

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 22 期 Vol.31 No.22 **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 22 期

2011 年 11 月 (半月刊)

目 次

叶冠尺度野鸭湖湿地植物群落含水量的高光谱估算模型	林 川, 宫兆宁, 赵文吉 (6645)
中国水稻潜在分布及其气候特征	段居琦, 周广胜 (6659)
大豆异黄酮浸种对盐胁迫大豆幼苗的生理效应	武玉妹, 周 强, 於丙军 (6669)
黑河中游荒漠绿洲过渡带多枝桧柳对地下水位变化的生理生态响应与适应	张 佩, 袁国富, 庄 伟, 等 (6677)
高寒退化草地甘肃臭草种群分布格局及其对土壤水分的响应	赵成章, 高福元, 石福习, 等 (6688)
基于生态足迹思想的皂市水利枢纽工程生态补偿标准研究	肖建红, 陈绍金, 于庆东, 等 (6696)
基于 MODIS 黄河三角洲湿地 NPP 与 NDVI 相关性的时空变化特征	蒋蕊竹, 李秀启, 朱永安, 等 (6708)
高分辨率影像支持的群落尺度沼泽湿地分类制图	李 娜, 周德民, 赵魁义 (6717)
土壤食细菌线虫对拟南芥根系生长的影响及机理	成艳红, 陈小云, 刘满强, 等 (6727)
基于网络 K 函数的西双版纳人工林空间格局及动态	杨珏婕, 刘世梁, 赵清贺, 等 (6734)
树轮灰度与树轮密度的对比分析及其对气候要素的响应	张同文, 袁玉江, 喻树龙, 等 (6743)
冀北山地阴坡优势树种的树体分维结构	田 超, 刘 阳, 杨新兵, 等 (6753)
帽峰山常绿阔叶林辐射通量特征	陈 进, 陈步峰, 潘勇军, 等 (6766)
不同类型拌种剂对花生及其根际微生物的影响	刘登望, 周 山, 刘升锐, 等 (6777)
一种自优化 RBF 神经网络的叶绿素 a 浓度时序预测模型	仝玉华, 周洪亮, 黄浙丰, 等 (6788)
不同种源麻栎种子和苗木性状地理变异趋势面分析	刘志龙, 虞木奎, 马 跃, 等 (6796)
黄土丘陵区植物叶片与细根功能性状关系及其变化	施 宇, 温仲明, 龚时慧 (6805)
干旱区五种木本植物枝叶水分状况与其抗旱性能	谭永芹, 柏新富, 朱建军, 等 (6815)
火灾对马尾松林地土壤特性的影响	薛 立, 陈红跃, 杨振意, 等 (6824)
江苏省太湖流域产业结构的水环境污染效应	王 磊, 张 磊, 段学军, 等 (6832)
高温对两种卡帕藻的酶活性、色素含量与叶绿素荧光的影响	赵素芬, 何培民 (6845)
江苏省典型干旱过程特征	包云轩, 孟翠丽, 申双和, 等 (6853)
黄土高原半干旱草地地表能量通量及闭合率	岳 平, 张 强, 杨金虎, 等 (6866)
光质对烟叶光合特性、类胡萝卜素和表面提取物含量的影响	陈 伟, 蒋 卫, 邱雪柏, 等 (6877)
铜陵铜尾矿废弃地生物土壤结皮中的蓝藻多样性	刘 梅, 赵秀侠, 詹 婧, 等 (6886)
圈养马麝刻板行为表达频次及影响因素	孟秀祥, 贡保草, 薛达元, 等 (6896)
田湾核电站海域浮游动物生态特征	吴建新, 阎斌伦, 冯志华, 等 (6902)
马鞍列岛多种生境中鱼类群聚的昼夜变化	汪振华, 王 凯, 章守宇 (6912)
基于认知水平的非使用价值支付动机研究	钟满秀, 许丽忠, 杨 净 (6926)
综述	
植物盐胁迫应答蛋白质组学分析	张 恒, 郑宝江, 宋保华, 等 (6936)
沉积物氮形态与测定方法研究进展	刘 波, 周 锋, 王国祥, 等 (6947)
野生鸟类传染性疾病预防研究进展	刘冬平, 肖文发, 陆 军, 等 (6959)
鱼类通过鱼道内水流速度障碍能力的评估方法	石小涛, 陈求稳, 黄应平, 等 (6967)
专论	
IPBES 的建立、前景及应对策略	吴 军, 徐海根, 丁 晖 (6973)
研究简报	
柠条人工林幼林与成林细根动态比较研究	陈建文, 王孟本, 史建伟 (6978)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 344 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-11



封面图说: 滩涂芦苇及野鸭群——中国的海岸湿地, 尤其是长江入海口以北的海岸线, 多为泥质性海滩, 地势宽阔低洼, 动植物资源丰富, 生态类型独特, 为迁徙的鸟提供了丰富的食物和休息、庇护的良好环境, 成为东北亚内陆和环西太平洋鸟类迁徙的重要中转站和越冬、繁殖地。一到迁徙季节, 成千上万的各种鸟类飞临这里, 尤其是雁鸭类数量庞大, 十分壮观。

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

谭永芹, 柏新富, 朱建军, 王仲礼, 刘林德. 干旱区五种木本植物枝叶水分状况与其抗旱性能. 生态学报, 2011, 31(22): 6815-6823.

Tan Y Q, Bai X F, Zhu J J, Wang Z L, Liu L D. An analysis on the water status in twigs and its relations to the drought resistance in Five woody plants living in arid zone. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(22): 6815-6823.

干旱区五种木本植物枝叶水分状况与其抗旱性能

谭永芹, 柏新富*, 朱建军, 王仲礼, 刘林德

(鲁东大学生命科学学院, 烟台 264025)

摘要:用压力-容积(PV 曲线)法测定了柽柳、梭梭、胡杨、沙枣和花棒等 5 种干旱区木本植物的水分参数,同时用 TPS-1 型光合蒸腾测定系统、压力室和露点微伏压计测定了其叶片(同化枝)的蒸腾速率、枝叶水势和渗透势,并结合持水力和枝叶相对含水量等的测定结果,分析了 5 种木本植物枝叶水分状况与其抗旱性能的关系。结果表明:PV 曲线水分参数虽然在一定程度上反映了植物组织内部的水分状况和抗旱潜力,但依据不同参数分析得出的不同植物抗旱性有所不同,有的甚至相反;以 PV 曲线水分参数为依据利用隶属函数法计算的综合抗旱性指数显示 5 种木本植物抗旱性能并无显著差异。而综合 PV 曲线水分参数和蒸腾速率、枝叶水势、渗透势等实测水分指标计算的综合抗旱性能指数则较好地显示了 5 种木本植物的综合抗旱性能的强弱,即第 1 层次梭梭抗旱性最强,第 2 层次是柽柳,第 3 层次是沙枣、花棒和胡杨,其中又以胡杨综合抗旱能力最差。由此可见,采用 PV 曲线水分参数和实测水分指标进行综合评价能够较好地评定植物的抗旱性能。

