

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 24 期 Vol.33 No.24 **2013**

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 33 卷 第 24 期 2013 年 12 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 中国南方红壤生态系统面临的问题及对策 赵其国, 黄国勤, 马艳芹 (7615)
- 《生态学基础》: 对生态学从传统向现代的推进——纪念 E.P. 奥德姆诞辰 100 周年
..... 包庆德, 张秀芬 (7623)
- 食物链长度理论研究进展 张 欢, 何 亮, 张培育, 等 (7630)

个体与基础生态

- 天山盘羊夏季采食地和卧息地生境选择 李 叶, 余玉群, 史 军, 等 (7644)
- 松果梢斑螟对虫害诱导寄主防御的抑制作用 张 晓, 李秀玲, 李新岗, 等 (7651)
- 菹草附着物对营养盐浓度的响应及其与菹草衰亡的关系 魏宏农, 潘建林, 赵 凯, 等 (7661)
- 濒危高原植物羌活化学成分与生态因子的相关性 黄林芳, 李文涛, 王 珍, 等 (7667)
- 四年 O₃ 熏气对小麦根际土壤氮素微生物转化的影响 吴芳芳, 郑有飞, 吴荣军, 等 (7679)
- 重金属 Cd²⁺ 和 Cu²⁺ 胁迫下泥蚶消化酶活性的变化 陈肖肖, 高业田, 吴洪喜, 等 (7690)

种群、群落和生态系统

- 不同生境中橘小实蝇种群动态及密度的差异 郑思宁 (7699)
- 亚热带樟树-马尾松混交林凋落物量及养分动态特征 李忠文, 闫文德, 郑 威, 等 (7707)

景观、区域和全球生态

- 中国陆地生态系统通量观测站点空间代表性 王绍强, 陈蝶聪, 周 蕾, 等 (7715)
- 雅鲁藏布江流域 NDVI 变化与风沙化土地演变的耦合关系 李海东, 沈渭寿, 蔡博峰, 等 (7729)
- 高精度遥感影像下农牧交错带小流域景观特征的粒度效应 张庆印, 樊 军 (7739)
- 高寒草原土壤有机碳及土壤碳库管理指数的变化 蔡晓布, 于宝政, 彭岳林, 等 (7748)
- 芦芽山亚高山草甸、云杉林土壤有机碳、全氮含量的小尺度空间异质性
..... 武小钢, 郭晋平, 田旭平, 等 (7756)
- 湘中丘陵区不同演替阶段森林土壤活性有机碳库特征 孙伟军, 方 晰, 项文化, 等 (7765)
- 东北黑土区片蚀和沟蚀对土壤团聚体流失的影响 姜义亮, 郑粉莉, 王 彬, 等 (7774)
- 滇西北高原纳帕海湿地土壤氮矿化特征 解成杰, 郭雪莲, 余磊朝, 等 (7782)
- 红壤区桉树人工林炼山后土壤肥力变化及其生态评价 杨尚东, 吴 俊, 谭宏伟, 等 (7788)
- 2000—2010 年黄河流域植被覆盖的时空变化 袁丽华, 蒋卫国, 申文明, 等 (7798)
- 庐山森林景观格局变化的长期动态模拟 梁艳艳, 周年兴, 谢慧玮, 等 (7807)

暖温带-北亚热带生态过渡区物种生境相关性分析 袁志良,陈 云,韦博良,等 (7819)

不同生境和去趋势方法下的祁连山柏径向生长对气候的响应 张瑞波,袁玉江,魏文寿,等 (7827)

资源与产业生态

大小兴安岭生态资产变化格局 马立新,覃雪波,孙 楠,等 (7838)

生态环境移动数据采集系统研究与实现 申文明,孙中平,张 雪,等 (7846)

城乡与社会生态

城市遥感生态指数的创建及其应用 徐涵秋 (7853)

研究简报

大明竹属遗传多样性 ISSR 分析及 DNA 指纹图谱研究 黄树军,陈礼光,肖永太,等 (7863)

干旱胁迫下 4 种常用植物幼苗的光合和荧光特性综合评价 卢广超,许建新,薛 立,等 (7872)

基于 ITS2 和 16S rRNA 的西施舌群体遗传差异分析 孟学平,申 欣,赵娜娜,等 (7882)

两种浒苔无机碳利用对温度响应的机制 徐军田,王学文,钟志海,等 (7892)

北京山区侧柏林冠层对降雨动力学特征的影响 史 宇,余新晓,张建辉,等 (7898)

学术信息与动态

景观生态学研究:传统领域的坚守与新兴领域的探索——2013 厦门景观生态学论坛述评
..... 杨德伟,赵文武,吕一河 (7908)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 296 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 33 * 2013-12



封面图说:黄土丘陵农牧交错带——黄土丘陵是中国黄土高原的主要地貌形态,由于黄土质地疏松,加之雨季集中,降水强度较大,地表流水冲刷形成很多沟谷,斜坡所占的面积很大。这里千百年来的农牧交错作业,地表植被和生态系统均遭受了严重的破坏。利用高精度影像对小流域景观的研究表明,这里耕地、林地和水域景观相对比较规则简单,荒草地和人工草地景观比较复杂。农牧交错带小流域景观形态具有分形特征,各类景观斑块的分维数对粒度变化的响应不同,分维数随粒度的增大呈非线性下降趋势。

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

DOI: 10.5846/stxb201303150430

卢广超, 许建新, 薛立, 刘斌, 李诗刚, 邵怡若. 干旱胁迫下 4 种常用植物幼苗的光合和荧光特性综合评价. 生态学报, 2013, 33(24): 7872-7881.

Lu G C, Xu J X, Xue L, Liu B, Li S G, Shao Y R. Comprehensive evaluation on photosynthetic and fluorescence characteristics in seedlings of 4 drought resistance species. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(24): 7872-7881.

干旱胁迫下 4 种常用植物幼苗的光合和 荧光特性综合评价

卢广超¹, 许建新^{1,2}, 薛立^{1,*}, 刘斌¹, 李诗刚², 邵怡若¹

(1. 华南农业大学林学院, 广州 510642; 2. 深圳市铁汉生态环境股份有限公司, 深圳 518040)

摘要:老鸭嘴, 山毛豆, 假连翘和葛藤是常见的矿山植被恢复植物。采用盆栽控制土壤水分的方法, 测定了这 4 种幼苗叶片的光合和荧光指标, 以期对矿山植被的恢复植物筛选提供依据。结果表明 (1) 干旱胁迫处理期间, 4 种幼苗叶片的净光合速率 (P_n)、气孔导度 (G_s)、蒸腾速率 (T_r) 和胞间 CO_2 浓度 (C_i) 持续下降, 复水 8 d 后 P_n 均显著增加, 老鸭嘴和山毛豆的 G_s 和 T_r 恢复到对照水平, 山毛豆和葛藤的 C_i 恢复到对照水平; 假连翘幼苗叶片的气孔限制值 (L_s) 随干旱胁迫时间的延长而逐渐增加, 其他 3 种幼苗略降后增加, 复水 8 d 后均恢复到对照水平。(2) 干旱胁迫处理期间, 4 种幼苗叶片的 photosystem II (PS II) 光能捕获效率 (F_v'/F_m')、实际光化学量子效率 (Yield) 和表观电子传递速率 (ETR) 持续降低, 8 d 时显著小于对照。复水 8 d 后, F_v'/F_m' 小幅波动, Yield 和 ETR 有所恢复, 其中葛藤的 Yield 和山毛豆的 ETR 恢复到对照水平; 4 种幼苗叶片的非化学淬灭 (NPQ) 持续上升, 在第 8 天显著大于对照, 复水 8 d 后, 均持续下降, 其中葛藤恢复到对照水平。(3) 对光合和荧光指标进行主成分分析表明, 干旱胁迫下 4 种幼苗的抗旱性能大小顺序为山毛豆 > 老鸭嘴 > 假连翘 > 葛藤。

