。同时,研究可进一步为荒漠绿洲过渡带植被的生态适应性提供科学依据,并有助于探讨干旱胁迫和光照变化对荒漠绿洲过渡带植物生理生态过程和未来荒漠过渡带植物群落演替的影响。

1 材料和分析

1.1 研究区

本研究在中国科学院新疆生态与地理研究所阜康荒漠生态系统观测试验站(北纬 $44^{\circ}17'$, 东经 $87^{\circ}56'$, 海拔 475 m) 所在的荒漠绿洲过渡带内进行。该站位于中纬度欧亚大陆腹地、天山东段、博格达峰北麓和古尔班通古特沙漠南缘之间, 所在位置属于三工河流域, 临近新疆维吾尔自治区阜康市境内的新疆生产建设兵团直属 222 团——阜北农场(图 1)。该研究区属于典型的温带大陆性荒漠气候, 四季分明, 冬季寒冷, 夏季炎热且有干热风发生, 春秋气温升降强烈。年均温 6.6°C , 最高气温 42.6°C , 最低气温 -41.6°C , 年降水量 160 mm, 年均蒸发量 2000 mm; 降水稀少且时空分布不均。由于区域内存在显著地势变化, 气候具有垂直地带性分布特征。

1.2 研究方法

1.2.1 试验材料与设计

多枝怪柳(*Tamarix ramosissima*) 属于怪柳科木本灌木, 属于中亚、西亚成分, 是我国荒漠地区广泛分布的植物之一。多枝怪柳的特点是耐干旱、耐盐碱、耐贫瘠、耐风蚀和沙埋。它不仅是优良的防风固沙植物, 同时是水土保持和盐碱地的绿化造林树种, 具有较强的适应干旱荒漠环境的特征^[10]。

本试验于 2009 年 8 月至 9 月展开, 选择天气晴朗无风日进行。试验样地设在地表覆被未受破坏、远离人为干扰的盐生旱生荒漠绿洲过渡带开展, 设置面积为 $90\text{ m}\times 90\text{ m}$ 样方。为了记录在 4 种处理下多枝怪柳的光合能力和枝条水势的日变化进程, 随机选择 12 株长势良好的多枝怪柳作为研究对象, 选择标准依据株高 (1.75 ± 0.15) m 和冠幅 (1.55 ± 0.19) m。4 种处理包括: 无处理、模拟降水处理、遮光处理以及降水和遮光双重处理。其中, 无处理就是在自然状态下观测; 模拟降水处理采用人工对根部浇灌的方式, 在试验前一天傍晚(当地时间 19:00)模拟降雨约 12 mm, 该降雨量是近 5a 平均当月最大降水事件雨量; 遮光处理, 对整株样树用不透光黑布(透光率 $<5\%$) 进行全封闭遮盖, 遮光时间从试验前一天傍晚(当地时间 19:00)到次日光照最强的当地时间 11:00 ($PAR_{\text{max}} = 1327.73\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), 随后揭开黑布测量; 降水和遮光双重处理是对样树同时进行模拟降雨和遮光处理。每种处理各重复 3 棵树, 选取成熟、生长状况良好的叶片和枝条进行测定。

1.2.2 光合反应测定

LI-6400 便携式光合作用系统(LI-COR, Lincoln, Nebraska, USA) 用于光合日进程的测定, 测定参数包括: 叶片净光合速率 (P_n , $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)、蒸腾速率 (T_r , $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)、光合有效辐射 (PAR , $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)、大气温度 (T_a , $^{\circ}\text{C}$)、叶片温度 (T_L , $^{\circ}\text{C}$) 和空气相对湿度 (RH , %) 等。每次测定均重复 3 次, 测定从当地时间 6:00—18:00 每小时测定 1 轮。选取成熟、生长状况良好且互不遮光的叶片进行测定。尽量将叶片平铺于叶室内, 避免相互遮挡, 以便发散光能够充满整个叶室, 所有暴露于叶室中的叶表面均能同等地接受光照, 从而所有小叶的叶表面积的总和被视为光合有效面积。光合测定后, 剪下叶室中的小叶, 扫描后用 CI-400 计算机图像分析软件(CIAS, CID Inc. USA) 计算总叶面积, 再根据算出的实际叶面积折算光合速率。