关键词:干旱区;木本植物;PV 曲线;水势;抗旱性

An analysis on the water status in twigs and its relations to the drought resistance in Five woody plants living in arid zone

TAN Yongqin, BAI Xinfu*, ZHU Jianjun, WANG Zhongli, LIU Linde

College of Life Sciences, Ludong University, Yantai 264025, China

Abstract: Water is the main environmental factor that affects plant growth and survival, and the eco-physiology of plants involving water has been an important aspect of research in plant drought resistance for a long time. The emergence of the PV technique allows researchers to investigate the water status of plant tissues in greater detail and to investigate the potential resistance of plants to drought resistance with new approaches. However, the application of the PV technique to the study of drought resistance in plants also brings about other problems such as the abuse of the method. Because the resistance of plants to drought stress is a process of regulated through multiple pathways, it is very hard to evaluate the drought resistance of plants with a single index or parameter. Thus the attempt to look for a eco-physiological index of water that is more accurate and more reasonable in evaluating the drought resistance of plants is a goal sought by researches for many years. In this experiment, the parameters of plant water status were measured by means of the PV curve, and the transpiration rate, leaf and/or twig water potential, and their osmotic potential were measured with a TPS-1 photosynthesis system, a pressure chamber and a dew point microvolt-meter in 5 woody plants (*Populus euphratica* Oliv., *Elaeagnus angustifolia* L., *Tamarix ramosissima* Ledeb., *Haloxylon ammodendron* Bunge, *Hedysarum scoparium* Fisch.) living in arid zone, respectively. The water status in relation to their drought resistance in the 5 woody plants were analyzed in terms of ψ_s^{sat} (the osmotic potential in water saturated), ψ_s^{tp} (the osmotic potential when turgor pressure is zero), RWC^{tp} (the relative water content when turgor pressure is zero), ROWC^{tp} (the relative content of osmotic water when turgor pressure is

基金项目:国家重点基础研究发展计划(2009CB421303)

收稿日期:2010-12-28; 修订日期:2011-04-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: bxf64@163.com

zero), V_a (the content of bounding water), transpiration rate, water potential, osmotic potential, water-retaining capability and relative water content. The results showed that although parameters from the PV curve could reflect the water status of in plant tissue and their potential drought resistance, the extent of resistance showed by those parameters is different or even contradictory. The drought resistance indices calculated with membership function based on the 5 parameters from the PV curve (ψ_s^{sat} , ψ_s^{tp} , RWC^{tp} , ROWC^{tp} and V_a) showed that there was no significant difference in drought resistance in the 5 woody plants living in arid zone; while the comprehensive indices of drought resistance yielded from the combined analysis of the parameters from the PV curves, transpiration rate, leaf/twig water potential, osmotic potential, water-retaining capability and relative water content showed that the 5 species can be divided into 3 levels in terms of drought resistance: the first is *H. ammodendron* with the highest drought resistance; the second is *T. ramosissima*, and *E. angustifolia*, *H. scoparium*, and *P. euphratica* belong to the third category, among which *P. euphratica* having the lowest drought resistance duo to its high level of water consumption that narrows its habitats progressively. It is therefore concluded that a comprehensive estimation of the parameters from the PV curves (ψ_s^{sat} , ψ_s^{tp} , RWC^{tp} , ROWC^{tp} and V_a) and from the actual measurements (transpiration rate, water potential, osmotic potential, water-retaining capability and relative water content) could better evaluate the drought resistance of plants.

Key Words: arid zone; woody plants; PV curve; water potential; drought resistance

水分是影响植物生长、限制植物生存的主要环境因素,水分生理生态一直是植物抗旱性研究的重要方面。PV 技术(压力-容积技术)的建立,使人们能够进一步了解植物组织内部的水分状况及潜在的忍耐能力^[1]。王万里^[2]在 1984 年将 PV 技术引入我国的植物抗旱生理研究,之后王孟本等^[3]、李庆梅等^[4]以 PV 技术为基础对植物的综合抗旱性进行了分析,包括近年来一些学者利用 PV 技术对油蒿^[5]、新疆杨^[6]、毛白杨^[7]、锦刺^[8]等的综合分析,均能够较好地反映出植物的抗旱性能。但是,在利用 PV 技术研究植物抗旱性方面也存在一些问题。有关细胞壁弹性模量与植物抗旱的关系,陈由强等^[9]和 Martnez 等^[10]认为,其弹性模量值的大小与植物抗旱性呈负相关;而 Kamel Hessini 等^[11]、Perez-Perez 等^[12]和曾凡江等^[13]的试验结果认为,高的细胞弹性模量是一种耐旱特征。对压力无限大时,压出液(V_0)和剩余水分(V_a)的解释国内文献大多都认为压出液为自由水,剩余水分束缚水,并根据这一概念对植物抵御干旱胁迫的能力加以分析^[4,14-16]。而李向义等^[17]认为, V_0 和 V_a 应该是指共质体水和质外体水。Tyree 等^[18]也认为,在对 PV 曲线分析时对于束缚水的概念应该抛弃,认为它和压力无穷大时将植物体内的水分全部压出是两个不同的概念。这些问题一方面说明 PV 曲线理论还有待完善,另一方面也显示出不同植物抗旱机制有所不同。干旱区植物在长期的进化过程中各自形成了一套独特且完善的抗旱系统,比如:沙枣叶片表面完全被星状的银色鳞片覆盖,既对光有较强的反射能力,又可以减少蒸腾耗水;梭梭等含水量和肉质化程度高,蒸腾低、保水力强;而红砂等则具有较高的水分利用率^[19],因此,很难用单一的水分参数或指标来衡量不同植物的抗旱性。为了寻求更准确、合理的鉴定植物抗旱性能的水分生理生态指标,本实验在制作、计算 PV 曲线水分参数的同时测定了蒸腾速率、枝叶水势等水分生理指标,以此为基础对干旱区 5 种木本植物:怪柳、胡杨、沙枣、梭梭和花棒的抗旱性能进行比较分析,并对 PV 曲线水分参数在分析植物抗旱性中的应用进行探讨。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本实验在中国科学院寒区旱区环境与工程研究所临泽试验站进行。该试验区位于甘肃省河西走廊中部,属于温带荒漠气候类型,多年平均降水量 117 mm,年潜在蒸发量 2390 mm,为降水量的 20 多倍。实验以 5 种自然生长的木本植物胡杨(*Populus euphratica* Oliv.)、沙枣(*Elaeagnus angustifolia* L.)、怪柳(*Tamarix ramosissima* Ledeb.)、梭梭(*Haloxylon ammodendron* Bunge)和花棒(*Hedysarum scoparium* Fisch.)为材料。

1.2 PV 曲线制作及相关参数计算

参照何兴东等^[20]的方法制作 PV 曲线和计算相应的水分参数:膨压为零时的渗透势(ψ_s^{up})、饱和含水时的渗透势(ψ_s^{sat})、膨压为零时的相对含水量(RWC^{up})和相对渗透水含量(ROWC^{up})、束缚水含量(V_a)、细胞最大弹性模量(ε_{max})。