关键词:幼苗; 抗旱; 光合; 荧光; 主成分分析

Comprehensive evaluation on photosynthetic and fluorescence characteristics in seedlings of 4 drought resistance species

LU Guangchao¹, XU Jianxin^{1,2}, XUE Li^{1,*}, LIU Bin¹, LI Shigang², SHAO Yiruo¹

¹ College of Forestry, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

² Shenzhen Tech and Ecology & Environment CO., LTD. Shenzhen, Guangdong 518040, China

Abstract: With global climate change, environmental stresses will become the most important issue for plant growth. Among these environmental factors, drought is the most important factor that limits photosynthesis and growth. As a result, an advancement in the current understanding of the responses of plants to drought stress has become a major target for research. Drought limits stomatal conductance, mesophyll conductance and photosynthetic metabolism, and the possibility of overexcitation of photosystem II increases, and this reduces the photosynthetic rate and lead to an increase in the dissipation of absorbed energy through nonradiative processes. Therefore, photosynthesis and chlorophyll fluorescence can greatly help the differentiation of plants and the physiological understanding of the process under drought conditions. It has been proposed that the choice of a photosynthesis and chlorophyll fluorescence parameters as an indicator of plant performance under drought stress, in order to provide a technique for rapidly screening plants with different drought tolerances. The *Thunbergia erecta*, *Tephrosia candida*, *Duranta repens* and *Pueraria lobata* are common plant species used for mine

基金项目: 深圳市战略新兴产业发展专项资金资助项目 (GCZX20120618100801416); 国家科学技术部农业科技成果转化资金资助项目 (2009GB2E020423)

收稿日期: 2013-03-15; 修订日期: 2013-09-13

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: forxue@scau.edu.cn

vegetation restoration. A test of potting methods with water control was applied to study the photosynthetic and fluorescence characteristics of the seedlings of four plant species for mine vegetation restoration. The results were as follows: (1) The parameters of net photosynthetic rate (P_n), stomatal conductance (G_s), transpiration rate (T_r) and intercellular carbon dioxide concentration (C_i) of the four species decreased gradually with increasing drought time. After 8 days of rehydration, the P_n of the four seedling types greatly increased. The G_s and T_r of *T. erecta* and *T. candida*, and the C_i of *T. candida* and *P. lobata* returned to the controls level after rehydration with 8 days. The value of stomatal limits (L_s) of *D. repens* increased gradually with drought time, whereas that of other seedling types slightly decreased followed by an increase, and the L_s of the four seedling types returned to the controls level after 8 days of rehydration. (2) The chlorophyll fluorescence parameters of the excitation capture efficiency of PS II (F_v'/F_m'), photochemical quantum yield of PS II in the light (Yield) and apparent electron transport rate (ETR) of the four seedling types continuously decreased and significantly lower than the controls at 8th days after drought stress. After 8 days of rehydration, the F_v'/F_m' of the four seedling types waved slightly, their Yield and ETR recovered to some extent, but the Yield of *P. lobata* and the ETR of *T. candida* returned to the controls level. The non-photochemical quenching (NPQ) of the four seedling types continuously increased and it significantly greater than the control after 8 days of drought stress. The NPQ of *P. lobata* returned to the controls level, whereas that of the other seedling types decreased continuously after 8 days of rehydration. (4) The photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameter of the four seedling types were evaluated with principal component analysis, indicating that the order of drought resistance of the four seedling types was *T. candida* > *T. erecta* > *D. repens* > *P. lobata*.

Key Words: seedlings; drought resistance; photosynthetic characteristics; chlorophyll fluorescence parameter; principal component analysis

近年来我国采石业的迅速发展引起了植被破坏和水土流失等严重的生态环境问题^[1]。由于矿山开采迹地的侵蚀和水土流失引起的土壤干旱成为植物定居的最主要限制因子^[2],所以研究干旱胁迫对矿山恢复植被的幼苗生理特性的影响具有重要的意义。国内外学者对干旱胁迫下的植物光合和荧光特性进行过研究,如 Rouhi 等^[3]研究了干旱胁迫和复水下李属(*Prunus*)3种植物的光合特性气孔调节能力及其抗旱性差异。Ogaya 等^[4]比较干旱条件下冬青栎(*Quercus ilex*)和红景天(*Phillyrea latifolia*)的光合和荧光参数的变化,得出两物种在干旱环境的竞争力。王琰等^[5]对不同种源油松(*Pinus tabulaeformis*)、蔡海霞等^[6]对高山柳(*Salix paraqulesia*)和沙棘(*Hippophae rhamnoides*)在干旱胁迫下光合生理参数的变化进行了研究,比较不同植物的抗旱能力。以上研究表明,干旱胁迫引起的气孔关闭、水分平衡失调和酶失活等^[3,7]原因会降低 CO_2 同化量^[8],导致光系统 II (PS II)光化学活性与光合电子需求不平衡^[9],过剩电子泄漏形成活性氧^[10],伤害叶片的叶绿体光合机构 PS II 系统^[8],引发树木的光合机构异常^[11],破坏光合电子传递而影响光合生理^[12]。耐性品种通过热耗散和光呼吸等机制耗散过剩光能,起到自我保护^[13]。由于植物抗旱性的指标很多,简单地用某些指标无法反映其综合抗旱能力,需要对多种生理指标进行综合评价和分析^[14]。

老鸭嘴 *Thunbergia erecta*, 山毛豆 *Tephrosia candida*, 假连翘 *Duranta repens* 和葛藤 *Pueraria lobata* 是矿山恢复植被常用的几种植物,尽管有些学者研究了老鸭嘴的生理光合特性及其耐荫性^[15]、干旱胁迫下山毛豆的光合生理^[16]、水培条件下假连翘的生长及光合生理特性^[17]、干旱和复水条件下葛藤的生理变化^[18],尚未见到比较以上 4 种植物抗旱光合生理的报道。本研究中,将老鸭嘴等 4 种幼苗置于温室中盆栽培育,模拟干旱环境,测定其光合和叶绿素荧光参数,并利用主成分分析法对其抗旱性进行了综合评价,可以为矿山生态恢复植物的选择提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2011 年 7 月在华南农业大学林学院院楼苗圃内,试验所用的老鸭嘴、山毛豆、假连翘和葛藤幼苗

为营养袋实生苗,营养袋直径 13 cm,深 13 cm,基质为 1:1 的腐殖质土与黄土。幼苗生长基本情况见表 1。

表 1 幼苗生长基本情况 (平均值±标准差)

Table 1 General situation of the experimental seedlings (mean±SD)

树种 Tree species	地径 Ground diameter/cm	苗高/cmSeedling height	冠幅 Crown width/cm
老鸭嘴 <i>Thunbergia erecta</i>	0.74±0.18	32.08±8.78	15.9±5.47
山毛豆 <i>Tephrosia candida</i>	0.34±0.10	45.04±15.88	16.88±7.80
假连翘 <i>Duranta repens</i>	0.50±0.16	27.41±6.41	17.98±3.92
葛藤(藤本) <i>Pueraria lobata</i>	0.57±0.11	—	—

