

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 (SHENTAI 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, 官兆宁, 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柽柳对地下水位变化的生理生态响应与适应	
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	张 佩, 袁国富, 庄 伟, 等 (6677)
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	全玉华, 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 靖, 等 (6886)
圈养马麝刻板行为表达频次及影响因素	孟秀祥, 贡保革, 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

张佩, 袁国富, 庄伟, 薛沙沙. 黑河中游荒漠绿洲过渡带多枝柽柳对地下水位变化的生理生态响应与适应. 生态学报, 2011, 31(22): 6677-6687.
Zhang Pei^{1,2}, Yuan G F, Zhuang W, Xue S S. Ecophysiological responses and adaptation of *Tamarix ramosissima* to changes in groundwater depth in the Heihe river basin. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(22): 6677-6687.

黑河中游荒漠绿洲过渡带多枝柽柳对地下水位变化的生理生态响应与适应

张 佩^{1,2}, 袁国富^{1,*}, 庄 伟^{1,2}, 薛沙沙^{1,2}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所生态网络观测与模拟重点实验室, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:以黑河中游荒漠绿洲过渡带主要建群种多枝柽柳成年体为研究对象, 对野外不同地下水埋深处柽柳叶片生理生态特性进行观测和分析, 评价分析多枝柽柳对地下水埋深差异和地下水位季节变化的响应过程和适应机制。结果显示: 在相似大气环境条件下, 不同地下水埋深之间, 多枝柽柳叶片的生理生态指标没有明显差异, 但对于地下水位的季节波动, 则表现出较为明显的变化和响应; 柽柳通过气孔的调节, 在更深地下水埋深下, 水分条件更差时, 保持了稳定的气孔导度和较高的叶片胞间二氧化碳浓度, 从而维持相对稳定的碳同化能力及较高水分利用效率, 表现出较好的适应能力; 在不同地下水埋深下, 叶片生理生态指标随地下水位下降的响应特征呈现出明显差异, 这种差异暗示了黑河中游荒漠绿洲过渡带多枝柽柳的适宜地下水位在 3 m 左右。

关键词:多枝柽柳; 荒漠绿洲过渡带; 地下水埋深; 光合速率; 蒸腾速率; 气孔导度

Ecophysiological responses and adaptation of *Tamarix ramosissima* to changes in groundwater depth in the Heihe river basin

ZHANG Pei^{1,2}, YUAN Guofu^{1,*}, ZHUANG Wei^{1,2}, XUE Shasha^{1,2}

1 Key Laboratory of Ecosystem Network Observation and Modeling, Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

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

Abstract: Areas in middle reaches of the Heihe river basin constitute a desert oasis ecotone. The normal growth of vegetation in this area is significantly affected by irrigation practices and seasonal groundwater level fluctuations. This is particularly true for groundwater dependent species. The continued decline of the groundwater level, due high levels of groundwater consumption for agricultural irrigation in the area, threatens the stability and sustainability of this transitional ecosystem. A field experiment was conducted on *Tamarix ramosissima*, one of the main species of this desert-oasis ecotone, to elucidate the response processes and adaptation mechanisms of this species to changes in groundwater depth. The groundwater depth differences examined included two conditions: spatial differences in absolute groundwater depth and seasonal fluctuations of the groundwater level. Field measurements were carried out at seven sites, where groundwater depth ranged from 0.75m to 7.05m. A number of leaf ecophysiological indicators were recorded, including, midday leaf net photosynthetic rate (P_s), transpiration rate (T_r), stomatal conductance (C), intercellular CO₂ concentration (C_i), and midday stem water potential (Ψ_m). All measurements were made under similar meteorological conditions. The study was conducted from late June to early September. During this period groundwater levels at the different sites fell by differing amounts. The results show that P_s and T_r values among the seven sites were not notably different (the fitted trendline slopes were -0.24 for P_s , and -0.13 for T_r , respectively), indicating that there was little difference in the growth rates of

基金项目:国家重点基础研究发展计划项目(973 项目)(2009CB421305;2010CB951002)