1.3 蒸腾速率测定

利用光合蒸腾测定系统(TPS-1,英国 PP Systems 公司)测定蒸腾速率。为了便于不同植物叶片或同化枝之间的比较,测定后立即称量叶室中叶片(同化枝)的鲜重,再将单位转换为每克鲜重每小时蒸腾失水量($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)。测定时的光照强度 1450—1500 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、气温 31—32℃、大气相对湿度 24%—25%。

1.4 水势和渗透势测定

分别于清晨日出前(北京时间 5:30—6:30)和中午(北京时间 13:00—14:00)取样测定。样枝取自植株向阳面中上部,长约 20 cm,用兰州大学生产的 ZLZ-5 压力室测定样枝水势;同时迅速将样枝的叶片放入保鲜袋中,置于冰箱冷冻 24 h,取出,在室温下放置 30 min 解冻后挤出汁液用露点微伏压计(HR-33-T-R,美国 Wescor 公司)测定叶片的渗透势。

1.5 相对含水量测定

将样枝基部剪去 2 cm 左右,称鲜重,之后将样枝浸入蒸馏水中 12—15 h(用塑料薄膜覆盖),使其吸水达到饱和状态,取出样枝并吸干水分,称其饱和鲜重,于 75℃ 下烘干称干重。相对含水量 = [(鲜重 - 干重) / (饱和鲜重 - 干重)] × 100%。

1.6 综合抗旱性能指数的计算

参照黎燕琼等^[21]的隶属函数法求综合抗旱性能指数 IR 。

$$IR = \frac{1}{n} \sum IR_i$$

式中,对与抗旱性呈正相关的指标 $IR_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$,对与抗旱性呈负相关的指标 $IR_i = 1 - \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$ 。 IR_i 为某一指标的抗旱性指数, x_i 为某一指标的各测定值的绝对值, $x_{\max}$ 为该指标各测定值的绝对值最大者, $x_{\min}$ 为该指标各测定值的绝对值最小者。

PV 曲线制作和所有测定均重复 3 次(3 个测定枝条分别取自同一生境下每种植物的 3 株生长势相近的植株),结果以“平均数 ± 标准差”计,利用 Origin6.0 作图、SPSS13.0 进行统计分析和 Duncan 多重比较。

2 结果与分析

2.1 PV 曲线水分参数与 5 种木本植物的抗旱性能分析

2.1.1 ψ_s^{sat} 和 ψ_s^{up}

ψ_s^{sat} 为饱和含水时的渗透势, ψ_s^{sat} 值越低,表明细胞液浓度越大,植物维持最大膨压的能力越强,即植物的耐脱水能力越强^[20]。由图 1 可以看出,梭梭的 ψ_s^{sat} 值最低,其次是怪柳、沙枣、胡杨,最后是花棒,且相互之间差异明显($P < 0.05$),说明梭梭在完全饱和吸水时,保持膨压的能力最强,最耐脱水;花棒保持膨压的能力最弱,最不耐脱水;怪柳、沙枣、胡杨居中。

ψ_s^{up} 是膨压为零时的渗透势值,反映了植物维持最低膨压的极限渗透势, ψ_s^{up} 值越低,表明植物维持膨压的能力越强,对干旱的忍受能力也就越强^[22]。由图 1 可以看出怪柳和梭梭、胡杨和沙枣的 ψ_s^{up} 值虽然存在差别,但相互之间差异并不显著($P > 0.05$),而花棒与怪柳、梭梭、胡杨、沙枣之间差异显著($P < 0.05$)。说明怪柳、梭梭、胡杨和沙枣对干旱环境的耐受能力较强,而花棒对干旱环境的耐受能力相对较弱。此外,不同的植物, ψ_s^{sat} 和 ψ_s^{up} 的高低顺序存在一定的差别,这可能与细胞中可溶性物质的数量、种类有一定的关系。

2.1.2 RWC^{up} 和 ROWC^{up}

RWC^{up} 和 ROWC^{up} 分别表示膨压为零时的相对含水量和相对渗透水含量。二者表明植物细胞在生命临

界点的水分状况,在一定程度上也反映了植物组织忍耐高渗透压和原生质忍耐脱水的能力, RWC^{up} 和 $ROWC^{up}$ 值越低,表明植物组织细胞对脱水的忍耐能力越强^[23]。由图2可以看出,5种木本植物的 RWC^{up} 和 $ROWC^{up}$ 值从高到低依次为梭梭、柽柳、胡杨、沙枣和花棒,即花棒对于细胞脱水的耐受能力最强,沙枣次之,胡杨、柽柳和梭梭较差。

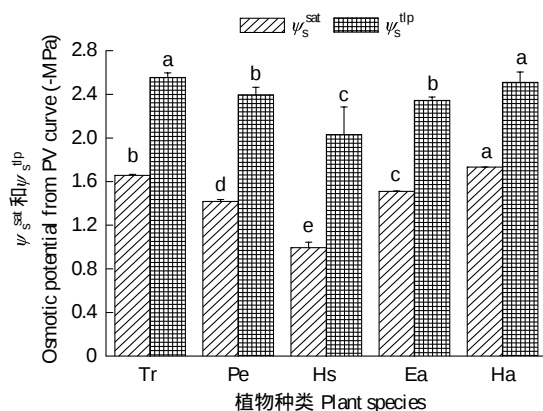


图1 5种木本植物 ψ_s^{sat} 和 ψ_s^{up} 及两者的差值

Fig. 1 The ψ_s^{sat} and ψ_s^{up} together with their differences in 5 woody plants

Tr: 柽柳 *T. ramosissima*; Pe: 胡杨 *P. euphratica*; Hs: 花棒 *H. scoparium*; Ea: 沙枣 *E. angustifolia*; Ha: 梭梭 *H. scoparium*; 图中同一参数不同植物之间字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$), 字母相同表示差异不显著; 图中 ψ_s^{sat} 为饱和含水时的渗透势, ψ_s^{up} 为膨压为零时的渗透势

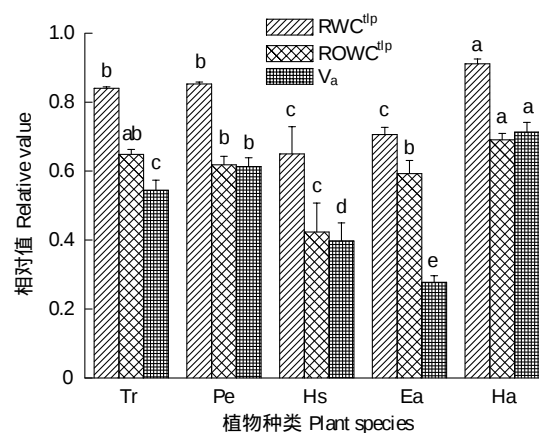


图2 5种木本植物 RWC^{up} 、 $ROWC^{up}$ 和 V_a 的比较

Fig. 2 Comparison of RWC^{up} , $ROWC^{up}$ and V_a in 5 woody plants

图中 RWC^{up} 表示膨压为零时的相对含水量, $ROWC^{up}$ 表示膨压为零时的相对渗透水含量, V_a 为束缚水相对含量

2.1.3 束缚水含量(V_a)