2011 年 8 月采用自然干旱胁迫的方法对 4 种试验幼苗进行对照(0 d)、4、8 d 及复水后第 4 和 8 天 5 种控水处理,各树种每个处理有 6 株幼苗用于各项光合和荧光指标的测定。干旱胁迫期间 4 种幼苗营养袋中的土壤含水量变化见表 2。

表 2 干旱胁迫期间的土壤含水量变化

Table 2 Change of soil water during drought stress

树种 Tree species	土壤含水量变化 Soil water/%				
	0 d(对照)	4 d	8 d	12 d	16 d
老鸭嘴 <i>Thunbergia erecta</i>	39.26	27.67	9.78	复水	复水
山毛豆 <i>Tephrosia candida</i>	39.26	28.18	17.61	复水	复水
假连翘 <i>Duranta repens</i>	39.26	20.20	6.75	复水	复水
葛藤(藤本) <i>Pueraria lobata</i>	39.26	15.48	9.70	复水	复水

1.2 光合和荧光参数测定

采用 LI-6400 便携式光合仪(LI-COR, USA)测定幼苗叶片在光强 $1000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 下的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)和胞间 CO_2 浓度(C_i),并计算气孔限制值($L_s = 1 - C_i/C_a$,式中 C_a 为大气中 CO_2 浓度)。测定时使用开放气路,空气流速为 0.5 L/min,叶温 25 °C,相对湿度 60%,外界 CO_2 浓度(C_a)为 360 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 。选用幼苗顶部开始的第 3—8 枚叶中的 5 枚成熟叶进行挂牌标记,测定时间为光合作用比较活跃的 9:00—11:00,每叶片记录 5 个值,取平均值。

采用脉冲调制荧光仪 OS-1P 调制荧光仪测定室温下荧光动力学参数。将挂牌成熟叶在不离体的条件放入样品室,暗适应 20 min 后,利用非化学淬灭(NPQ)模式下设定每次测量时间为 2 min,每次测量 5 次重复,测定同一叶片相同部位的最大荧光(F_m)、光下最小荧光(F')、光下最大荧光(F_m')、稳态荧光(F_s)、非光化学淬灭($\text{NPQ} = F_m/F_m' - 1$),计算出 PS II 光能捕获效率($F_v'/F_m' = (F_m' - F')/F_m'$)、实际光化学量子效率($\text{Yield} = (F_m' - F_s)/F_m'$)、表观电子传递速率($\text{ETR} = \text{Yield} \times \text{PAR} \times 0.84 \times 0.5$, PAR 为光合有效幅射)。

1.5 数据分析与处理

利用 Excel 进行试验数据处理和图表的绘制,利用 SAS9.0 软件系统进行主成分分析。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对 4 种幼苗光合指标的影响

2.1.1 干旱胁迫对幼苗叶片净光合速率的影响

经不同程度干旱胁迫处理后,4 种幼苗叶片光合速率(P_n)急剧下降,其中老鸭嘴、假连翘、葛藤的 P_n 在干旱胁迫 4 d 和 8 d 时显著小于对照($P < 0.05$),山毛豆 8 d 时显著小于对照($P < 0.05$) (图 1)。老鸭嘴和假连翘幼苗经过 4 d 复水处理(R4)后显著增加($P < 0.05$),4 种幼苗的 P_n 经过 8 d 复水处理(R8)后均显著增加($P < 0.05$),其中山毛豆幼苗叶片的 P_n 恢复到对照水平。

2.1.2 干旱胁迫对幼苗叶片气孔导度的影响

干旱胁迫处理期间,4 种幼苗的叶片气孔导度(G_s)持续下降,干旱胁迫 4 d 时假连翘和葛藤显著小于对

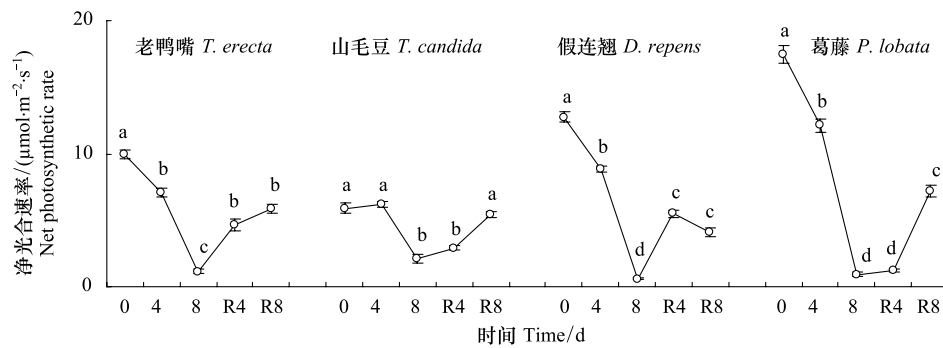


图 1 干旱胁迫下 4 种幼苗净光合速率的变化

Fig.1 The change of net photosynthetic rate of the four seedling types under drought stress

R4: 4d 复水处理; R8: 8d 复水处理; 图中 a、b、c、d 为多重比较结果, 不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)

照 ($P < 0.05$), 干旱胁迫 8 d 时 4 种幼苗均显著小于对照 ($P < 0.05$) (图 2)。在 4 d 复水处理后, 老鸭嘴和假连翘山毛豆幼苗的叶片气孔导度 G_s 显著增加, 8 d 复水处理后小幅下降, 其中老鸭嘴恢复到对照水平。山毛豆和葛藤幼苗的叶片气孔导度 G_s 在 4 d 复水处理后变化不大, 8 d 复水处理后, 山毛豆恢复到对照水平, 而假连翘和葛藤仍然显著小于对照 ($P < 0.05$)。

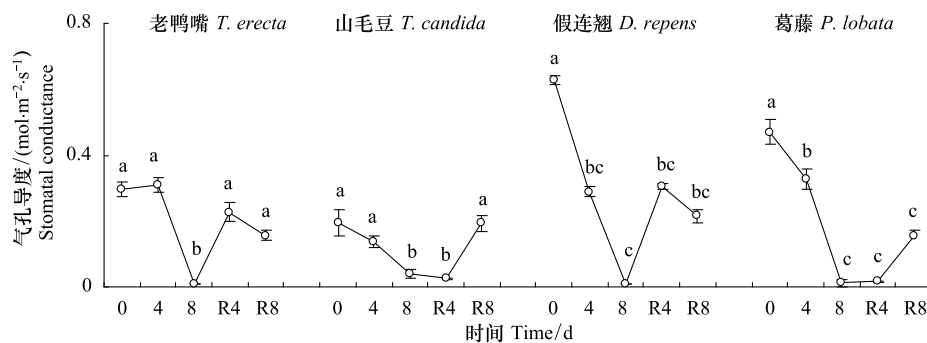


图 2 干旱胁迫下 4 种幼苗气孔导度的变化

Fig.2 The change of stomatal conductance of the four seedling types under drought stress

2.1.3 干旱胁迫对幼苗叶片蒸腾速率的影响

干旱胁迫处理期间, 4 种幼苗叶片蒸腾速率 (T_r) 持续下降, 均在第 8 天降到最小值 ($P < 0.05$)。经过 4 d 和 8 d 复水处理后, 老鸭嘴的 T_r 恢复到对照水平 (图 3)。山毛豆的 T_r 复水 4 d 后略有下降, 8 d 复水处理后上升到对照水平。假连翘显著上升后保持稳定, 葛藤的小幅波动后显著上升, 二者 8 d 复水处理后仍显著小于对照 ($P < 0.05$)。