水分利用效率(WUE , water use efficiency) 是植物对水分吸收利用过程效率的指标^[11]。广泛应用于生态

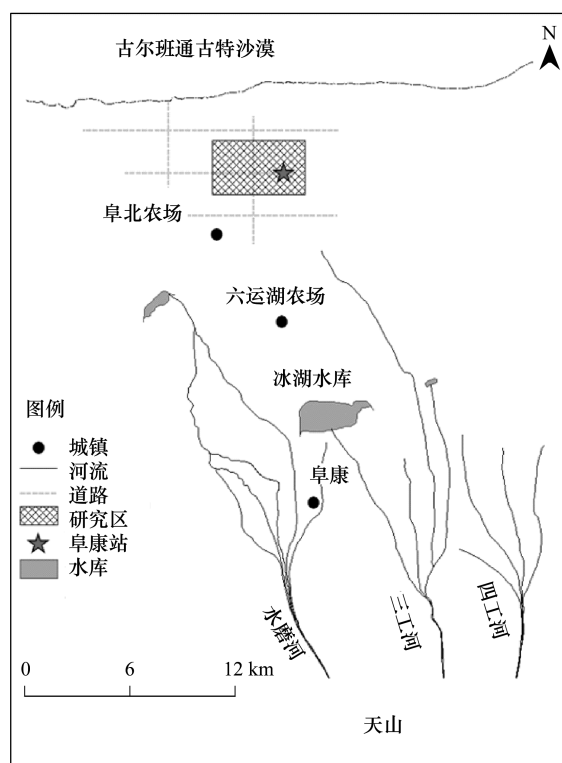


图 1 研究区地理位置

Fig. 1 Geographical location of the study area

学的叶片水平 WUE ,是指单位水量通过叶片蒸腾散失时光合作用所形成的有机物的量,是水分利用效率的瞬时值,表达式为 $WUE = P_n / Tr$,单位 $\mu\text{molCO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$, P_n 为单位叶面积上叶片的净光合速率; Tr 为单位叶面积的蒸腾速率^[7]。

光能利用效率(LUE)是植物光合作用量子效率的固定参数,被定义为单位土地面积上植物通过光合作用所产生的有机物中所含的能量与这块土地所接受的太阳能的比^[12]。表达式为 $LUE = P_n / PAR$,单位 $\mu\text{mol CO}_2/\mu\text{mol APAR}$, RAR 为光合有效辐射^[13]。

1.2.3 枝条水势测定

在测定光合日进程的实验日,采用 Model 3005 植物水分压力室(PMS Instrument Company, Albany, USA)测定多枝桤柳的枝条水势。比较处理条件下的特定生境中多枝桤柳通常能够耐受的枝条水势变化的阈值。测定从黎明前到傍晚,即当地时间 5:00—19:00 间测定,每小时测定 1 次。每组测定选择不同处理的植株 3 株,每株上随机选取 2 个叶片较多的枝条。即取样重复 6 次,数据平均值即为特定时刻多枝桤柳的枝条水势。

1.2.4 环境因素测定

本试验气象要素由微气象观测系统(Campbell Scientific, Logan, Utah, USA)观测获得。模拟降水结束后,进行降雨前和模拟降水后 5h,15h 和 20h 的土壤水分状况调查。从地表至地下 100cm 每隔 10cm 取土样,每次取样重复 3 次,用称重法测定土壤含水量。

1.2.5 统计分析

利用 Origin 7.0 (OriginLab Corporation, USA)进行数据分析和作图。平均同一处理 3 次重复所得的枝条水势、水分利用效率和光能利用效率曲线,标准误差均在 $(\pm 2 - \pm 21)\%$ 。

2 结果和分析

2.1 模拟降水后的土壤含水量

当无有效降雨时间长达 15d 后,自然状况下土壤含水率在 15% 以下,尤其浅层土壤严重干裂,含水量小于 5%。在原始荒地人工模拟降水为近 5a 平均当月最大降水事件(12 mm),浅层土壤含水量充足,在 0—40cm 的浅层土壤中含水量随着蒸发量有所变化(15%—43%),但 40—100cm,其土壤含水量与自然状态下无明显变化。在模拟降水 5h 后,表层土壤含水率为 43.78%,15h 后降至 31.83%,20h 后降至 25.90% (图 2)。由此可见,当地潜在蒸发能力强,当月最大降水事件的降水量只能渗入土壤表层约 50cm 处。而对于深根系的荒漠物种,降水几乎不能达到根部。

2.2 4 种处理对多枝桤柳枝条水势的影响

在 4 种处理下,多枝桤柳的枝条水势的日变化表现为黎明前枝条水势最高,正午枝条水势最低,太阳落山后枝条水势逐渐升高的趋势,变化范围在 -1.2 MPa 到 -3.2 MPa 之间,远低于一般植物所能耐受的极限(绝对值大),说明多枝桤柳能在极度干旱胁迫下生存(图 3)。多枝桤柳黎明前枝条水势在自然状态(-1.36 MPa)和降水处理(-1.51 MPa),降水处理略低(表 1)。正午降水遮光处理的枝条水势最低为 -3.10 MPa (表 1)。在 4 种处理下的多枝桤柳,枝条水势的日变化过程差异性不显著($P < 0.05$)。考虑到植株及叶片本事可能所造成的个体差异,图中 4 条对应的曲线之间的差异可以忽略不计。这表明,多枝桤柳的枝条水势在模拟降水和遮光状态下与自然状态下基本相同,不受降雨和光照的影响。