收稿日期:2011-01-11; 修订日期:2011-07-19

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yuangf@igsnrr.ac.cn

T. ramosissima among sites with different absolute groundwater depth. However, P_s and T_r showed a clear decline with the main seasonal declines in groundwater level (the fitted trendline slopes were -10.10 for P_s , and -6.34 for T_r , respectively). These differing responses to changes in groundwater depth suggest that *T. ramosissima* may be adapted to the different absolute groundwater depths, but shows a clear response to rapid seasonal fluctuations of groundwater level. C values for *T. ramosissima* declined with decreasing Ψ_m when $\Psi_m < 3.0 \text{ MPa}$. However, C values increased slowly with decreasing Ψ_m when $\Psi_m > 3.0 \text{ MPa}$. Nonetheless, both C and C_i/C_a values among the seven sites were similar. These results suggest that *T. ramosissima* maintains a relatively stable carbon assimilation capacity at different absolute groundwater depths. This is achieved through stomatal regulation which results in stable stomatal conductance and thus stable leaf intercellular carbon dioxide concentration. On the other hand, seasonal declines in groundwater level could have a marked influence on the normal growth of *T. ramosissima*. The leaf physiological indicators for *T. ramosissima* showed different responses to seasonal groundwater level fluctuations. At sites where groundwater depths were less than 3m, the leaf gas exchange rates of *T. ramosissima* increased as the groundwater level declined. On the other hand, at sites where groundwater depths were more than 3m gas exchange rates decreased with a decline in groundwater level. These differences suggest that there is an optimal groundwater depth for *T. ramosissima* growth in this section of the Heihe river basin. The results indicate that this optimal groundwater depth is about 3m.

Key Words: *Tamarix ramosissima*; desert-oasis ecotone; groundwater depth, photosynthesis; transpiration; stomatal conductance

多枝柽柳(*Tamarix ramosissima* Ledeb.)，是柽柳科柽柳属灌木或小乔木，喜光，抗干旱，耐高温，耐盐碱，是典型的地下水湿生型植物，在我国主要分布在新疆、甘肃和内蒙古等西北部干旱半干旱地区，是干旱区荒漠生态系统的关键植物种。现有国内外研究表明多枝柽柳的生长发育主要依赖地下水和深层包气带水^[1-2]。地下水埋深的差异和地下水位的变化对柽柳生长与分布格局都有着显著的影响^[3-9]。在群落尺度上的研究发现柽柳群落盖度会随着地下水埋深的增加而减小^[8,10-11]，植被叶面积指数亦随着地下水埋深深度的不同表现出差异^[12]；在个体尺度上，柽柳随地下水埋深的增加，个体出现频率会逐渐减少^[9]，植株径向生长也与地下水埋深显著相关^[13]。有研究发现当地下水埋深低于2.5 m时，柽柳植株甚至出现了顶梢枯死现象^[4]，而个体叶面积指数也受到了地下水埋深影响^[6]。然而柽柳在叶片尺度上的生理生态特征对地下水埋深差异的响应过程有所不同，有的研究发现在不同埋深的稳定地下水下，柽柳叶片各项生理生态指标没有显著差异^[14]，表现出了一定的适应性。有研究发现柽柳的清晨叶水势以及最大净光合速率、气孔导度等生理生态特征都随着地下水埋深的下降出现了下降的趋势^[4]。

柽柳叶片气体交换过程直接反映柽柳的生长发育状况，研究叶片气体交换对环境变化的响应能揭示柽柳对环境的内在适应机制。在黑河中游荒漠绿洲过渡带，受绿洲农业灌溉的影响，地下水位季节波动明显，成为影响这一地区柽柳正常生长发育的主要环境变量。本研究试图探讨分析黑河中游荒漠绿洲过渡带典型柽柳灌丛叶片气体交换对地下水埋深差异和地下水位季节变化的响应规律，揭示柽柳对地下水位变化的适应机制，为保护过渡带生态系统的稳定提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

研究区选在黑河中游甘肃省张掖市临泽县中科院临泽内陆河流域研究站附近(N39°23'，E100°07')，为近几十年来由老绿洲向荒漠扩展的边缘绿洲区，绿洲外围为沙漠与戈壁。海拔高度1380 m左右，属温带大陆性荒漠气候，多年平均降水117 mm，多集中于7—9月，年潜在蒸发量2390 mm，年均气温7.6 °C，最高气温39.1 °C，最低气温-27 °C，年均风速3.2 m/s，大于8级的大风日数年均15 d，主风向为西北风，风沙活动主要集中在3—5月。研究选取的观测区域历史上属于一片风沙侵蚀区域，在20世纪70年代经过风沙治理，种植

了大量的梭梭(*Haloxylon ammodendron*)、柽柳(*Tamarix ramosissima*)和沙拐枣(*Calligonum mongolicum*)等固沙植物,土壤主要为典型风沙土。年降水量少及蒸腾剧烈,造成该区域极度干旱,生态条件恶劣。植被总特点是组成简单,类型单调,群落不郁闭、分布稀疏。

1.2 观测点设置与地下水埋深观测

研究在绿洲荒漠过渡带区域内围绕中国科学院临泽内陆河流域综合试验站附近柽柳分布较多的不同位置设置了4个地下水埋深观测井,从黑河干流往荒漠深处,分别是黑河边(简称H井)、临泽站(简称L井)、机井(简称J井)、沙窝子(简称S井)。H井位于黑河河漫滩上,地下水埋深最浅;L井位于绿洲与荒漠交界处,尽管在4个观测井中最靠近黑河干流,但因处于一个历史上沙化严重的高地上,因此地下水埋深最深;J井也处于绿洲与荒漠交界处,在离观测井约200 m外有一个农用灌溉机井而命名,该处地下水埋深较L井略浅;S井位于荒漠植被区域深处,属典型过渡带荒漠区,虽距河道最远,观测井处在一个洼地上,地下水埋深比J井处浅,比H井深(表1,图1)。H井位于河漫滩上,地下水埋深浅,周围土壤质地为粘土,土壤含水量较高,盐分含量也高,其他3个井土壤质地为沙土,土壤含水量极低,盐分含量较H井处低并稳定。