抗旱性强的植物具有较高的束缚水含量,束缚水的比例越大,细胞原生质粘滞性及原生质胶体的亲水性越强,因而有利于植物吸水 and 保水^[23]。由图2可以看出,梭梭的 V_a 值最高,且五种植物相互间差异显著 ($P < 0.05$),即5种植物忍耐干旱和吸水保水的能力依次为梭梭、胡杨、柽柳、花棒、沙枣。

2.1.4 组织细胞最大弹性模量

组织细胞弹性模量(ϵ)是表示细胞壁弹性的参数。组织细胞弹性模量值越大,表示细胞壁越坚硬;反之,则说明细胞壁越柔软。由图3可以看出, ϵ_{max} 值的大小顺序是梭梭、柽柳、胡杨、沙枣、花棒,但胡杨和沙枣间差异也不明显 ($P > 0.05$)。由此可以看出,梭梭的细胞壁最坚硬,细胞壁弹性小;花棒的 ϵ_{max} 值最小,细胞壁最柔软;而柽柳、沙枣和胡杨居中。

2.2 实际测定的水分指标与5种木本植物的抗旱性能

2.2.1 蒸腾速率

由图4可以看出,5种植物的蒸腾速率之间存在着明显的差异 ($P < 0.05$),其中胡杨的蒸腾速率最高,其次是沙枣和花棒,柽柳和梭梭较低,且各种植物相互之间蒸腾速率差异显著 ($P < 0.05$)。可见,胡杨蒸腾耗水最多,需要大量的水分供应;梭梭蒸腾耗水最少,对环境的水分要求最低;沙枣、花棒和柽柳则处于两者之间。

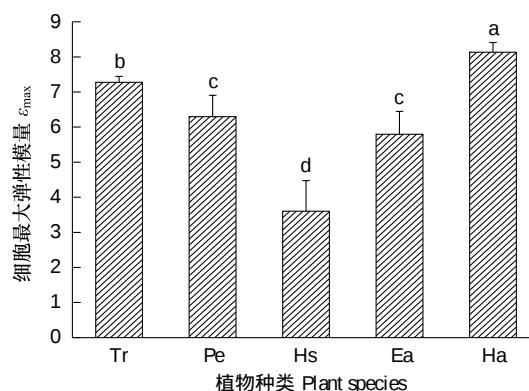


图3 5种木本植物 ϵ_{max} 的比较

Fig. 3 Comparison of ϵ_{max} in 5 woody plants

2.2.2 持水力

持水力是表征植物耐旱性的一个重要指标,植物离体后迅速失水,在外界环境条件相同的情况下,一定时间内脱水越多,其保水能力越小,抗旱能力越差^[24]。通过对 5 种植物枝叶脱水率的测定,发现胡杨在 6 h 和 12 h 内的累计脱水率均明显高于其它 4 种植物;花棒次之;而柽柳、沙枣和梭梭的脱水率相对较低(图 5)。即在这 5 种木本植物中,梭梭的持水力最强,沙枣、柽柳次之,花棒和胡杨持水力则相对较弱。

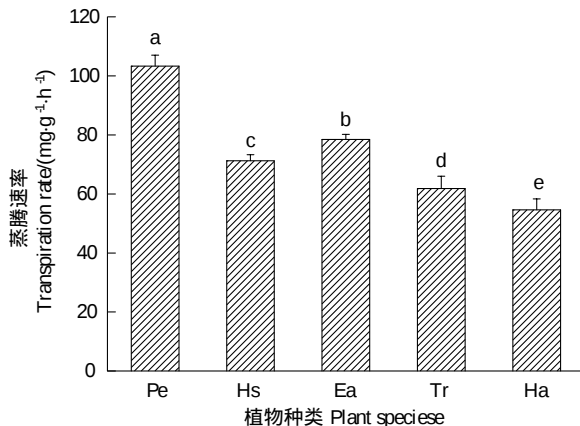


图 4 5 种木本植物的蒸腾速率

Fig. 4 Transpiration rate in 5 woody plants

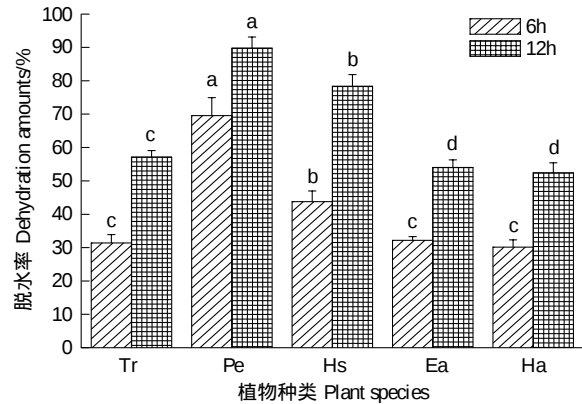


图 5 5 种木本植物叶片(同化枝)离体后 6 h 和 12 h 的脱水率变化

Fig. 5 Dehydration rate in leaves (or assimilating shoots) after detachment 6 and 12 hours in 5 woody plants

2.2.3 枝叶水势、渗透势

枝叶水势和渗透势是反映植物水分状况的重要指标,水势越低,吸水能力越强,忍耐和抵抗干旱的能力也越强^[25];降低渗透势、通过渗透调节来维持细胞膨压也是植物抵抗水分逆境胁迫的一种重要方式^[26]。通过对 5 种植物枝叶水势和渗透势的测定,发现梭梭在清晨和中午的水势和渗透势均明显低于其它 4 种植物,柽柳次之;而沙枣、花棒、胡杨的水势和渗透势相对较高(图 6)。因此,在这 5 种木本植物中,梭梭的吸水能力和通过渗透调节来维持膨压的能力最强,柽柳次之,沙枣、胡杨和花棒则相对较弱。

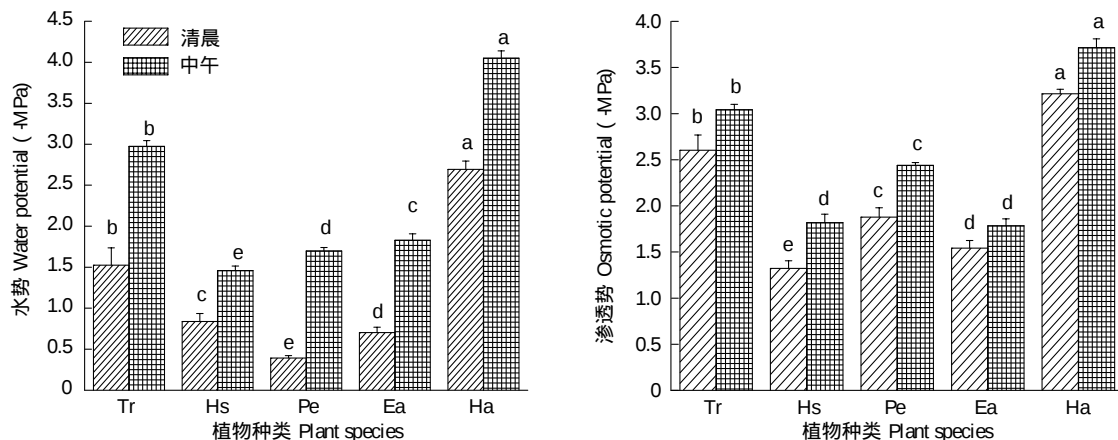


图 6 5 种木本植物叶片(同化枝)的水势和渗透势比较

Fig. 6 Comparison of water and osmotic potential in leaves (or assimilating shoots) 5 woody plants