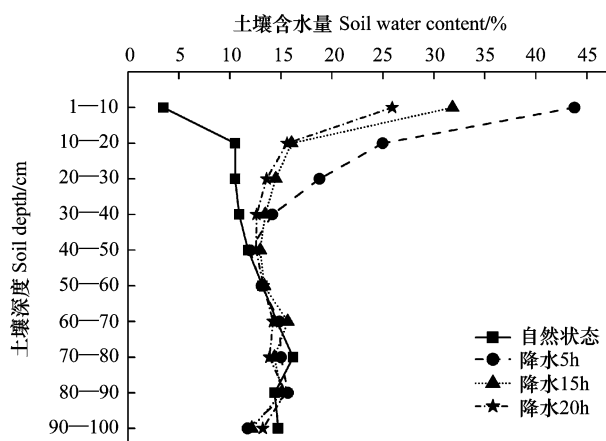


图 2 土壤含水量剖面

Fig. 2 Soil water content in the profiles

表 1 不同处理条件下的黎明前枝条水势和正午枝条水势

Table 1 Predawn and midday water potential of branches under different treatments

处理 Treatment	自然状态 Natural	降水处理 Simulated precipitation	遮光处理 Shading	降水遮光 Double treatments
黎明前水势 Predawn water potential/MPa	-1.36 ± 0.04	-1.51 ± 0.02	—	—
正午水势 Midday water potential/MPa	-2.78 ± 0.16	-2.99 ± 0.17	-2.96 ± 0.12	-3.10 ± 0.17

2.3 4 种处理对多枝怪柳水分利用效率(WUE) 和光能利用效率(LUE) 的影响

4 种处理下多枝怪柳的水分利用效率(WUE) 的变化如图 4, 自然状态和降水处理下的 WUE 曲线呈显著相关($P < 0.05$), 峰值出现在当地时间 8:00, 最大值 WUE_{max} 达到 $4.70 \mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$ 。在遮光处理和降水遮光双重处理的 WUE, 其曲线也呈显著相关($P < 0.05$), 在揭开不透光黑布 11:00 时, 两种状态下的 WUE 都相对自然状态下的较低, 相差达到约 $1.5 \mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$ 的 WUE, 但 2h 以后 WUE 均恢复到自然状态下。总体来看, 多枝怪柳的 WUE 在早上较高, 经过分析发现这是由于 P_n 和 T_r 在 6:00—8:00 都较小并且处在升高状态, 但 8:00 的 P_n 的增长速度是 T_r 的 5 倍, 所以 WUE 在 8:00 达到最高。但随后的时间里 T_r 的变化速度都大于了 P_n , 所以 WUE 一直处于下降趋势。此外, 在 11:00 和 16:00 WUE 的日变化曲线有两个不明显的波峰, 表现为多枝怪柳的水分利用效率出现了“午休”现象。

由光合速率和光合有效辐射比值 P_n/PAR 得到的光能利用效率(LUE) 曲线呈现出近似双峰型(图 5)。自然状态和降水处理下的 LUE 曲线, 趋势保持一致, 经过统计分析两种处理下曲线仍呈显著相关($P < 0.05$)。在遮光处理和降水遮光双重处理下的 LUE, 在 11:00 揭开不透光黑布时, 两种状态下的 LUE 较自然状态下相差约 $0.20 \times 10^{-2} \mu\text{mol CO}_2/\mu\text{mol APAR}$ 。揭开黑布 2h 后 LUE 恢复到自然状态, 随后缓慢的下降, 最后由于 PAR 的迅速下降, LUE 上升到与其它处理相同水平。

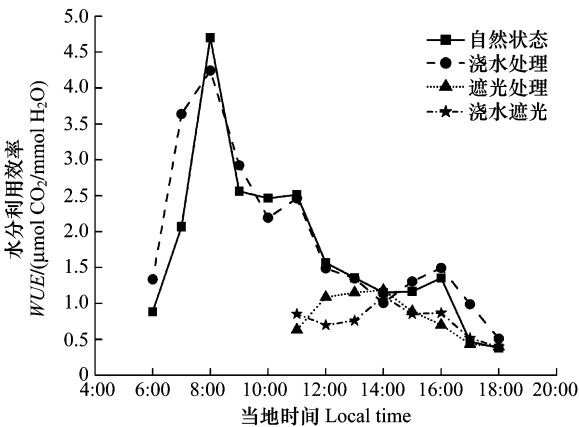


图 4 不同处理下的水分利用效率(WUE) 日变化
Fig. 4 Diurnal course of water use efficiency (WUE) under different treatments

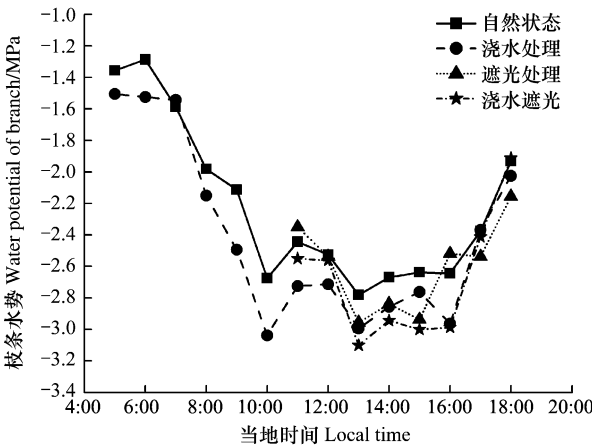


图 3 不同处理下的枝条水势日变化
Fig. 3 Diurnal course of water potential of branches under different treatments