在L、J和S井周围100 m以内,地形有起伏,不同坡位反映出不同地下水埋深。分别在3个观测井周围不同坡位选择观测点以反映不同地下水埋深差异。其中S井处在坡上下各取一个观测点分别命名为S井低处(Sl)和S井高处(Sh),高度相差1 m,其中Sl点位置比S井处高出1 m;J井在坡底和坡顶取了2个观测点命名为J井低处(Jl)和J井高处(Jh)高度相差2 m,J井位于2个观测点高度中间;L井在坡底和坡顶取了两个观测点命名为L井低处(Ll)和L井高处(Lh)高度相差1.5 m,其中L井低处在L井周围,与L井地下水埋深相同。H井仅取一个观测点,命名为黑河边(H)。地下水的观测频率一般与其他生理生态指标观测频率保持一致,8月份后保持至少每2 d观测1次所有观测井地下水埋深。7个观测点地下水埋深差异在0.75—7.05 m范围内。

表1 观测井和观测点信息及每个观测点地下水埋深差别

Table 1 Information of the Observation wells and observation points and differences in groundwater depth for each observation point

观测井 Observation well	观测点名称 Observation point	观测点代号 Observation code	地下水埋深值 groundwater depth/m
黑河边(H井)	黑河边	H	1.13±0.38
沙窝子(S井)	S井低处	Sl	2.635±0.065
	S井高处	Sh	3.635±0.065
机井(J井)	J井低处	Jl	3.66±0.16
	J井高处	Jh	5.66±0.16
临泽站(L井)	L井低处	Ll	5.685±0.365
	L井高处	Lh	6.685±0.365

表中地下水埋深为观测期的平均值,后面的正负值为该处地下水埋深的季节波动范围

1.3 柽柳生理生态指标测定

野外观测主要在2010年的6月底至9月初进行,柽柳叶片气体交换采用CI-340手持式光合仪(CID corp., USA)测量。每个观测点上选取3株多枝柽柳,每株上分别选择3个主枝条,每个主枝上选择一个长势较好的叶片,采用CI-340光合仪观测饱和光合速率(P_s)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(C)以及胞间CO₂浓度(C_i)。柽柳的叶片实际上是退化的嫩芽^[8],每次测完叶片生理生态指标后取下叶片,用扫描仪获取其图像,用Rootedge分析软件^[15]得到叶面积数据,利用得到的叶面积数据修订仪器测量值得到实际观测值。饱和光强下叶片瞬时水分利用效率(WUE)由测量的光合速率与蒸腾速率之比得到。所有数据在每个点上共得到9个重复数据,平均后代表该观测点该日的数据。

在每次取完叶片后,剪下同一大枝条上生长状况较好的小枝,用冷藏箱保存带回室内,用压力式水势仪(兰州大学生产)测量中午水势(ψ_m)。同时在当天的凌晨时分也采柽柳枝条测定黎明前茎水势(ψ_{pd})。某个

观测点的水势数据为该观测点 6—9 根枝条的水势测量值的平均值。

1.4 数据处理

为了反映地下水位变化对柽柳叶片生理生态过程的影响特征,需要尽量保证观测期间其他环境因子在一个可比的范围内。选择晴朗天气,每天在北京时间 10:00—12:00之间,选择一个观测井周围的全部观测点进行观测。柽柳的饱和光强一般在 $1800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 左右^[3,8,16],不同地下水埋深环境下,为尽量避免由于气象条件不同导致的柽柳叶片生理生态差异,而主要反映水分条件对其的影响,所有用于分析计算的观测数据,气象要素的变化范围约束在以下范围(表 2),不满足表中条件的观测数据将被剔除。

表 2 观测时大气要素控制范围

Table 2 Control of atmospheric elements for observations

	光量子通量密度 Photosynthetic photon flux density $(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})$	二氧化碳浓度 Carbon dioxide concentration $(\mu\text{mol/mol})$	气温 Temperature/°C	相对湿度 Relative humidity/%
控制范围 Control range	>1800	356—370	31—35	4.6—13.8