2.2.4 枝叶相对含水量

相对含水量越高,植物体保水能力越强,抗旱性也越强。通过对 5 种植物相对含水量的测定,发现梭梭的相对含水量显著高于其它 4 种植物;花棒与胡杨和沙枣之间、柽柳与沙枣之间差异显著($P < 0.05$);柽柳与花棒、柽柳与胡杨之间没有显著差异($P > 0.05$)(图 7)。由此推断在干旱环境条件下的保水能力以梭梭最强,柽柳

柳与花棒次之,胡杨和沙枣最弱。

2.3 综合抗旱性能指数评价

植物的抗旱性是受多种形态结构和生理生化特性所调控的,任何单一指标都不能作为评定植物抗旱性的唯一指标。综合抗旱性指数可能是较为全面、客观的评价植物抗旱性指标。本实验应用隶属函数法对 5 种木本植物的抗旱性分析结果见表 1。以 PV 曲线水分参数的 5 个常用指标为依据的排序结果:抗旱性由强到弱依次为柽柳、梭梭、胡杨、沙枣、花棒;而将 PV 曲线水分参数和实测水分指标共 10 项指标综合排序结果:抗旱性由强到弱依次为梭梭、柽柳、沙枣、花棒、胡杨,两者之间存在一定差异,特别是胡杨的排序发生了较大的变化。进一步的统计分析发现:以 PV 曲线水分参数的 5 个常用指标为依据计算的 5 种木本的综合抗旱性指数之间无显著差异($P>0.05$);而以全部 10 项指标为依据计算的 5 种木本的综合抗旱性指数表现为:梭梭与沙枣、花棒、胡杨之间差异显著($P<0.05$),梭梭与柽柳之间差异不显著($P>0.05$),柽柳、沙枣、花棒、胡杨之间差异不显著($P>0.05$)。即本实验研究的 5 种木本植物的综合抗旱性能强弱可分为 3 个层次:第 1 层次是梭梭抗旱性最强,第 2 层次是柽柳,第 3 层次是沙枣、花棒和胡杨,其中以胡杨综合抗旱能力最差。

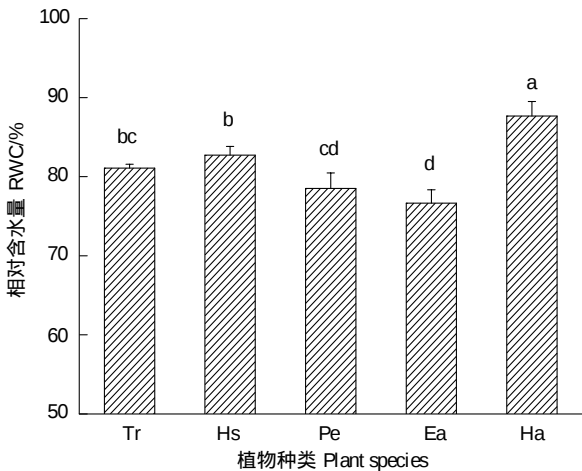


图 7 5 种木本植物叶片(同化枝)的相对含水量比较
Fig. 7 Comparison of relative water content in leaves (or assimilating shoot) of 5 woody plants

表 1 5 种木本植物各水分参数或指标的 IR_i 值及综合抗旱性能指数

水分参数/指标 Water parameters	植物种类 Plant species				
	柽柳 <i>T. ramosissima</i>	胡杨 <i>P. euphratica</i>	花棒 <i>H. scoparium</i>	沙枣 <i>E. angustifolia</i>	梭梭 <i>H. ammodendron</i>
ψ_s^{sat}	0.896	0.572	0	0.698	1.000
ψ_s^{dp}	1.000	0.695	0	0.600	0.916
RWC^{dp}	0.272	0.222	1.000	0.786	0
$ROWC^{dp}$	0.160	0.272	1.000	0.366	0
V_a	0.615	0.771	0.275	0	1.000
蒸腾速率 Transpiration rate	0.852	0	0.659	0.511	1.000
脱水率 Dehydration rate	0.874	0	0.306	0.956	1.000
水势 Water potential	0.587	0.093	0	0.143	1.000
渗透势 Osmotic potential	0.649	0.340	0.021	0	1.000
RWC	0.403	0.168	0.550	0	1.000
IR_{PV}	0.589 ^a	0.506 ^a	0.455 ^a	0.490 ^a	0.583 ^a
IR_T	0.631 ^{ab}	0.313 ^b	0.381 ^b	0.406 ^b	0.792 ^a

IR_{PV} 指以 PV 曲线计算获得的 5 项水分参数为依据计算的综合抗旱性能指数; IR_T 指以 10 项参数和指标计算的综合抗旱性能指数

3 讨论

3.1 PV 曲线不同水分参数对植物抗旱性分析的不一致性

通过对干旱区 5 种木本植物 PV 水分参数的分析,发现用不同的水分参数分析植物抗旱性强弱的结果有所不同,有的甚至完全相反。比如干旱区 5 种木本植物抗旱性由强至弱的顺序,根据 ψ_s^{sat} 值为:梭梭、柽柳、沙枣、胡杨、花棒;根据 ψ_s^{dp} 值为:柽柳、梭梭、胡杨、沙枣、花棒;从 RWC^{dp} 和 $ROWC^{dp}$ 角度为:花棒、沙枣、柽柳、胡杨、梭梭;依据 V_a 为:梭梭、胡杨、柽柳、花棒、沙枣。党宏忠等^[27]对青海云杉、祁连园柏等的研究,韩刚等^[28]

对柠条、杨柴等的研究,以及周海燕^[6]对圆柏、国槐、新疆杨等的研究都有类似结果。出现这种现象可能与植物的抗旱性是多因子共同作用的结果以及不同种类植物具有不同抵御干旱的方式有关,某一种水分参数所表达的仅是某一因子的信息,即以任意单一参数或指标的大小来判断植物抗旱性强弱都是不科学的。