2.1.4 干旱胁迫对幼苗叶片胞间 CO_2 浓度的影响

干旱胁迫处理期间, 4 种幼苗叶片胞间 CO_2 浓度 (C_i) 均持续下降, 第 8 天时的老鸭嘴、假连翘、葛藤的 C_i 显著小于对照 ($P < 0.05$), 而山毛豆与对照无显著差异 (图 4)。经过 4 d 和 8 d 复水处理后, 老鸭嘴、假连翘和山毛豆幼苗的 C_i 都先增后降, 并在 4 d 复水后增加到对照水平, 而山毛豆先降后增, 并在 8 d 复水后增加到对照水平。葛藤经过 4 d 和 8 d 复水处理后, 幼苗的 C_i 持续增加, 并在 8 d 复水后增加到对照水平。

2.1.5 干旱胁迫对幼苗叶片气孔限制值的影响

由图 5 可以看出, 假连翘幼苗叶片气孔限制值 (L_s) 随干旱胁迫时间的延长而逐渐增加, 其他 3 种幼苗略降后增加, 在干旱胁迫第 8 天时, 老鸭嘴、假连翘和葛藤显著大于对照 ($P < 0.05$), 并在 4 d 和 8 d 复水处理后恢复到对照水平。山毛豆在 4 d 复水处理显著大于对照 ($P < 0.05$), 在 8 d 复水后恢复到对照水平。

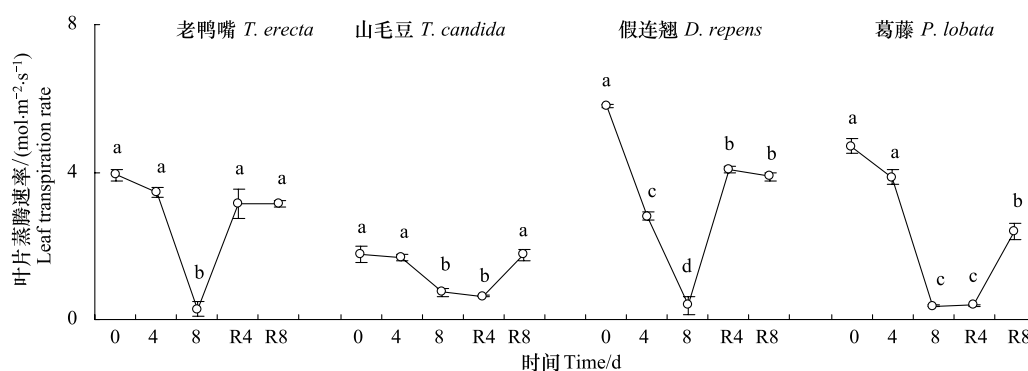


图3 干旱胁迫下4种幼苗叶片蒸腾速率的变化

Fig.3 The change of Leaf transpiration rate of the four seedling types under drought stress

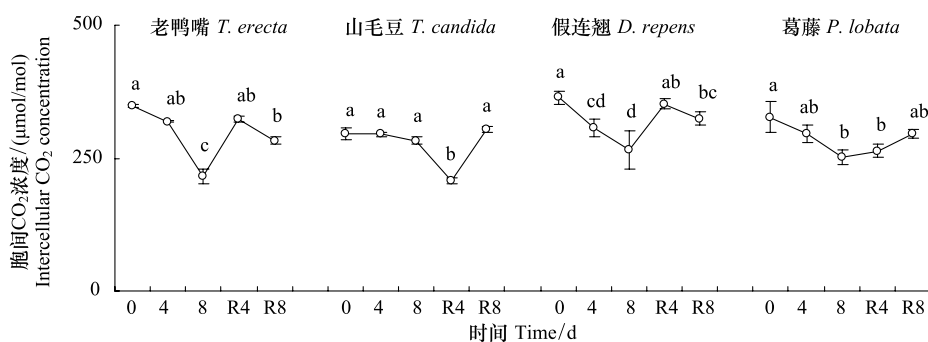


图4 干旱胁迫下4种幼苗胞间CO₂浓度的变化

Fig.4 The change of intercellular CO₂ concentration of the four seedling types under drought stress

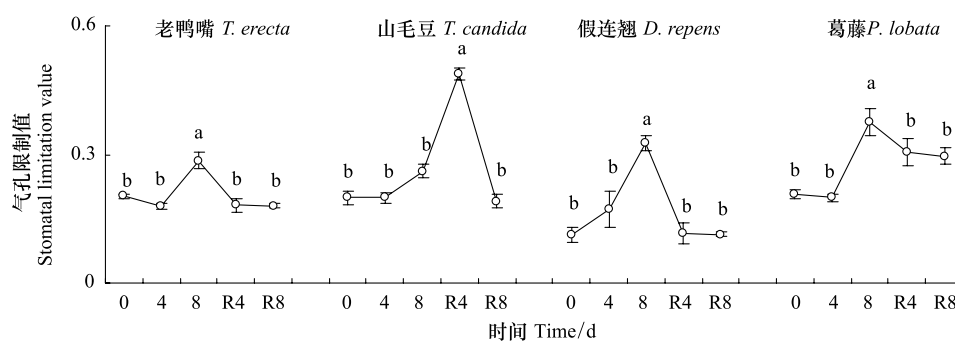


图5 干旱胁迫下4种幼苗气孔限制值的变化

Fig.5 The change of stomatal limitation value of the four seedling types under drought stress

2.2 干旱胁迫对荧光指标的影响

2.2.1 干旱胁迫对幼苗 PS II 光能捕获效率的影响、

干旱胁迫处理期间,4种幼苗叶片的PS II光能捕获效率(F_v'/F_m')逐渐降低,并显著小于对照($P<0.05$) (图6)。在经过4 d和8 d复水处理后,老鸭嘴和葛藤幼苗的 F_v'/F_m' 保持稳定,假连翘在逐渐上升,但是仍显著小于对照($P<0.05$),山毛豆在4 d和8 d复水处理后恢复到对照水平。

2.2.2 干旱胁迫对幼苗的PS II实际光化学量子效率的影响

干旱胁迫处理期间,4种幼苗叶片的PS实际光量子效率(Yield)显著小于对照($P<0.05$),并在第8天到最小值(图7)。在经过4 d和8 d复水处理后,老鸭嘴、山毛豆和假连翘幼苗的Yield显著增加($P<0.05$),但

是仍显著小于对照($P<0.05$)。葛藤的叶片 Yield 逐渐恢复到对照水平。

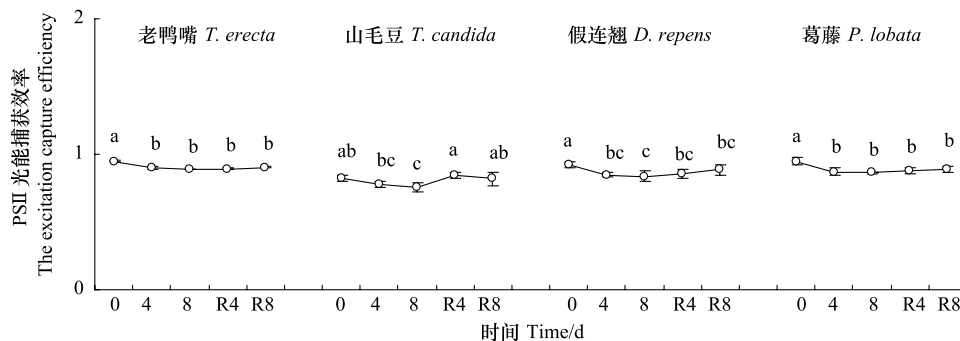


图 6 干旱胁迫下 4 种幼苗的 PS II 有效光量子产量的变化

Fig.6 The change of the excitation capture efficiency of PS II of the four seedling types under drought stress