表中的空气相对湿度数据是由 CI-340 仪器观测得到的,表示的是仪器叶室内部空气相对湿度,由于叶室在观测时是一个封闭的环境,叶室内气温较叶室外高出几度,同时,仪器抽得空气具有一定的流速,对于水汽压有一定的影响,因此表中的相对湿度仅代表叶室内叶片所处局部环境中的相对湿度,不能够代表叶室外的大气中实际相对湿度,这里该数据我们选择一般在 4.6—13.8 之间。所有被采用的观测数据的大气条件都在上述范围之内。数据主要是盛夏季节的 7、8 月份观测获得,基本规避了柽柳生理的物候变化带来的不可比较性。

本研究选用的处理软件有 Microsoft Excel 2003(美国微软公司)、Rootedge 叶面积分析软件(National Soil Tilth Laboratory, IA, USA; Kaspar and Ewing, 1997)^[17]、Origin 8.0 图像分析软件(Origin Lab Corporation, Northampton, MA, USA)进行数据分析处理,包括描述性统计、方差分析、曲线拟合和绘图。描述性统计用于计算平均值和标准误差(用误差线表示);用重复试验的平均值求得拟合曲线,反映相关指标的变化趋势;用标准差与均值的比率求取变异系数(CV),反映地下水埋深差异和季节变化对柽柳叶片生理生态特征的影响程度。

2 结果

2.1 不同地下水埋深多枝柽柳叶水势比较

地下水埋深在 0.75—7.05 m 范围内,多枝柽柳清晨茎水势值随地下水埋深下降,范围从 -2.5 MPa 到 -1.5 MPa 变化(图 2 虚线),黑河边虽然地下水埋深浅,但由于土壤盐分含量过高,增加了植物体内的溶质势^[18-19],使得 H 点清晨水势反而会较低。不考虑 H 点时,可以发现其他各点随地下水埋深增加有一个更加明显的下降趋势(图 2 实线)。清晨水势能直接反映植物的背景水分条件,柽柳清晨水势随地下水埋深的明显下降趋势说明地下水埋深对柽柳水分条件的主导作用。

柽柳中午水势的变化受地下水埋深的影响明显较小(图 2),基本处在 (-3.0 ± 0.5) MPa 范围内。中午水势是植物蒸腾过程与根系吸水过程共同作用的结果,在 0.75—7.05 m 范围的不同地下水埋深下柽柳维持一个相对稳定的茎水势,柽柳植株水分胁迫并没有随地下水埋深增加而增加,说明柽柳能够获得稳定的水分供

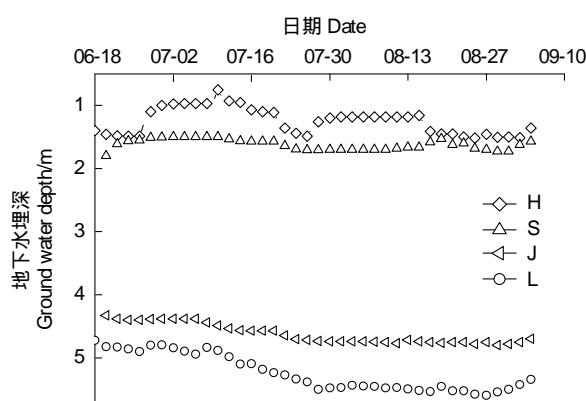


图 1 观测期内 4 个观测井地下水位变化

Fig. 1 Changes of groundwater depth for the four observation wells

给,暗示柽柳根系会随着地下水埋深向下生长,以获取稳定的水分来源,这与其他研究观测到的柽柳根系分布特征是一致的^[6,20]。

2.2 多枝柽柳叶片气体交换对地下水埋深变化的响应

不同观测点多枝柽柳的平均饱和净光合速率 P_s (图3)在 $21.7\text{--}24.1 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 范围内波动,总体上随地下水埋深下降呈现了轻微的下降趋势,拟合趋势线斜率为-0.24,变异系数为0.04;平均蒸腾速率 T_r (图3)在 $5.8\text{--}7.5 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 上下波动,总体上随地下水埋深下降也呈现轻微的下降趋势,拟合趋势线斜率为-0.13,变异系数为0.10。

选择地下水位季节波动最明显的临泽站的数据分析柽柳叶片气体交换随地下水位季节波动的响应特征,地下水埋深从7月初到9月初两个月内从5.15 m下降至5.50 m,这一过程中多枝柽柳平均饱和净光合速率 P_s (图3)呈现明显下降趋势,从 $23.9 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 逐步降至 $20.1 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$,拟合趋势线斜率为-10.10,变异系数为0.17;蒸腾速率 T_r (图3)从 $7.8 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 逐步降至 $4.5 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$,拟合趋势线斜率为-6.34,变异系数为0.38,蒸腾速率下降近一倍,呈现出剧烈的下降趋势。

不同地下水埋深下的柽柳叶片气体交换速率的变异系数较小,而在地下水位季节下降的情形下柽柳叶片气体交换速率较大,说明柽柳的叶片生理生态对地下水位的季节波动有明显的响应过程,但对不同的地下水埋深则显示了一定的适应能力。