3.2 对 V_a 的解释和理解

V_a (束缚水含量) 的计算依据为 PV 曲线直线延伸部分与 X 轴的交点以内的为 V_0 、交点以外的为 V_a 。可以理解为: V_0 是压力无限大时压出的水分、 V_a 是剩余水分。目前国内学者在利用 PV 曲线水分参数分析植物的抗旱性时多将 V_0 解释为自由水、 V_a 解释为束缚水,“symplastic water”指细胞原生质体内即活的细胞内所包含的水分,“apoplastic water”指细胞原生质体外即活的细胞外所含的水分(包括细胞壁、细胞间隙、导管空腔内等部分的水分)。王万里^[2]最早将其译为“共质体水”和“质外体水”,显然是与原意相符的;李向义等^[17]也认为将 symplastic water 和 apoplastic water 称为共质体水和质外体水是合适的。但是,多数学者根据 PV 曲线计算的结果: V_a 在不同植物中的范围为 0.40—0.80^[6,16],有的甚至达 0.86^[9],即质外体水的含量占小枝叶总含水量的 40%—80%,甚至更多。然而,质外体的实际含水量目前虽然没有准确的测定方法,但一般认为占枝叶总含水量的 5% 左右^[29]。显然,根据 PV 曲线计算获得的 V_a 与实际的质外体水有很大的差距;同时,由于质外体的体积仅占组织总体积的 5%—20%^[30],高达 40%—80% 的质外体水将充满所有的质外体空间,从而严重影响活细胞的正常气体交换。因此,将 V_a 解释为质外体水与植物组织真实的水分状态是不相符的。根据多数学者的实验结果,也包括本实验的结果, V_a 的原意虽不是束缚水,但是将其理解为束缚水似乎更符合实际,也更有利于 PV 水分参数在分析植物抗旱性中的应用。

3.3 组织细胞弹性模量与植物抗旱性的关系

组织细胞弹性模量 ε 是指组织在失去一部水后细胞压力势的变化^[1]。由于 ε 不是一个常数,所以在分析中一般取最大弹性模量 $\varepsilon_{\max}$ 来表示细胞壁的物理特性。 $\varepsilon_{\max}$ 表示细胞体积改变时单位面积上受到的最大的力。 $\varepsilon_{\max}$ 值越高表示细胞壁越坚硬、弹性越小,反之则说明细胞越柔软、弹性越大^[31]。但是,有关组织细胞弹性模量与植物的抗旱性的关系,已有的实验结果还存在明显的不一致。陈由强等^[9]的实验表明,抗旱性较强的湿地松其细胞壁弹性模量值较小;Martinez 等^[10]也发现,抗旱性强的菜豆在水分胁迫条件下其细胞弹性模量值变小,即弹性模量值的大小与植物抗旱性呈负相关。而 Jones 等^[32]早期的实验证明:高粱叶片由于干旱处理会使细胞的 $\varepsilon_{\max}$ 值增大;Kamel Hessini 等^[11]和 Perez-Perez 等^[12]却发现,干旱胁迫下互花米草(*Spartina alterniflora*)和柠檬的细胞弹性模量值较大,细胞壁厚实而且坚硬;曾凡江等^[13]也认为高的细胞弹性模量是一种耐旱特征。 $\varepsilon_{\max}$ 值的变化反映的是不同种类植物对干旱胁迫的响应具有不同的方式。虽然细胞壁弹性强的植物细胞在干旱条件下能够较快地收缩、有利于其保持较高的细胞膨压和维持细胞正常的生命活动,但是其能力是有限的,是对干旱的被动忍耐;而坚硬、厚实的细胞壁虽然弹性较小,但有利于保持细胞的水分、避免干旱条件下体内水分的过度散失,是对干旱的主动适应。据此推理,真正能够抵御和适应长期干旱环境的应是细胞具有较厚细胞壁的植物种类。

3.4 干旱区 5 种木本植物抗旱性的比较分析

长期生存在干旱环境下的植物通过形态结构和生理生化上的变化逐渐形成了一套对维持自身生存和繁衍最佳的干旱适应方式。在形态结构方面,胡杨和沙枣为阔叶植物,但是沙枣叶片两面皆被白色鳞片,既可以反射光辐射,又能够减少蒸腾失水;胡杨叶表面虽有角质覆盖,但其反射光辐射或避免蒸腾失水的能力远不及沙枣。梭梭、柽柳和花棒为了适应干旱环境,叶片退化成鳞片状小叶或同化枝,以减少蒸腾耗水。在生理生化方面,胡杨和梭梭具有低水势维持光合作用的能力^[33];花棒能够通过气孔调节来改善光合作用和减少蒸腾失水^[34];沙枣则能够对光合作用进行补偿和维持较高的保护酶活性^[35];而柽柳能够在低水势下维持膨压^[36],即不同植物干旱适应方式各不相同。为了更准确的反映植物抗旱能力的大小,多数学者引入综合抗旱性指数进行判断。本实验应用隶属函数法计算综合抗旱性指数对 5 种木本植物抗旱性的分析结果显示,以 PV 曲线水分参数 ψ_s^{dp} 、 ψ_s^{sat} 、RWC^{dp}、ROWC^{dp}、 V_a 等 5 个常用参数为依据的排序结果与以实测水分指标和 PV 曲线水分

参数综合为依据的排序结果存在差异,特别是胡杨的位置发生了较大变化。而已有的研究结果显示,胡杨蒸腾耗水量大,难以适应极端缺水的环境^[37]。因此,本实验研究的5种木本植物的综合抗旱性能强弱可分为3个层次:第1层次是梭梭抗旱性最强,第2层次是怪柳,第3层次是沙枣、花棒和胡杨,其中以胡杨综合抗旱能力最差,其高耗水的特性将使其生存空间越来越小。由此可见,采用PV曲线水分参数和实测水分指标进行综合评价更接近各种植物的实际抗旱潜力。

References:

- [1] Tyree M T, Hammel H T. The measurement of the turgor pressure and water relations of plants by pressure-bomb technique. *Journal of Experimental Botany*, 1972, 23(1): 267-282.
- [2] Wang W L. The application of the pressure chamber in studying the water status of plants. *Plant Physiology Communications*, 1984, (3): 52-57.
- [3] Wang M B, Li H J, Chai B F. Drought resistance index of three species of trees in the northwestern Shanxi. *Bulletin of Botanical Research*, 1996, 16(2): 195-200.
- [4] Li Q M, Xu H C. The changes of main water parameters in *Pinus tabulaeformis* with season and provenance. *Journal of Plant Ecology*, 1992, 16(4): 326-335.
- [5] Li X J, Tan H J, Zhang Z S, Li X R. Water relations of different parts of *Artemisia ordosica*. *Journal of Desert Research*, 2007, 27(3): 448-454.
- [6] Zhou H Y. Drought-resistance of four trees in Jinchang City. *Journal of Desert Research*, 1997, 17(3): 301-303.
- [7] Yang M S, Pei B H, Yu D M. Influence of water stress on the abilities to maintain turgor and adjust osmosis in seedlings of hybrid clones of *Populus tomentosa*. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, 17(4): 364-370.
- [8] Li X, Wang Y C, Zheng R. Water parameters of desert xeric shrubs in west Erdos region. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(5): 963-967.
- [9] Chen Y Q, Ye B Y, Zhu J M. Comparison of water relation among three woody plants by using pressure-volume technique. *Journal of Fujian Normal University(Natural Science Edition)*, 1999, 15(4): 71-75.
- [10] Martinez J P, Silva H, Ledent J F, Pinto M. Effect of drought stress on the osmotic adjustment, cell wall elasticity and cell volume of six cultivars of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *European Journal of Agronomy*, 2007, 26(1): 30-38.
- [11] Hessini K, Martinez J P, Gandoura M, Albouchib A, Soltania A, Abdella C. Effect of water stress on growth, osmotic adjustment, cell wall elasticity and water-use efficiency in *Spartina alterniflora*. *Environmental and Experimental Botany* 2009, 67(2): 312-319.
- [12] Pérez-Pérez J G, Robles J M, Tovar J C, Botía P. Response to drought and salt stress of lemon 'Fino 49' under field conditions: water relations, osmotic adjustment and gas exchange. *Scientia Horticulturae*, 2009, 122(1): 83-90.
- [13] Zeng F J, Li X Y, Zhang X M. Variation characteristics of perennial plant species water relation parameters under extreme arid condition. *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(2): 207-214.
- [14] Feng J Z. Water characteristic curves and water relations of desert plants. *Journal of Desert Research*, 1995, 15(3): 222-226.
- [15] Siqinbater, Xiu M. Hydrological characteristic of the desert plant *Prunus mongolica* on the mongolian plateau of China. *Journal of Plant Ecology*, 2007, 31(3): 484-489.
- [16] Zhou H Y. Comparative analysis of drought resistance of introduced plants in Jinchang city of Gansu province. *Journal of Desert Research*, 2000, 20(4): 464-466.
- [17] Li X Y, Zhang X M. A discussion on the concept of apoplast and symplast water from parameters obtained from the pressure-volume curves. *Plant Physiology Communications*, 2001, 37(6): 545-546.
- [18] Tyree M T, Karamanos A J. Water stress as an ecological factor//Grace J, Ford E D, Jarvis P G, eds. *Plants and Their Atmospheric Environment*. Oxford: Blackwell, 1981: 237-261.
- [19] Ma J Y, Chen F H, Xia D S, Sun H L, Wang G. Relationships between soil factors and leaf element, water contents in desert plant *Reaumuria soongorica*. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(3): 983-992.
- [20] He X D, Cong P F, Gao Y B, Lu J G, Wang H T, Xue P P, Zhang X. Study on drought resistance of four herbs using pressure-volume curve. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Nankaiensis*, 2006, 39(3): 16-22.
- [21] Li Y Q, Liu X L, Zheng S W, Chen H, Yue Y J, Mu C L, Liu J. Drought-resistant physiological characteristics of four shrub species in arid valley of MinJiang River, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(3): 870-877.
- [22] Chai B F, Li H J, Wang M B. A study on water physiology and quantity of drought resistance of several trees in the hilly loess region in the west of Shanxi province. *Bulletin of Botanical Research*, 2000, 20(1): 79-85.
- [23] Chai B F, Wang M B, Li H J. A comparative study on water parameters of three species of trees by using P-V curve. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1996, 16(4): 35-40.
- [24] Liu J G, He Y Q, Chen C Q, Bian X M. Comparisons of water potential among four kind crops of spring and summer in the upland red soil. *Chinese Journal of Soil Science*, 2007, 38(5): 863-866.
- [25] Fu A H, Chen Y N, Li W H, Zhang H F. Research advances on plant water potential under drought and salt stress. *Journal of Desert Research*, 2005, 25(5): 744-749.
- [26] Shao Y J, Shan L. Advances in the studies on drought tolerance mechanism of plants. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2006, 14(4): 16-20.
- [27] Dang H Z, Zhou Z F, Zhao Y S. Drought resistibility of main tree species in water conservation forest of Qilian Mountains. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(12): 2241-2247.
- [28] Han G, Li Y J, Sun D X, Zhao Z. The response of pressure-volume curve water parameters of four desert shrub seedlings to drought stress. *Acta*

- Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2008, 28(7): 1422-1428.
- [29] Tyree M T, Jarvis P G. Water in tissues and cells//Lange O L, Nobel P S, Osmond C B, Ziegler H, eds. Physiological Plant Ecology II: Water Relations and Carbon Assimilation (Encyclopedia of Plant Physiology, New Series, Vol 12B). Berlin: Springer-Verlag, 1982: 35-77.
- [30] Cao Y Z, Song Z W. Plant Physiology. Lanzhou: Lanzhou University Press, 1998: 89-90.
- [31] Li J Y. An application of PV technique to study drought resistance of *Pinus tabulaeformis* and *Platycladus orientalis* seedlings. Journal of Beijing Forestry University, 1989, 11(1): 3-11.
- [32] Jones M M, Turner N C. Osmotic adjustment in leaves of sorghum in response to water deficits. Plant Physiology, 1978, 61(1): 122-126.
- [33] Bai X F, Zhu J J, Zhao A F, Su P X, Bu Q M, Zhao X. Comparison of physiological adaptabilities of several desert plants to drying stress. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2008, 14(6): 763-768.
- [34] Zhang L P, Teng Y W, Wang X P, Huang Z C, Liu X M. Periodic oscillations in stomatal conductance of xerophyte *Hedysarum scoparium*. Journal of Lanzhou University(Natural Sciences), 1996, 32(4): 128-131.
- [35] Sun J K, Zhang W H, Lu Z H, Liu X C. Effects of drought stress on gas exchange characteristics and protective enzyme activities in *Elaeagnus angustifolia* and *Grewia biloba* G. Don var. *parviflora* seedlings. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(3): 1330-1340.
- [36] Zeng F J, Zhang X M, Li X M. A review on the water physiological characteristics of *Tamarix* and its prospect. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(5): 611-614.
- [37] Bai X F, Zhu J J, Wang Z L, Bian D X, Liu L D. Ion uptake and distribution in relation to the adaptability of several desert species. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(12): 3247-3253.

参考文献:

- [2] 王万里. 压力室(Pressure Chamber)在植物水分状况研究中的应用. 植物生理学通讯, 1984, (3): 52-57
- [3] 王孟本, 李洪建, 柴宝峰. 晋西北3个树种抗旱性指数的研究. 植物研究, 1996, 16(2): 195-200.
- [4] 李庆梅, 徐化成. 油松 P-V 曲线主要水分参数随季节和种源的变化. 植物生态学报, 1992, 16(4): 326-335.
- [5] 李小军, 谭会娟, 张志山, 李新荣. 油蒿不同部位水分关系研究. 中国沙漠, 2007, 27(3): 448-454.
- [6] 周海燕. 金昌市4种乔木抗旱性生理指标的研究. 中国沙漠, 1997, 17(3): 301-303.
- [7] 杨敏生, 裴保华, 于冬梅. 水分胁迫对毛白杨杂种无性系苗木维持膨压和渗透调节能力的影响. 生态学报, 1997, 17(4): 364-370.
- [8] 李骁, 王迎春, 征荣. 西鄂尔多斯地区强旱生小灌木的水分参数. 应用生态学报, 2007, 18(5): 963-967.
- [9] 陈由强, 叶冰莹, 朱锦懋. PV 曲线技术比较三种木本植物的水分状况. 福建师范大学学报(自然科学版), 1999, 15(4): 71-75.
- [13] 曾凡江, 李向义, 张希明. 极端干旱条件下多年生植物水分关系参数变化特性. 生态学杂志, 2010, 29(2): 207-214.
- [14] 冯金朝. 沙生植物水分特征曲线及水分关系的初步研究. 中国沙漠, 1995, 15(3): 222-226.
- [15] 斯琴巴特尔, 秀敏. 荒漠植物蒙古扁桃水分生理特征. 植物生态学报, 2007, 31(3): 484-489.
- [16] 周海燕. 甘肃金昌市引种植物抗旱性的比较研究. 中国沙漠, 2000, 20(4): 464-466.
- [17] 李向义, 张希明. 对压力-容积参数共质体水和质外体水概念的刍议. 植物生理学通讯, 2001, 37(6): 545-546.
- [19] 马剑英, 陈发虎, 夏敦胜, 孙惠玲, 王刚. 荒漠植物红砂(*Reaumuria soongorica*)叶片元素和水分含量与土壤因子的关系. 生态学报, 2008, 28(3): 983-992.
- [20] 何兴东, 丛培芳, 高玉葆, 卢建国, 王海涛, 薛苹苹, 张旭. 利用压力-容积曲线研究四种草本植物的抗旱性. 南开大学学报(自然科学版), 2006, 39(3): 16-22.
- [21] 黎燕琼, 刘兴良, 郑绍伟, 陈泓, 岳永杰, 慕长龙, 刘军. 岷江上游干旱河谷四种灌木的抗旱生理动态变化. 生态学报, 2007, 27(3): 870-878.
- [22] 柴宝峰, 李洪建, 王孟本. 晋西黄土丘陵区若干树种水分生理及抗旱性量化研究. 植物研究, 2000, 20(1): 79-85.
- [23] 柴宝峰, 王孟本, 李洪建. 三树种 P-V 曲线水分参数的比较研究. 水土保持通报, 1996, 16(4): 35-40.
- [24] 柳建国, 何园球, 陈长青, 卞新民. 红壤旱地四种春夏作物水势比较研究. 土壤通报, 2007, 38(5): 863-866.
- [25] 付爱红, 陈亚宁, 李卫红, 张宏锋. 干旱、盐胁迫下的植物水势研究与进展. 中国沙漠, 2005, 25(5): 744-749.
- [26] 邵艳军, 山仑. 植物耐旱机制研究进展. 中国生态农业学报, 2006, 14(4): 16-20.
- [27] 党宏忠, 周泽福, 赵雨森. 祁连山水源区主要树种耐旱性研究. 应用生态学报, 2005, 16(12): 2241-2247.
- [28] 韩刚, 李彦瑾, 孙德祥, 赵忠. 4种沙生灌木幼苗 pv 曲线水分参数对干旱胁迫的响应. 西北植物学报, 2008, 28(7): 1422-1428.
- [30] 曹仪植, 宋占午. 植物生理学. 兰州: 兰州大学出版社, 1998: 89-90.
- [31] 李吉跃. PV 技术在油松侧柏苗木抗旱特性研究中的应用. 北京林业大学学报, 1989, 11(1): 3-11.
- [33] 柏新富, 朱建军, 赵爱芬, 苏培玺, 卜庆梅, 赵雪. 几种荒漠植物对干旱过程的生理适应性比较. 应用与环境生物学报, 2008, 14(6): 763-768.
- [34] 张利平, 滕元文, 王新平, 黄子琛, 刘新民. 沙生植物花棒气孔导度的周期波动. 兰州大学学报(自然科学版), 1996, 32(4): 128-131
- [35] 孙景宽, 张文辉, 陆兆华, 刘新成. 沙枣和孩儿拳头幼苗气体交换特征与保护酶对干旱胁迫的响应. 生态学报, 2009, 29(3): 1330-1340.
- [36] 曾凡江, 张希明, 李小明. 怪柳的水分生理特性研究进展. 应用生态学报, 2002, 13(5): 611-614.
- [37] 柏新富, 朱建军, 王仲礼, 卞佃侠, 刘林德. 离子吸收分布与几种荒漠植物适应性的关系. 生态学报, 2010, 30(12): 3247-3253.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 22 November, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Hyperspectral estimation models for plant community water content at both leaf and canopy levels in Wild Duck Lake wetland	6645
Potential distribution of rice in china and its climate characteristics	6659
Effects of seed soaking with soybean isoflavones on soybean seedlings under salt stress	6669
Ecophysiological responses and adaptation of <i>Tamarix ramosissima</i> to changes in groundwater depth in the Heihe river basin	6677
<i>Melica przewalskyi</i> population spatial pattern and response to soil moisture in degraded alpine grassland	6688
A study on ecological compensation standard for Zaoshi Water Conservancy Project based on the idea of ecological footprint	6696
Spatial-temporal variation of NPP and NDVI correlation in wetland of Yellow River Delta based on MODIS data	6708
Marshclassification mapping at a community scale using high-resolution imagery	6717
The impact of bacterial-feeding nematodes on root growth of <i>Arabidopsis thaliana</i> L. and the possible mechanisms	6727
Spatial and dynamic analysis of plantations in Xishuangbanna using network <i>K</i> -function	6734
Contrastive analysis and climatic response of tree-ring gray values and tree-ring densities	6743
Fractal structure of dominant tree species in north-facing slope of mountain of northern Hebei	6753
Characteristics of radiation fluxes of an evergreen broad-leaved forest in Maofeng Mountain, Guangzhou, China	6766
Effects of seed-dressing agents on groundnut and rhizosphere microbes	6777
Time series prediction of the concentration of chlorophyll-a based on RBF neural network with parameters self-optimizing	6788
A trend surface analysis of geographic variation in the traits of seeds and seedlings from different <i>Quercus acutissima</i> provenances	6796
Comparisons of relationships between leaf and fine root traits in hilly area of the Loess Plateau, Yanhe River basin, Shaanxi Province, China	6805
An analysis on the water status in twigs and its relations to the drought resistance in Five woody plants living in arid zone	6815
The effect of fire on soil properties in a <i>Pinus massoniana</i> stand	6824
Water-environment effects of industry structure in Taihu Lake Basin in Jiangsu Province	6832
Effect of high temperature on enzymic activity, pigment content and chlorophyll fluorescence of two <i>Kappaphycus</i> species	6845
Analysis on characteristics of a typical drought event in Jiangsu Province	6853
Surface heat flux and energy budget for semi-arid grassland on the Loess Plateau	6866
Effects of light quality on photosynthetic characteristics and on the carotenoid and cuticular extract content in tobacco leaves	6877
Cyanobacterial diversity in biological soil crusts on wastelands of copper mine tailings	6886
Stereotypic behavior frequency and the influencing factors in captive Alpine musk deer (<i>Moschus sifanicus</i>)	6896
Zooplankton ecology near the Tianwan Nuclear Power Station	6902
Diel variations of fish assemblages in multiple habitats of Ma'an archipelago, Shengsi, China	6912
A novel cognitive-based approach to motivation for non-use value	6926
Review	
Salt-responsive proteomics in plants	6936
Research progress on forms of nitrogen and determination in the sediments	6947
Review of research progress of infectious diseases in wild birds	6959
Review on the methods to quantify fish's ability to cross velocity barriers in fish passage	6967
Monograph	
Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services: foundation, prospect and response strategy	6973
Scientific Note	
A comparative study of the spatial-temporal patterns of fine roots between young and mature <i>Caragana korshinskii</i> plantations	6978

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 22 期 (2011 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 22 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@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.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