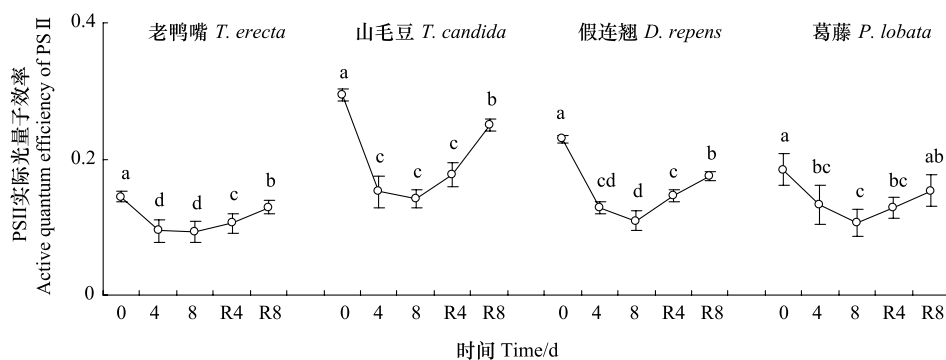


图 7 干旱胁迫下 4 种幼苗的 PS II 实际光量子效率的变化

Fig.7 The change of active quantum efficiency of PS II of the four seedling types under drought stress

2.2.3 干旱胁迫对幼苗表观电子传递速率的影响

干旱胁迫处理期间,4 种幼苗叶片的表观光合电子传递速率(ETR)显著下降($P<0.05$),在第 8 天降到最小值(图 8)。经过 4 d 和 8 d 复水处理后,老鸭嘴幼苗叶片的 ETR 显著增加($P<0.05$),恢复到对照水平。山毛豆、假连翘和葛藤幼苗叶片的 ETR 逐渐增加,仍显著小于对照($P<0.05$)。

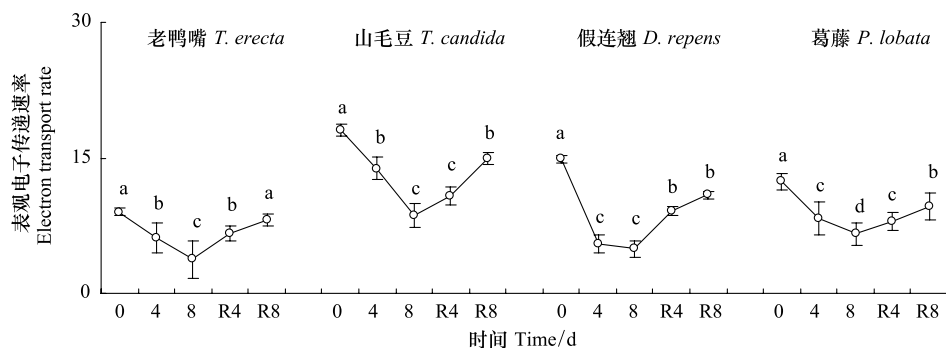


图 8 干旱胁迫下 4 种幼苗的表观电子传递速率的变化

Fig.8 The change of electron transport rate of the four seedling types under drought stress

2.2.4 干旱胁迫对幼苗非光化学淬灭的影响

干旱胁迫处理期间,4 种幼苗叶片的非光化学淬灭(NPQ)持续上升,在第 8 天达到最大值($P<0.05$) (图 9)。经过 4 d 和 8 d 复水处理后,4 种幼苗叶片的 NPQ 均持续下降,其中老鸭嘴、山毛豆和假连翘幼苗显著大

于对照 ($P<0.05$), 而葛藤恢复到对照水平。

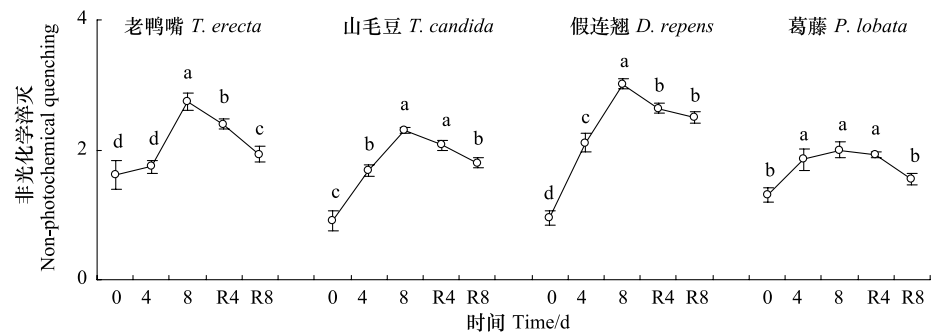


图9 干旱胁迫下4种幼苗非光化学淬灭的变化

Fig.9 The change of non-photochemical quenching of the four seedling types under drought stress

2.3 4种幼苗抗旱性的综合评价

利用主成分分析法可以全面而准确地分析植物的各种生理指标的综合抗旱性^[19]。本文以所测量的干旱胁迫下4种植物幼苗9个光合和荧光指标的平均值为基础数据,利用主成分分析法对4种幼苗的抗旱性进行综合分析。首先按以下公式对数值进行标准化:

$$X = \frac{(x_i - \bar{x})}{S}$$

式中, X 为标准化后所得数据, x_i 为某项指标的观察值, $\bar{x}$ 为某项指标的平均值, S 为标准差。

对标准化后的数据进行主成分分析。以累积贡献率达85%以上为参考值,确定主成分个数。由于主成分之间相互独立且有着不同的贡献率,因此,每个主成分得分就是其加权值,其中权重就是主成分对应的贡献率。由此分析得出4种幼苗抗旱性综合评价值大小顺序为:山毛豆>老鸭嘴>假连翘>葛藤(表3)。

表3 4种幼苗抗旱性综合评价值及排序

Table 3 Comprehensive assessment values and orders of drought resistance of the four seedling types

树种 Tree species	山毛豆 <i>Tephrosia candida</i>	老鸭嘴 <i>Thunbergia erecta</i>	假连翘 <i>Duranta repens</i>	葛藤 <i>Pueraria lobata</i>
得分 Score	2.66	2.02	1.59	1.51
排序 Order	1	2	3	4

3 结论与讨论

4种植物幼苗在干旱胁迫下出现不同程度的光合作用下降现象,光合指标 P_n 、 G_s 、 T_r 、 C_i 及荧光指标 F_v'/F_m' 、Yield、ETR 均随着干旱胁迫时间的延长而下降,表明在干旱胁迫下,幼苗发生了光抑制,PS II 的原初光能转化效率和潜在活性降低,光合电子传递及光合磷酸化受阻,碳同化的运转和有机物的积累下降,但同时干旱胁迫初期的 NPQ 增大,可以通过热耗散防御过剩光能的破坏,对光合机构起一定的保护作用。另外,叶片 G_s 和 C_i 同时下降以及 L_s 的增加,限制了外界 CO_2 通过气孔进入细胞间隙,导致光合速率下降,表明干旱胁迫下幼苗的 P_n 下降主要由气孔限制引起。