2.3 不同地下水埋深下多枝柽柳叶片气体交换对地下水位季节波动的差异性响应

比较观测期内不同地下水埋深下柽柳叶片气体交换对地下水位季节波动的响应特征。有些观测点地下水埋深接近,分析时把他们合并在一起,每组反映一个地下水埋深范围,表3给出了不同地下水埋深分组和他们的变化范围。

表3 不同埋深地下生长季内地下水埋深变动幅度及饱和净光合速率(P_s)、蒸腾速率(T_r)变化趋势分析统计结果

Table 3 Results of trend statistical analysis in net photosynthetic rate at light saturation point (P_s), and transpiration rate (T_r) of *Tamarix ramosissima* in response to groundwater depth changes at different groundwater depths

观测点 Observation point	地下水埋深变动 Changes of groundwater depth/m	趋势线方程 Trend line equation	R^2	n
H	0.75—1.45	$P_s = 22.47 + 1.06 \times GDD$ $T_r = 7.59 - 0.55 \times GDD$	0.23 0.02	7
Sl	2.57—2.7	$P_s = 18.38 + 5.32 \times GDD$ $T_r = 8.13 - 1.99 \times GDD$	0.55 0.21	4
Sh 和 Jl	3.5—3.82	$P_s = 28.66 - 8.09 \times GDD$ $T_r = 7.55 - 2.22 \times GDD$	0.43 0.25	11
Jh 和 Ll	4.82—5.75	$P_s = 29.23 - 10.16 \times GDD$ $T_r = 8.95 - 4.02 \times GDD$	0.53 0.30	11
Lh	6.32—7.05	$P_s = 27.94 - 6.92 \times GDD$ $T_r = 9.79 - 4.87 \times GDD$	0.34 0.54	10

由于各地下水埋深处生长季内波动幅度不一,为对比柽柳对季节响应过程的差异,这里将地下水位季节波动的范围标准化,标准化方法如下:

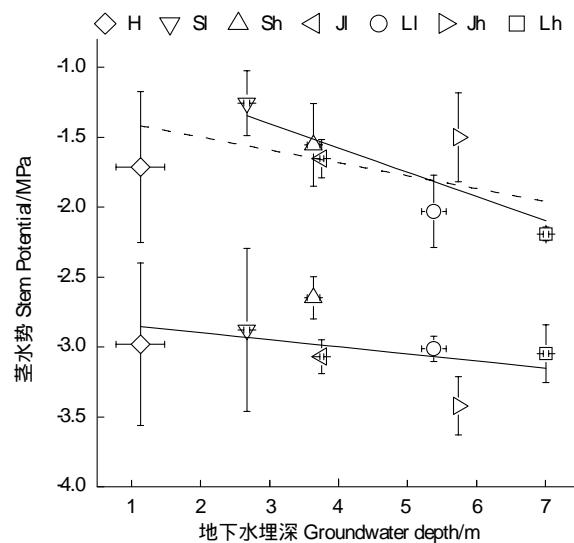


图2 不同地下水埋深下多枝柽柳凌晨和中午茎水势的变化

Fig. 2 Predawn stem water potential and midday stem water potential of *Tamarix ramosissima* at different groundwater depths