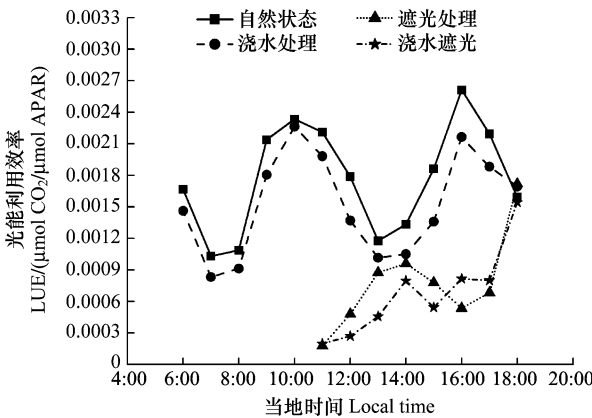


图 5 不同处理下的光能利用效率(LUE) 日变化
Fig. 5 Diurnal course of light use efficiency (LUE) under different treatments

可以从图 5 上清楚看到,多枝怪柳的 LUE 日变化曲线呈现近似双峰抛物线,13:00 到 14:00 之间出现了“光合下调”现象,分别在 10:00—11:00 ($0.23 \times 10^{-2} \mu\text{mol CO}_2/\mu\text{mol APAR}$) 和 16:00 ($0.24 \times 10^{-2} \mu\text{mol CO}_2/\mu\text{mol APAR}$) 出现了波峰。此外,6:00 和 18:00 的 LUE 都维持在较高的 $0.16 \times 10^{-2} \mu\text{mol CO}_2/\mu\text{mol APAR}$ 左右,这是由于 P_n 和 PAR 在早晚值都较小,但 PAR 较 P_n 值小很多,造成比率(LUE)较大。

3 讨论与结论

3.1 模拟降水对多枝怪柳的影响

本试验研究区位于古尔班通古特沙漠南缘与绿洲过渡带,年降水量较低,且在 1a 之中分布不均匀,年际变动较大,加上高温和相对较低的湿度导致较高的空气水分需求,造成当地灌木长期面临严重的水分匮乏。通常,不同功能型植物的生理活动,尤其是光合作用,对环境变化的响应有着显著的差异:某些功能型的植物较敏感,如大部分 C_3 作物和针叶林树种,当地表土壤干旱发生时,其光合作用骤降为水分条件良好时的 40%—60%^[14-15]。荒漠区植物长期面临水分匮乏的威胁和生存的生理极限,理论上光合作用应该表现对降水变化的显著响应^[7]。

然而,本研究结果却与通常假定的状况不同。当降雨状态与自然状态下浅层土壤水分条件变化时,多枝怪柳的枝条水势没有改变,尤其模拟降水和自然状态的黎明前枝条水势和正午枝条水势基本一致(图 3,表 1)。另一方面,在模拟较大的降雨状态和持续干旱的自然状态下,自然状态和降水处理下的水分利用效率(WUE)和光能利用效率(LUE)日变化趋势基本保持一致。 WUE 作为一种瞬时和动态的水分变化监测指标,能快速捕捉到多枝怪柳的叶片水分动态变化^[8],然而浅层土壤水分条件变化并没有引起 WUE 的变化。就本文结果而言,即使当浅层土壤处于极度干旱时,多枝怪柳仍未受到任何干旱胁迫的影响,其枝条水势和光合作用这些生理活动仍能够维持在相同的水平。

3.2 遮光对多枝怪柳的影响

遮光试验对多枝怪柳水分利用效率(WUE)和光能利用效率(LUE)都有显著的影响,并在恢复同样光照情况后 2 小时恢复到自然状态下。这在遮光处理和遮光降水双重处理中都得以证明(图 5),并旁证了即使在遮光降水双重处理中,降水对多枝怪柳的 WUE 和 LUE 也没有显著影响。研究表明气孔对光照的响应是对极度干旱荒漠环境的一种保护机制^[16],光照的变化引起气孔适应性的调节,包括对 P_n 和 Tr 的影响,而这些最终导致了水分和光照利用效率的变化。邓雄等^[17]发现怪柳和大多数植物的气孔开放刚好相反,在光强降低时,气孔关闭很快,光强升高时气孔开放很慢。这就证明了为什么多枝怪柳在光照恢复后 2h 才恢复到自然状态下。事实也证明多枝怪柳是一种的阳性喜光植物,但也能耐受一定的阴湿环境。但由于对其内在的机制了解甚少,今后仍需要在这方面做进一步的探讨。