3.1 植物抗旱性与植物光合指标之间的关系

叶片光合速率(P_n)是光合作用中的一个重要指标,有研究表明,随着干旱胁迫的加剧,植物的叶片 P_n 随之下降^[20],抗旱性强的植物 P_n 降低的程度比抗旱性弱的小^[21]。4种幼苗干旱胁迫处理8d后的 P_n 与对照相比,山毛豆下降幅度小于其他3种植物,表明山毛豆抗旱性优于这3种植物。经过复水处理后,山毛豆幼苗的叶片 P_n 恢复到了对照值,其他3种幼苗仍显著小于对照值,说明山毛豆在复水后恢复能力最强。

干旱胁迫会导致叶片气孔关闭,严重时损伤叶肉细胞、降低光合酶的活性,使植物的光合速率降低^[22]。

本研究中,4 种幼苗叶片的 G_s 在干旱胁迫期间持续下降,有利于减少水分蒸腾。经过复水处理后,老鸭嘴和山毛豆恢复到对照水平,而其他 2 种幼苗有所恢复,但是仍然显著小于对照,说明前两者恢复快,对于干旱胁迫的适应性和调节能力相对较强。

干旱胁迫使气孔导度下降, CO_2 进入叶片受阻而使光合下降,从而直接影响植物的光合作用,使植物的生长受阻^[23]。在干旱胁迫期间,山毛豆叶片的 C_i 略有下降, P_n 减少的幅度小,而其他 3 种幼苗的 C_i 浓度和 P_n 下降幅度较大。4 种幼苗的 L_s 均显著增加,所以 P_n 降低的主要原因为气孔限制。此时由于幼苗叶片的气孔关闭,但是受试植物仍然在进行光合作用,故 C_i 浓度降低。

T_r 作为光合作用的一个重要指标,随着干旱胁迫的加深不断地降低^[24]。在本研究中,4 种幼苗叶片的 T_r 在干旱胁迫处理期间持续降低,经过复水处理后显著增加,其中老鸭嘴和山毛豆复水 8 d 时的 T_r 恢复到对照水平,表明老鸭嘴和山毛豆的耐旱能力较强。

3.2 植物抗旱性与植物荧光指标之间的关系

F_v'/F_m' 是 PS II 光能捕获效率,它反映开放的 PS II 反应中心原初光能捕获效率,代表激发能被开放的 PS II 反应中心捕获的效率^[25]。在环境(干旱)胁迫下,植物荧光作用的 PS II 的 F_v'/F_m' 值随着环境胁迫加深不断地变小^[26]。PS II 反应中心活性下降,光化学电子传递速率降低。植物就利用自身的保护机制使过剩的激发能通过非光化学途径耗散,阻止了由于激发能积累引起的 PS II 的损害^[27]。干旱胁迫处理期间,4 种幼苗叶片的 PS II 有效光量子产量有所下降,第 8 天时显著小于对照($P<0.05$),有利于保护细胞。复水后的老鸭嘴、假连翘和葛藤 PS II 有效光量子产量仍然显著小于对照,而山毛豆恢复到对照水平,进一步表明该植物在本试验中表现出最强的抗旱能力。

实际光化学量子效率(Yield)常用来表示植物光合作用下 PS II 总的光化学量子产额,它反映 PS II 反应中心在部分关闭情况下的实际原初光能捕获效率^[28]。4 种幼苗的 Yield 值均下降,下降幅度最小的是老鸭嘴,说明其受到的光抑制最弱,适应强光的能力更强。复水后 4 种幼苗的 Yield 均回升,说明植物在复水之后,增加了 PS II 反应中心开放比例,进而导致 Yield 的升大,这与复水后植物 P_n 的增加相吻合,说明植物的光合作用得以恢复。

ETR 是反映实际光强下的表观电子传递速率,同时也是表示植物光合能力大小的有效参数^[28],反映了 PS II 反应中心的电子捕获效率^[26]。4 种幼苗的 ETR 显著下降($P<0.05$),说明在干旱胁迫下,捕光蛋白复合体被抑制,使得电子传递受阻,光能转化效率降低^[29]。经过复水处理后,4 种幼苗叶片的 ETR 都显著增加,其中老鸭嘴恢复到对照水平,说明其具有较强的损伤修复能力。

非光化学淬灭(NPQ)反映的是 PS II 天线色素吸收的光能不能用于光合电子传递而以热的形式耗散掉的光能部分,是表示热耗散多少的指标^[30]。所有幼苗的 NPQ 持续增加,假连翘增加幅度最大,表明其更能通过加强热耗散,保护光合器官。葛藤的 P_n 下降幅度最大,但是其 NPQ 上升幅度最小,不利于其热耗散,表明对干旱环境适应能力弱。经过复水处理后,各幼苗的叶片 NPQ 显著下降,说明光合器官的热耗散减少,传递给光化学反应中心的激发能增强,光合作用有所恢复。

山毛豆的 ETR 值较其他 3 种幼苗大,而 NPQ 值较它们小,表明山毛豆有较强的光呼吸能力,光能利用效率较高,热耗散较小,能保证吸收的光能最大限度地进入电子传递系统进而进行碳固定^[31]。

References:

- [1] Yang Z Y, Xue L, Xu J X. Advances in ecology restoration of abandoned quarries. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(16): 5264-5274.
- [2] Meira-Neto J A A, Clemente A, Oliveira G, Nunes A, Correia O. Post-fire and post-quarry rehabilitation successions in Mediterranean-like ecosystems: implications for ecological restoration. *Ecological Engineering*, 2011, 37(8): 1132-1139.
- [3] Rouhi V, Samson R, Lemeur R, van Damme P. Photosynthetic gas exchange characteristics in three different almond species during drought stress and subsequent recovery. *Environmental and Experimental Botany*, 2007, 59(2): 117-129.
- [4] Ogaya R, Peñuelas J. Comparative field study of *Quercus ilex* and *Phillyrea latifolia*: photosynthetic response to experimental drought conditions.