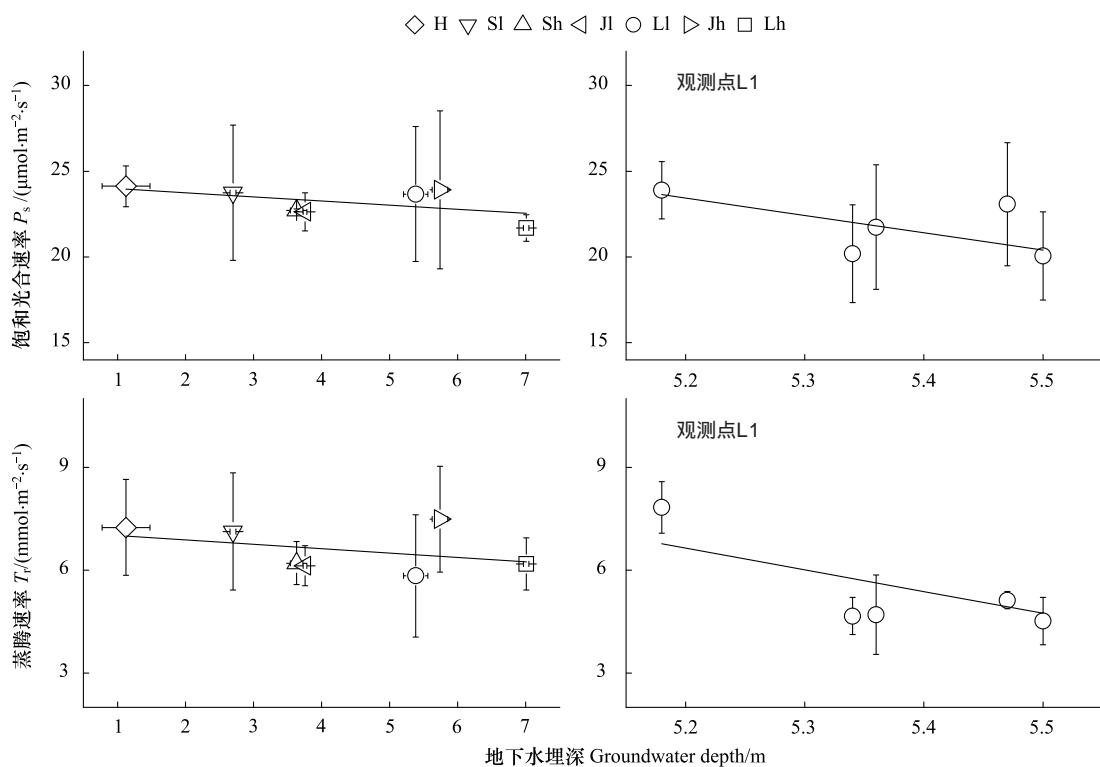


图3 多枝柽柳中午饱和净光合速率(P_s)和蒸腾速率(T_r)对地下水埋深变化的响应

Fig. 3 Net photosynthetic rate at light saturation point (P_s), and transpiration rate (T_r) of *Tamarix ramosissima* in response to changes in groundwater depth

$$GDD = \frac{GD_{act} - GD_{min}}{GD_{max} - GD_{min}} \quad (1)$$

式中, GD_{act} 是某一点某天的实际地下水埋深值, GD_{max} 是该点研究时段内地下水埋深最大值, GD_{min} 是该点研究时段内地下水埋深最小值。标准化后的地下水相对波动值的取值范围在 0—1 之间。

5 组不同地下水埋深区段(表3)下多枝柽柳叶片饱和净光合速率 P_s 特征比较发现, 在地下水埋深在 0.75—1.48 m, 和 2.57—2.7 m 两组中, P_s 随地下水埋深下降呈现轻微的上升趋势, 而其他 3 组地下水埋深, P_s 随地下水埋深下降呈现下降趋势(图4)。进一步的比较趋势线的斜率发现, 地下水埋深在 3 m 以下后, 随地下水埋深的增加, P_s 总体随地下水位的季节下降其下降幅度更大(斜率更大), 埋深 6 m 以上这一层次例外。

多枝柽柳叶片蒸腾速率 T_r 在不同地下水埋深下对季节变化的响应与光合速率 P_s 略有不同(图4), 所有不同水位埋深下, 随地下水位季节下降, 蒸腾速率 T_r 均呈下降趋势, 比较趋势线斜率发现, 当地下水埋深增大时, T_r 随地下水埋深季节下降的减小幅度也在逐渐增加。

2.4 地下水埋深变化下的多枝柽柳气孔行为

不同观测点多枝柽柳的中午平均叶片气孔导度 C 在 137.7 — 184.4 $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 范围内波动, 总体上随地下水埋深下降呈现出缓和的下降趋势, 下降幅度约 $40 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, 趋势线斜率为 -4.39 , 变异系数为 0.09 , 但水分利用效率 WUE 总体上随着地下水埋深降低呈现轻微的上升趋势, 趋势线斜率为 0.02 , 变异系数为 0.10 。叶片胞间 CO_2 浓度与空气二氧化碳浓度比值 C_i/C_a 在 0.26 — 0.42 范围内波动, 整体上随地下水埋深下降呈现了一个较为轻微的下降趋势, 趋势线斜率为 -0.009 , 变异系数为 0.17 (图5)。

在 L1 观测点地下水位季节波动下, 当地下水埋深从 5.18 m 下降至 5.50 m 过程中, 多枝柽柳平均的中午叶片气孔导度 C 从 $166.6 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 逐步降至 $113.5 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, 随地下水埋深下降呈现出了较为明显的