3.3 多枝怪柳的生态适应

通常认为,当环境条件变化时,若植物生理活动基本上能够保持稳定,则在个体形态方面势必发生了一定程度的适应性调整来满足正常生理活动的维持^[18-20]。荒漠植物通过典型的浅根系、小根冠比、高叶片导度和植物水分状态高度敏感性的气孔来最大限度的利用不定降水。如生活在荒漠绿洲过渡带的梭梭和琵琶柴是非深根型植物,主要水源是降水形成的浅层土壤水,其用水策略是根据水分条件有效的调节根系和冠层生长,从而维持正常的光合作用^[21]。处在不同光照生态区域的植物,接收的太阳辐射量存在差异,因此,植物在长期的进化过程中,形成了特有的需光特性^[22]。在本次控制试验的模拟降水处理中,多枝怪柳生理活动不受浅层土壤含水量的影响;在遮光处理中,其 WUE 和 LUE 都受到了光照的影响,这些现象与多枝怪柳的用水策略、叶片形态、根系功能型及其生态生理适应性有关。

多枝怪柳是典型的深根植物,生存主要依赖于潜层地下水^[23]。这类型植物的有效吸收根基本不受到浅土层水分匮乏的影响,对稳定地下水的依赖使得其光合作用长期维持在正常水平。在干旱年,多枝怪柳可忍耐或避免极度水分短缺的发生,其根能够吸收较深湿润土层中的水分,通过根系运移,将其释放到浅层干燥土壤中,中间土层分布的侧根便可利用这些水分^[24]。因而,当浅层土壤处于极度干旱时,多枝怪柳仍能进行有

效的光合反应,并调节水分损失以维持正常的生理活动。

在荒漠绿洲过渡带,多枝怪柳 *WUE* 和 *LUE* 日变化都呈现了近似双峰型抛物线(图 4,图 5),*WUE* 日变化曲线在 11:00 和 16:00 有两个不明显的波峰,*LUE* 日变化曲线在 10:00 和 16:00 出现两个明显波峰,13:00—14:00 之间出现了“午休”现象。说明净光合速率在荒漠绿洲过渡带环境下出现了“光合下调”现象。引起荒漠植物“光合下调”现象最主要的环境因素有:①午间光强、高温,引起叶肉细胞同化能力不足;②水分亏缺引起的气孔导度降低或造成叶片局部水分胁迫^[25]。通过上面的分析,多枝怪柳依靠较稳定的地下水,所以不会因为水分亏缺引起“光合下调”现象,可以排除第 2 个原因。而光抑制是光合机构吸收的光能过剩使光合功能减弱的现象^[26]。试验日午间光强最高达到了 $1300\text{—}1330\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,空气温度达到了 $29\text{—}36^{\circ}\text{C}$,地表温度达到 $45\text{—}55^{\circ}\text{C}$,空气相对湿度达到 $16\%\text{—}22\%$ 。可见,在荒漠绿洲过渡带,午间光强、高温是构成多枝怪柳光抑制现象的主要原因。光合作用的“午休”是多枝怪柳长期在荒漠绿洲过渡带形成的对付环境胁迫的一种表现,这避免了多枝怪柳的过度失水和保护了光合机构,并且加强了热耗散过程的运作^[27]。作为一种调节过程对多枝怪柳的生存是有益的,但也以牺牲光合生产力为代价。

此外,多枝怪柳具有两种枝条,一种是木质化的长枝,一种是自木质化生长枝上发出的当年生绿色营养小枝。小枝上的叶为减少水分蒸腾而退化呈鳞片状,无叶柄,呈抱茎或半抱茎,螺旋状排列^[28]。这些营养小枝通过增厚角质层、气孔器深陷、增大孔下室、产生发达的毛及乳状突、减小髓部面积等策略来抑制蒸腾、防止水分散发,减少光线辐射,增大排盐效率,防止干旱及其他伤害及提高光合作用效率,进而形成了一系列抗干旱、高温,耐盐碱、风蚀沙埋的特性^[10]。多枝怪柳正是通过这些特性,尤其是灵敏的气孔对光照进行适应性调节,以达到减小光线辐射和提高光能和水能利用效率的目的。

3.4 多枝怪柳的生存前景

综合前人和以上的研究结果表明,多枝怪柳在水分利用和光能利用方面都具有很强的适应极度干旱和高辐射的能力。通过对特殊生境的长期遗传适应与短期生理、个体水平的调节,多枝怪柳已经进化为水分利用和光能利用的高度机会主义和自我设计者^[29-30]。但随着降水强度和频度的显著增加,同时,在一些绿洲和荒漠过渡区,地下水位由于人类的过度开采而迅速下降。这都将导致多枝怪柳在得不到地下水的水分补给,同时也来不及有效的调整个体生态结构和用水策略以适应新的水分条件变化,最终无法维持正常的生理生态活动,以至生存受到威胁。在荒漠与绿洲过渡带群落种间关系中慢慢处于竞争劣势,进而逐渐被环境淘汰。因此,要防止地下水位的进一步下降和多枝怪柳的过度砍伐。