- Environmental and Experimental Botany, 2003, 50(2): 137-148.
- [5] Wang Y, Chen J W, Di X Y. Characterization of the responses of photosynthetic and chlorophyll fluorescence parameters to water stress in seedlings of six provenances of Chinese Pine (*Pinus tabulaeformis* Carr.). Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(23): 7031-7038.
- [6] Cai H X, Wu F Z, Yang W Q. Effects of drought stress on the photosynthesis of *Salix paraqulesia* and *Hippophae rhamnoides* seedlings. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(9): 2430-2436.
- [7] Flexas J, Medrano H. Drought-inhibition of photosynthesis in C₃ plants: Stomata and non-stomatal limitations revisited. Annals of Botany, 2002, 89(2): 183-189.
- [8] Wu G L, Duan R Y, Wang Z G, Zhang Z X, Wu L F. Effects of drought stress and rehydration on chlorophyll fluorescence characteristics in *Fragaria X ananassa* Duch. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(14): 3941-3946.
- [9] Vitale L, Di Tommasi P, Arena C, Riondino M, Forte A, Verlotta A, Fierro A, de Santo A V, Fuggi A, Magliulo V. Growth and gas exchange response to water shortage of a maize crop on different soil types. Acta Physiologiae Plantarum, 2009, 31(2): 331-341.
- [10] Luo M H, Hu J Y, Wu Q G, Yang J T, Su Z X. Effects of drought stress on leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence of *Salvia miltiorrhiza*. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(3): 619-623.
- [11] Flexas J, Ribas-Carbó M, Bota J, Galmés J, Henkle M, Martínez-Cañellas S, Medrano H. Decreased rubisco activity during water stress is not induced by decreased relative water content but related to conditions of low stomatal conductance and chloroplast CO₂ concentration. New Phytologist, 2006, 172(1): 73-82.
- [12] Zhou J, Wei H, Lü Q, Li C X, Wang Z X, Gao W, Chen W. Effects of soil water regime on leaf photosynthetic characteristics of slash pine (*Pinus elliottii* Engelm) seedlings. Chinese Journal of Ecology, 2012, 31(1): 30-37.
- [13] Ort D R, Baker N R. A photoprotective role for O₂ as an alternative electron sink in photosynthesis. Current Opinion in Plant Biology, 2002, 5(3): 193-198.
- [14] Tan X H, Gao Y P, Guo X P, Zhao T N, Wang L. Physiological characteristics and comprehensive evaluation of drought resistance in five plants used for roadside ecological restoration. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(16): 5076-5086.
- [15] Zeng X P, Zhao P, Cai X A, Rao X Q, Liu H, Ma L, Li C H. Shade-tolerance of 25 low subtropical plants. Journal of Beijing Forestry University, 2006, 28(4): 88-95.
- [16] Pei X C, Chen P, Liu J R, Yu D S. Evaluation of drought resistance of four native plants seedlings. Guangdong Agricultural Sciences, 2010, 37(2): 37-41.
- [17] Wang Q, Wang Y G, Shi C J, Sun J X, Tang Y F. Effect on the growth and photosynthetic traits of four kinds of greenbelt plants cultivated using reclaimed water. Acta Prataculturae Sinica, 2010, 19(6): 106-113.
- [18] Li L, Xu Z F, Wei X, Cao H L, Su J, Ye W H. Physiological compare *Merremia boissiana* with *Pueraria lobata* under drought stress and rewetting conditions. Guihaia, 2008, 28(6): 806-810.
- [19] Feng H F, Xue L, Ren X R, Fu J D, Zhang W G, Shi X L. Physiological responses of four broadleaved seedlings to drought stress simulated by PEG. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(2): 371-382.
- [20] Chen J, Zhang G C, Zhang S Y, Wang M J. Response processes of *Aralia elata* photosynthesis and transpiration to light and soil moisture. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(6): 1185-1190.
- [21] Ao H, Zhang Y. Effects of water stress on photosynthetic characteristics of spruce. Bulletin of Botanical Research, 2007, 27(4): 445-451.
- [22] Lawlor D W, Cornic G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. Plant, Cell and Environment, 2002, 25(2): 275-294.
- [23] Yao Q Q, Xie G S. The photosynthetic stomatal and nonstomatal limitation under drought stress. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2005, 25(4): 84-89.
- [24] Li Y X, Shen S H, Li L, Wang X M, Zhang F C, Han X M. Effects of soil moisture on leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence parameters of winter wheat during its late growth stage. Chinese Journal of Ecology, 2012, 31(1): 74-80.
- [25] Bao S W, Tan F. Effects of high temperature on *Taxus media* chlorophyll fluorescence parameters. Journal of Fujian Forestry Science and Technology, 2009, 36(3): 64-68.
- [26] Sun J K, Zhang W H, Lu Z H, Liu X C. Chlorophyll fluorescence characteristics of *Elaeagnus angustifolia* L. and *Grewia biloba* G. Don var. *parviflora* (Bge.) Hand.-Mazz. seedlings under drought stress. Bulletin of Botanical Research, 2009, 29(2): 216-223.
- [27] Liang H Z, Dou D Q, Feng Y L. Diurnal changes in photosynthesis and chlorophyll fluorescence parameters of *Amomum villosum* Lour. grown under tropical rainforest in rainy, and foggy and cool seasons at Xishuangbanna. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(7): 1422-1431.
- [28] Li C X, Cao H. Effects of drought on chlorophyll fluorescence parameters of *Malus* plant. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2008, 36(31): 13536-13538.

- [29] Li W, Zhao Y S, Zhou Z Q, Sun G Y, Liu T. Effects of drought stress and rehydration on chlorophyll fluorescence characteristics and antioxidant enzyme activities in leaves of *Taxus cuspidata*. *Journal of Desert Research*, 2012, 32(1): 112-116.
- [30] Zhou X J, Zhao H B, Ma C C. Effects of silicon on chlorophyll fluorescence of cucumber seedlings under severe drought stress. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2007, 22(5): 79-81.
- [31] Zong M, Tan K, Wu G L. Comparative study on diurnal changes of chlorophyll fluorescence parameters of two types of *Photinia serrulata* Lindl. *Journal of Biology*, 2010, 27(1): 27-30.

参考文献:

- [1] 杨振意, 薛立, 许建新. 采石场废弃地的生态重建研究进展. *生态学报*, 2012, 32(16): 5264-5274.
- [5] 王琰, 陈建文, 狄晓艳. 不同油松种源光合和荧光参数对水分胁迫的响应特征. *生态学报*, 2011, 31(23): 7031-7038.
- [6] 蔡海霞, 吴福忠, 杨万勤. 干旱胁迫对高山柳和沙棘幼苗光合生理特征的影响. *生态学报*, 2011, 31(9): 2430-2436.
- [8] 吴甘霖, 段仁燕, 王志高, 张中信, 吴礼凤. 干旱和复水对草莓叶片叶绿素荧光特性的影响. *生态学报*, 2010, 30(14): 3941-3946.
- [10] 罗明华, 胡进耀, 吴庆贵, 杨敬天, 苏智先. 干旱胁迫对丹参叶片气体交换和叶绿素荧光参数的影响. *应用生态学报*, 2010, 21(3): 619-623.
- [12] 周珺, 魏虹, 吕茜, 李昌晓, 王振夏, 高伟, 陈伟. 土壤水分对湿地松幼苗光合特征的影响. *生态学杂志*, 2012, 31(1): 30-37.
- [14] 谭雪红, 高艳鹏, 郭小平, 赵廷宁, 王亮. 五种高速公路边坡绿化植物的生理特性及抗旱性综合评价. *生态学报*, 2012, 32(16): 5076-5086.
- [15] 曾小平, 赵平, 蔡锡安, 饶兴权, 刘惠, 马玲, 李长洪. 25 种南亚热带植物耐阴性的初步研究. *北京林业大学学报*, 2006, 28(4): 88-95.
- [16] 裴彩霞, 陈平, 刘金荣, 于得水. 4 种乡土植物幼苗抗旱性评价. *广东农业科学*, 2010, 37(2): 37-41.
- [17] 王齐, 王有国, 师春娟, 孙吉雄, 谭一凡. 中水水培对 4 种绿地植物生长及光合生理特性的影响. *草业学报*, 2010, 19(6): 106-113.
- [18] 李玲, 徐志防, 韦霄, 曹洪麟, 栗娟, 叶万辉. 金钟藤和葛藤在干旱与复水条件下的生理比较. *广西植物*, 2008, 28(6): 806-810.
- [19] 冯慧芳, 薛立, 任向荣, 傅静丹, 郑卫国, 史小玲. 4 种阔叶幼苗对 PEG 模拟干旱的生理响应. *生态学报*, 2011, 31(2): 371-382.
- [20] 陈建, 张光灿, 张淑勇, 王梦军. 辽东槲木光合和蒸腾作用对光照和土壤水分的响应过程. *应用生态学报*, 2008, 19(6): 1185-1190.
- [21] 敖红, 张羽. 水分胁迫对云杉光合特性的影响. *植物研究*, 2007, 27(4): 445-451.
- [23] 姚庆群, 谢贵水. 干旱胁迫下光合作用的气孔与非气孔限制. *热带农业科学*, 2005, 25(4): 84-89.
- [24] 李永秀, 申双和, 李丽, 汪秀敏, 张富存, 韩小梅. 土壤水分对冬小麦生育后期叶片气体交换及叶绿素荧光参数的影响. *生态学杂志*, 2012, 31(1): 74-80.
- [25] 鲍思伟, 谈锋. 高温对曼地亚红豆杉叶绿素荧光参数的影响. *福建林业科技*, 2009, 36(3): 64-68.
- [26] 孙景宽, 张文辉, 陆兆华, 刘新成. 干旱胁迫下沙枣和孩儿拳头叶绿素荧光特性研究. *植物研究*, 2009, 29(2): 216-223.
- [27] 梁红柱, 窦德泉, 冯玉龙. 热带雨林下砂仁叶片光合作用和叶绿素荧光参数在雾凉季和雨季的日变化. *生态学报*, 2004, 24(7): 1422-1431.
- [28] 李春霞, 曹慧. 干旱对苹果属植物叶绿素荧光参数的影响. *安徽农业科学*, 2008, 36(31): 13536-13538.
- [29] 李威, 赵雨森, 周志强, 孙广玉, 刘彤. 干旱和复水对东北红豆杉叶片叶绿素荧光特性和抗氧化酶活性的影响. *中国沙漠*, 2012, 32(1): 112-116.
- [30] 周秀杰, 赵红波, 马成仓. 硅对严重干旱胁迫下黄瓜幼苗叶绿素荧光参数的影响. *华北农学报*, 2007, 22(5): 79-81.
- [31] 宗梅, 谈凯, 吴甘霖. 两种石楠叶绿素荧光参数日变化的比较研究. *生物学杂志*, 2010, 27(1): 27-30.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.24 Dec., 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- The problems in red soil ecosystem in southern of China and its countermeasures ZHAO Qiguo, HUANG Guoqin, MA Yanqin (7615)
- Fundamentals of Ecology: promoting ecology from tradition to modern: To Commemorate The 100th Anniversary of E. P. Odum's Birthday BAO Qingde, ZHANG Xiufen (7623)
- Food chain length theory: a review ZHANG Huan, HE Liang, ZHANG Peiyu, et al (7630)