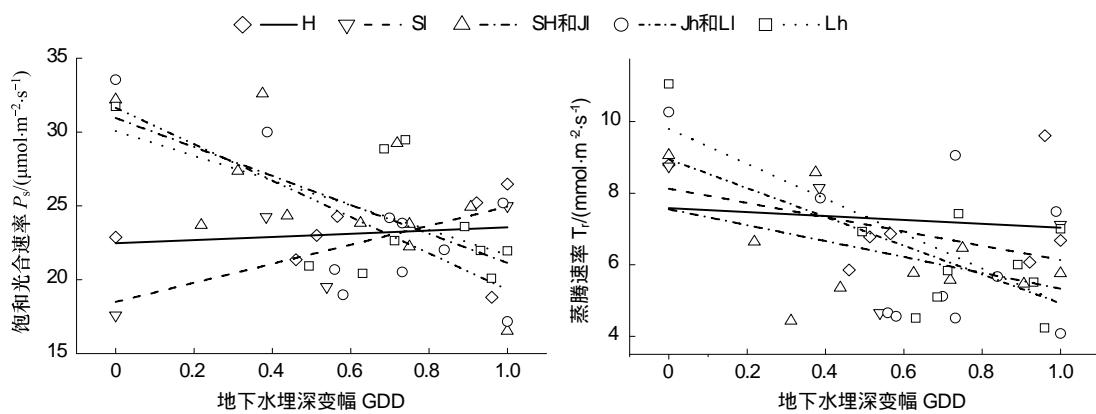


图4 多枝柽柳中午饱和光强光合速率(P_s)、蒸腾速率(T_r)与不同埋深地下水位生长季内波动的关系

Fig. 4 Net photosynthetic rate at light saturation point (P_s), and transpiration rate (T_r) of *Tamarix ramosissima* in response to groundwater depth fluctuations during the growing season at different groundwater depths

下降趋势,下降幅度达约 $53 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$,趋势线斜率为-116.52,变异系数为0.28。水分利用效率WUE则从 $3.1 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$ 升至 $4.5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$ 左右,随地下水埋深下降呈现出了较为明显的上升趋势,趋势线斜率为5.55,变异系数为0.18。叶片胞间二氧化碳浓度与空气二氧化碳浓度比值 C_i/C_a 从0.36逐步降至0.21,随地下水埋深下降呈现出了较为明显的下降趋势,趋势线斜率为-0.35,变异系数为0.23(图5)。

中午叶片气孔导度随叶水势的变化显示在图6中,中午水势在-3.0 MPa以上时,柽柳叶片气孔导度随水势的升高,水分条件的改善,相应的也升高,与此对应,当水势下降至-3.0 MPa以下后,柽柳叶片气孔导度随水势的下降,水分胁迫增加,也呈现缓慢上升趋势,这一现象明显特殊,这可能是干旱区耐旱植物特有的耐旱生理反应,以保证在水分胁迫下保证一定的碳同化能力。

3 讨论

3.1 柽柳叶片生理生态对不同地下水埋深差异的适应

在群落和个体尺度上,不同的地下水埋深处,柽柳的生态特征如盖度表现出了明显的差异^[4,6,8-12]。但在叶片尺度上的观测数据发现,多枝柽柳叶片气体交换随地下水埋深的增加并没有表现出明显下降(图3),在大约1—7 m的地下水埋深范围内,柽柳叶片气体交换随地下水埋深的增加只有很小幅度的下降, P_s 的变异系数为0.04, T_r 的变异系数为0.10,均较小,说明不同地下水埋深下柽柳叶片气体交换没有显著差异,显示柽柳在叶片尺度上的生理活动对于不同的地下水埋深具有较好的适应能力。

多枝柽柳叶片气体交换并不随地下水埋深的差异发生大的改变可能与柽柳根系向深处生长,吸收深层土壤水或直接吸收地下水有关^[3,11]。观测数据显示,在不同地下水埋深下,柽柳的中午水势保持一个大致相同的水平(图3),这暗示来自于根系吸水的速率随地下水埋深的差异并没有太大的变化,进一步说明根系具有稳定的水分供给,间接反映出柽柳根系向深处的生长并保持对深层土壤水和地下水的吸水能力是维持柽柳叶片生理生态对不同地下水埋深适应能力的重要原因。

多枝柽柳本身的气孔调节特性是柽柳适应不同地下水埋深的另一个重要原因。在大约1 m至7 m的范围内,随着地下水埋深的增加,柽柳中午叶片气孔导度有着缓慢的下降趋势(图5),与此同时,叶片水分利用效率却呈现出缓慢增加趋势,说明随地下水埋深增加,水分条件变差,柽柳叶片能够通过较少水分损失来获得较为稳定的碳同化速率(图3)。柽柳气孔的这种特性符合 Cowan 提出的气孔优化理论^[21],植物气孔总是尽可能以最少的水分损失来固定更多的碳。柽柳叶片气孔导度与水势之间的关系显示,当低于-3 MPa以后,柽柳开始显示出水分胁迫特征,但柽柳气孔导度随水势的降低基本保持稳定并有轻微的增加,显示气孔对水分有效性的敏感度较低^[6,22],柽柳能在水分胁迫状态下保持气孔足够的开度以稳定碳同化过程。当水分条件较