References:

- [1] Southgate R I, Master P, Seely M K. Precipitation and biomass changes in the Namib Desert dune ecosystem. *Journal of Arid Environments*, 1996, 33(3): 267-280.
- [2] Li C H, Zhao Y L, Yang G H, Luan L M, Wang Q, Li N. Effects of shading on photosynthetic characteristics of different genotype maize. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(6): 1259-1264.
- [3] Tan H J, Zhou H Y, Li X R, Zhang Z S. Primary studies on daily photosynthetic changes of rare and endangered plant *Helianthemum soongoricum*. *Journal of Desert Research*, 2005, 25(2): 262-267.
- [4] Gamon J A, Field C B, Bilger W, Björkman O, Fredeen A L, Peñuelas J. Remote sensing of the xanthophyll cycle and chlorophyll fluorescence in sunflower leaves and canopies. *Oecologia*, 1990, 85(1): 1-7.
- [5] Xu G Q, Li Y. Rooting depth and leaf hydraulic conductance in the xeric tree *Haloxylon ammodendron* growing at sites of contrasting soil texture. *Functional Plant Biology*, 2008, 35(12): 1234-1242.
- [6] Wang Y L, Li F, Liu J, Guo X P, Li X. A Study on protective capacity of *Tamarix hispida* to midday high sunshine in the lower reaches of the Tarim River. *Arid Land Research*, 2010, 27(3): 355-362.
- [7] Xu H, Li Y, Xu G Q, Zou T. Ecophysiological response and morphological adjustment of two Central Asian desert shrubs towards variation in summer precipitation. *Plant, Cell and Environment*, 2007, 30(4): 399-409.
- [8] Heschel M S, Donohue K, Hausmann N, Schmitt J. Population differentiation and natural selection for water-use efficiency in *Impatiens Capensis*. *International Journal of Plant Sciences*, 2002, 163(6): 907-912.
- [9] Xu G Q, Wei W S. Climate change of Xinjiang and its impact on eco-environment. *Arid Land Geography*, 2004, 27(3): 14-18.
- [10] Zeng F J, Foetzki A, Li X Y, Zhang X M, Li X M, Runge M. A preliminary study on the effect of irrigation on water physiology of *Tamarix*

- ramosissima in Cele oasis. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13: 849-853.
- [11] Blicker P S, Olson B E, Wraith J M. Water use and water-use efficiency of the invasive *Centaurea maculosa* and three native grasses. Plant and Soil, 2003, 254(2): 371-381.
- [12] Goerner A, Reichstein M, Rambal S. Tracking seasonal drought effects on ecosystem light use efficiency with satellite-based PRI in a Mediterranean forest. Remote Sensing of Environment, 2009, 113(6): 1101-1111.
- [13] Jenkins J P, Richardson A D, Braswell B H, Ollinger S V, Hollinger D Y, Smith M L. Refining light-use efficiency calculations for a deciduous forest canopy using simultaneous tower-based carbon flux and radiometric measurements. Agricultural and Forest Meteorology, 2007, 143(15): 64-79.
- [14] Yang W B, Bao X F, Yang M R, Yang M. Research on relationship of physio-ecological water to droughty resistance for *Saxaul*. Acta Ecologica Sinica, 1991, 11(4): 318-323.
- [15] Jiang G M, Tang H P, Yu M, Dong M, Zhang X S. Response of photosynthesis of different plant functional types to environmental changes along Northeast China Transect. Trees-structure and Function, 1999, 14(2): 72-82.
- [16] Su P X, Cheng G D, Yan Q D, Liu X M. Photosynthetic regulation of C4 desert plant *Haloxylon ammodendron* under drought stress. Plant Growth Regulation, 2007, 51(2): 139-147.
- [17] Deng X, Li X M, Zhang X M, Ye W H, Foezki A, Runge M. Studies on gas exchange of *Tamarix ramosissima* Lbd. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(1): 180-187.
- [18] Anderson J E. Factors controlling transpiration and photosynthesis in *Tamarax chinensis* Lour. Ecology, 1982, 63(1): 48-56.
- [19] Li Y, Xu H, Cohen S. Long-term hydraulic acclimation to soil texture and radiation load in cotton. Plant, Cell and Environment, 2005, 28(9): 492-499.
- [20] Huang M L, Jiang H, Jin Q, Yu S Q. The seedling growth and photosynthetic characteristic of three ligneous plants with different evolutionary time to UV-B radiation stress. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(8): 1998-2009.
- [21] Xu H, Li Y. Water use strategies and corresponding leaf physiological performance of three desert shrubs. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2005, 25(7): 1309-1316.
- [22] Zhang B B, Jiang W B, Weng M L, Han J. Research progress on photosynthetic characteristics of horticulture and landscape tree species under shading condition. Nonwood Forest Research, 2009, 27(3): 115-119.
- [23] Ginzburg C. Organization of the adventitious root apex in *Tamarix aphylla*. American Journal of Botany, 1967, 54(1): 4-8.
- [24] Schwinning S, Ehleringer J R. Water use trade-offs and optimal adaptations to pulse-driven arid ecosystems. Journal of Ecology, 2001, 89(3): 464-480.
- [25] Kupperts M, Wheeler A M, Küppers B I L, Kirschbaum M U F, Farquhar G D. Carbon fixation in *eucalypts* in the field-analysis of diurnal variations in photosynthetic capacity. Oecologia, 1986, 70(2): 273-282.
- [26] Valladares F, Pearcy R W. Interactions between water stress, sun-shade acclimation, heat tolerance and photoinhibition in the sclerophyll *Heteromeles arbutifolia*. Plant, Cell and Environment, 1997, 20(8): 25-36.
- [27] Chen X Y, Tang Z C. Plant Physiology and Molecular Biology. Beijing: Higher Education Press, 2007: 216-217.
- [28] Zhang D Y, Tan D Y, Zhang J, Pan B R. Comparative anatomy of young branches of 16 species of *Tamarix* from China with reference to their ecological significance. Acta Botanica Yunnanica, 2003, 25(6): 653-662.
- [29] Xu H, Li Y. Water-use strategy of three central Asian desert shrubs and their responses to rain pulse events. Plant and Soil, 2006, 285(1/2): 5-17.
- [30] Yuan S F, Tang H P, Yan Y C. Photosynthetic characteristics of spring ephemerals in the desert ecosystem of Dzungaria Basin, northwest China. Environmental Earth Sciences, 2009, 59(3): 501-510.