Autecology & Fundamentals

- Foraging and bed site selection of Tianshan argali (*Ovis ammon karelini*) in Central Tianshan Mountains in Summer LI Ye, YU Yuqun, SHI Jun, et al (7644)
- Inhibition of pine coneworm, larvae *Dioryctria pryeri*, on herbivore-induced defenses of *Pinus tabulaeformis* ZHANG Xiao, LI Xiuling, LI Xingang, et al (7651)
- Response of periphyton to nutrient level and relationships between periphyton and decay degree of *Potamogeton crispus* WEI Hongnong, PAN Jianlin, ZHAO Kai, et al (7661)
- Correlative study between chemical constituents and ecological factors of *Notopterygii Rhizoma* Et Radix of endangered plateau plant HUANG Linfang, LI Wentao, WANG Zhen, et al (7667)
- Induced changes in soil microbial transformation of nitrogen in maize rhizosphere by 4-year exposure to O₃ WU Fangfang, ZHENG Youfei, WU Rongjun, et al (7679)
- Changes of digestive enzyme activity of *Tegillarca granosa* exposed to cadmium and copper CHEN Xiaoxiao, GAO Yetian, WU Hongxi, et al (7690)

Population, Community and Ecosystem

- Population dynamics and density of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) in different habitats ZHENG Sining (7699)
- Litter fall production and nutrient dynamic of *Cinnamomum camphora* and *Pinus massoniana* mixed forests in subtropics China LI Zhongwen, YAN Wende, ZHENG Wei, et al (7707)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Assessing the spatial representativeness of eddy covariance flux observation stations of terrestrial ecosystems in China WANG Shaoqiang, CHEN Diecong, ZHOU Lei, et al (7715)
- The coupling relationship between variations of NDVI and change of aeolian sandy land in the Yarlung Zangbo River Basin of Tibet, China LI Haidong, SHEN Weishou, CAI Bofeng, et al (7729)
- Effects of higher resolution image and spatial grain size on landscape pattern in a small watershed of the farming-pastoral zone ZHANG Qingyin, FAN Jun (7739)
- The changes of soil organic carbon and carbon management index in alpine steppe CAI Xiaobu, YU Baozheng, PENG Yuelin, et al (7748)
- Spatial heterogeneity of soil organic carbon and total nitrogen at small scale in subalpine meadow and *Picea meyeri* forest in Luya Mountain WU Xiaogang, GUO Jinping, TIAN Xuping, et al (7756)
- Active pools of soil organic carbon in subtropical forests at different successional stages in Central Hunan, China SUN Weijun, FANG Xi, XIANG Wenhua, et al (7765)
- The impact of sheet and gully erosion on soil aggregate losses in the black soil region of Northeast China JIANG Yiliang, ZHENG Fenli, WANG Bin, et al (7774)
- Net nitrogen mineralization in soils of Napahai wetland in Northwest Yunnan XIE Chengjie, GUO Xuelian, YU Leichao, et al (7782)

- Variation of soil fertility in *Eucalyptus robusta* plantations after controlled burning in the red soil region and its ecological evaluation YANG Shangdong, WU Jun, TAN Hongwei, et al (7788)
- The spatio-temporal variations of vegetation cover in the Yellow River Basin from 2000 to 2010 YUAN Lihua, JIANG Weiguo, SHEN Wenming, et al (7798)
- Long-term dynamic simulation on forest landscape pattern changes in Mount Lushan LIANG Yanyan, ZHOU Nianxing, XIE Huiwei, et al (7807)
- Species habitat correlation analysis in temperate-subtropical ecological transition zone YUAN Zhiliang, CHEN Yun, WEI Boliang, et al (7819)
- Responses of Qilian junipers radial growth of different ecological environment and detrending method to climate change in Qinghai Province ZHANG Ruibo, YUAN Yujiang, WEI Wenshou, et al (7827)
- Resource and Industrial Ecology**
- The pattern of ecological capital in Daxiaoxinganling, Heilongjiang Province, China MA Lixin, QIN Xuebo, SUN Nan, et al (7838)
- Research and implementation of mobile data collection system for field survey of ecological environment SHEN Wenming, SUN Zhongping, ZHANG Xue, et al (7846)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- A remote sensing urban ecological index and its application XU Hanqiu (7853)
- Research Notes**
- Genetic diversity and DNA fingerprint of *Pleioblastus* by ISSR HUANG Shujun, CHEN Liguang, XIAO Yongtai, et al (7863)
- Comprehensive evaluation on photosynthetic and fluorescence characteristics in seedlings of 4 drought resistance species LU Guangchao, XU Jianxin, XUE Li, et al (7872)
- Stock difference of *Coelomactra antiquata* based on nuclear (ITS2) and mitochondrial (16S rRNA) DNA sequence and secondary structure MENG Xueping, SHEN Xin, ZHAO Nana, et al (7882)
- The mechanism of the characters of inorganic carbon acquisition to temperature in two *Ulva* species XU Juntian, WANG Xuwen, ZHONG Zhihai, et al (7892)
- Research on changes of dynamic characteristics of rainfall though *Platycladus Orientalis* plantation canopy in Beijing Mountain Area SHI Yu, YU Xinxiao, ZHANG Jianhui, et al (7898)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的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;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 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

本期责任副主编 丁 平

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 33 卷 第 24 期 (2013 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 24 (December, 2013)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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: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 90.00 元