参考文献:

- [2] 赵亚丽, 赵亚丽, 杨国航, 栾丽敏, 王群, 李宁. 遮光对不同基因型玉米光合特性的影响. 应用生态学报, 2007, 18(6): 1259-1264.
- [3] 谭会娟, 周海燕, 李新荣, 张志山. 珍稀濒危植物半日花光合作用日动态变化的初步研究. 中国沙漠, 2005, 25(2): 262-267.
- [6] 王燕凌, 李芳, 刘君, 郭献平, 李霞. 塔里木河下游刚毛怪柳对午间强光防御能力初探. 干旱区研究, 2010, 27(3): 355-362.
- [9] 徐贵青, 魏文寿. 新疆气候变化及其对生态环境的影响. 干旱区地理, 2004, 27(3): 14-18.
- [10] 曾凡江, Foetzki A, 李向义, 张希明, 李小明, Runge M. 策勒绿洲多枝怪柳灌溉前后水分生理指标变化的初步研究. 应用生态学报, 2002, 13(7): 849-853.
- [14] 杨文斌, 包雪峰, 杨茂仁, 杨明. 梭梭抗旱的生理生态水分关系研究. 生态学报, 1991, 11(4): 318-323.
- [17] 邓雄, 李小明, 张希明, 叶万辉, Foetzki A, Runge M. 多枝怪柳气体交换特性研究. 生态学报, 2003, 23(1): 180-187.
- [20] 黄梅玲, 江洪, 金清, 余树全. UV-B 辐射胁迫下不同起源时期的 3 种木本植物幼苗的生长及光合特性. 生态学报, 2010, 30(8): 1998-2009.
- [21] 许皓, 李彦. 3 种荒漠灌木的用水策略及相关的叶片生理表现. 西北植物学报, 2005, 25(7): 1309-1316.
- [22] 张斌斌, 姜卫兵, 翁忙玲, 韩健. 遮阴对园艺园林树种光合特性的影响. 经济林研究, 2009, 27(3): 115-119.
- [27] 陈晓亚, 汤章程. 植物生理与分子生物学. 北京: 高等教育出版社, 2007: 216-217.
- [28] 张道远, 谭敦炎, 张娟, 潘伯荣. 国产怪柳属 16 种植物当年生小枝比较解剖及其生态意义. 云南植物研究, 2003, 25(6): 653-662.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 11 June, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Responses of microbes-mediated carbon and nitrogen cycles to global climate change	SHEN Jupei, HE Jizheng (2957)
Formation of cyanobacterial blooms in Lake Chaohu and the photosynthesis of dominant species hypothesis	JIA Xiaohui, SHI Dingji, SHI Mianhong, et al (2968)
Unbalanced cyclical fluctuation pattern of intermittent outbreaks of beet armyworm <i>Spodoptera exigua</i> (Hübner) in China	WEN Lizhang, ZHANG Youjun, ZHU Liang, et al (2978)
Self-organizing feature map classification and ordination of <i>Larix principis-rupprechtii</i> forest in Pangquangou Nature Reserve	ZHANG Qindi, ZHANG Jintun, Suriguga, et al (2990)
Ecological effects of lakeside wetlands restoration in Dalian Lake, Shanghai	WU Di, YUE Feng, LUO Zukui, et al (2999)
Soil organic carbon storage and profile inventory in the different vegetation types of Luya Mountain	WU Xiaogang, GUO Jinping, YANG Xiuyun, et al (3009)
Response of soil microbial community structure to the leaf litter decomposition of three typical broadleaf species in mid-subtropical area, southern China	ZHANG Shengxi, CHEN Falin, ZHENG Hua (3020)
The decomposition of coniferous and broadleaf mixed litters significantly changes the carbon metabolism diversity of soil microbial communities in subtropical area, southern China	CHEN Falin, ZHENG Hua, YANG Bosu, et al (3027)
Spatiotemporal heterogeneity of topsoil nutrients in Karst Peak-Cluster depression area of Northwest Guangxi, China	LIU Shujuan, ZHANG Wei, WANG Kelin, et al (3036)
Effects of cadmium stress on the activities of antioxidant enzymes, digestive enzymes and the membrane lipid peroxidation of the mangrove mud clam <i>Geloina coaxans</i> (Gmelin)	LAI Tinghe, HE Binyuan, FAN Hangqing, et al (3044)
The edge effects on tree-liana relationship in a secondary natural forest in Bawangling Nature Reserve, Hainan Island, China	WU Yuna, TAO Jianping, XI Weimin, et al (3054)
Soilwater deficit under different artificial vegetation restoration in the semi-arid hilly region of the Loess Plateau	YANG Lei, WEI Wei, MO Baoru, et al (3060)
The diurnal trends of sensible and latent heat fluxes of a subtropical evergreen coniferous plantation subjected to seasonal drought	HE Youwei, WANG Qiubing, WEN Xuefa, et al (3069)
Ecological adaptability of photosynthesis and water use for <i>Tamarix ramosissima</i> in the southern periphery of Gurbantungut Desert, Xinjiang	WANG Shanshan, CHEN Xi, WANG Quan, et al (3082)
Estimation of leaf area index of cotton using digital Imaging	WANG Fangyong, WANG Keru, LI Shaokun, et al (3090)
Different response of photosynthetic apparatus between wild soybean (<i>Glycine soja</i>) and cultivated soybean (<i>Glycine max</i>) to NaCl stress	XUE Zhongcai, GAO Huiyuan, LIU Jie (3101)
Effects of water and phosphorus supply on morphology and structure of special root hairs on nodal roots of wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.)	ZHANG Jun, HE Dexian, DUAN Zengqiang (3110)
Applications of species indicator for analyzing plant community types and their biodiversity at Kunyushan National Forest Reserve	SUN Zhiqiang, ZHANG Xingyao, ZHU Yanpeng, et al (3120)
Societal metabolism for chinese provinces based on multi-scale integrated analysis of societal metabolism (MSIASM)	LIU Ye, GENG Yong, ZHAO Hengxin (3133)
Comparative gene expression analysis for leaf trichomes of tobacco grown in two different regions in China	CUI Hong, JI Hao, YANG Huijuan, et al (3143)
Performance evaluation of B biotype whitefly, <i>Bemisia tabaci</i> on 23 host plants	AN Xincheng, GUO Qiang, HU Qiongbo (3150)
Studies of hemocytes DNA damage by two pesticides acetamiprid and chlorpyrifos in predaceous spiders of <i>Pardosa astrigera</i> Koch	LI Rui, LI Shengcai, LIU Jia, (3156)
Effects of the fungicide prochloraz on the rotifer <i>Brachionus calyciflorus</i>	LI Daming, LU Zhenghe, FENG Qi, et al (3163)
Effects of long- and short-term successive parthenogenesis on life history and genetics characteristics of <i>Brachionus calyciflorus</i>	GE Yali, XI Yilong (3170)
Review and Monograph	
Review of the relationship between regional landscape pattern and surface water quality	ZHAO Jun, YANG Kai, TAI Jun, et al (3180)
Review of dew action effect on plants	YE Youhua, PENG Shaolin (3190)
Advances in Botryosphaeriaceae: identification, phylogeny and molecular ecology	CHENG Yanlin, LIANG Jun, LÜ Quan, et al (3197)
Advances in research on the mechanisms of age-related productivity decline of planted forests	MAO Peili, CAO Banghua, TIAN Wenxia, et al (3208)
The application of tree-ring on forest disturbance history reconstruction	FENG Xiaohui, CHENG Ruimei, XIAO Wenfa, et al (3215)
Research advances on stress responsive WRKY transcription factors in plants	LI Ran, LOU Yonggen (3223)
Scientific Note	
The soil microbial activities and microbial biomass in Sanjiangyuan Alpine grassland	REN Zuohua, ZHANG Yuguang, LI Diqiang, et al (3232)
The differences of water use efficiency (WUE) among three <i>Populus deltoids</i> clones, and the cloning and characterization of related gene, <i>PdERECTA</i>	GUO Peng, XIA Xinli, YIN Weilun (3239)
Arthropod community reestablishment and niche of the main groups in kiwifruit orchards	DU Chao, ZHAO Huiyan, GAO Huanhuan, et al (3246)

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 11 期 (2011 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 11 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