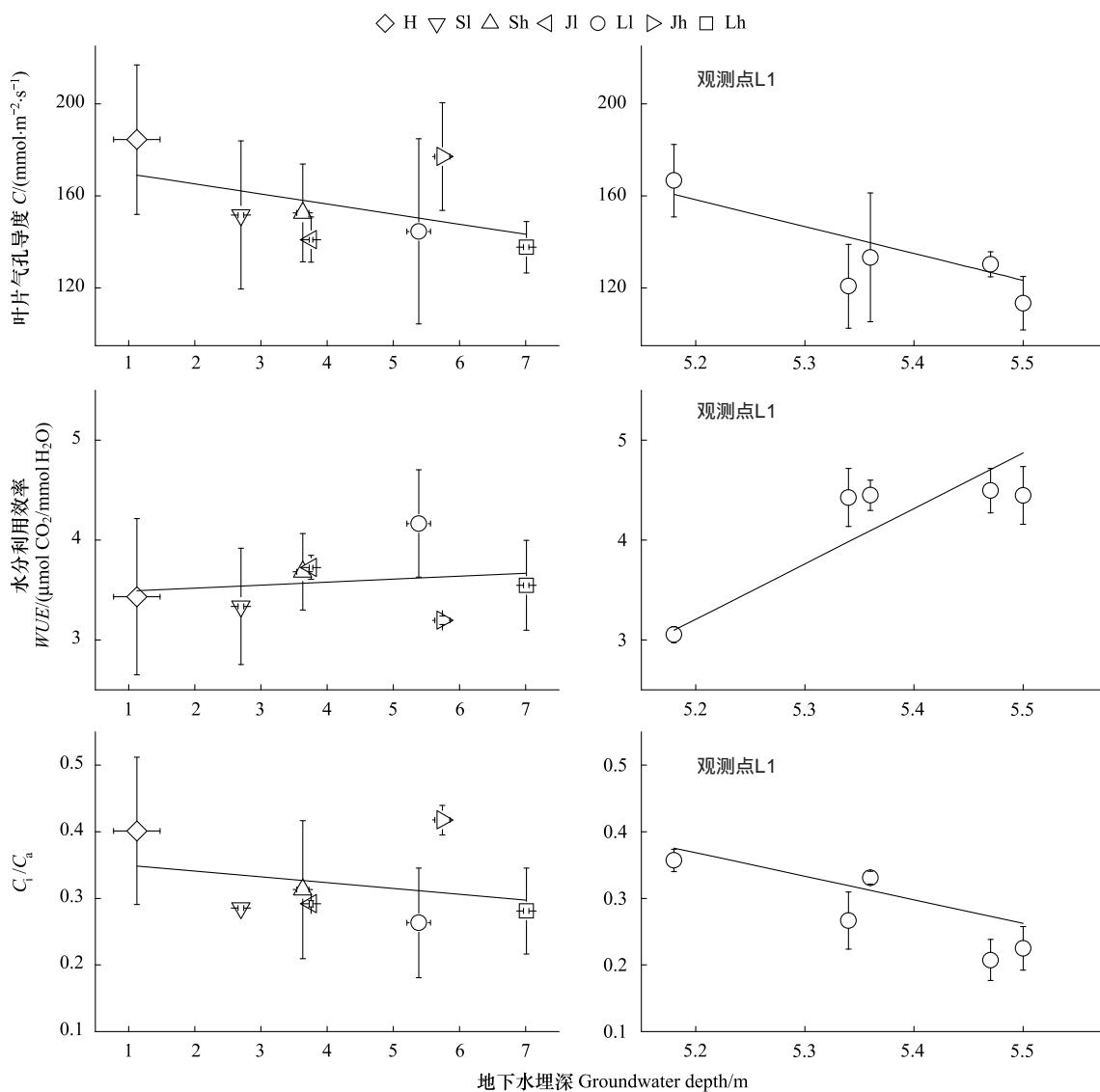


图5 地下水埋深变化下多枝柽柳中午叶片气孔导度(C)、水分利用效率(WUE)和叶片胞间二氧化碳与二氧化碳进气浓度比值(C_i/C_a)的变化

Fig. 5 Leaf stomatal conductance (C), water use efficiency (WUE), the ratio of leaf intercellular carbon dioxide and carbon dioxide concentration in the air (C_i/C_a) of *T. ramosissima* in response to changes in groundwater depth

差时,植物为了尽量维持其光合速率, C_i/C_a 并不明显减少,保证了在不同地下水埋深下叶片碳同化过程保持基本稳定,并提高了水分利用效率。 C_i/C_a 减小幅度并不显著,说明柽柳能够有效地通过维持其叶片 C_i 在一个较稳定的水平上,来弥补气孔开度减小而造成的 CO_2 进气损失,缓解了同化速率的降低。柽柳气孔在水分胁迫时保持相对稳定的气孔导度,以及稳定的叶片胞间 CO_2 浓度,可能是柽柳叶片气体交换过程适应不同地下水埋深的另一个重要机制(图5)。

3.2 多枝柽柳叶片生理生态对地下水位季节波动的响应

同一观测点柽柳叶片各项生理生态指标出现明显下降趋势,考虑到观测期集中在柽柳生长旺盛期,由植物生长发育不同阶段引起的这种下降趋势并不明显,而观测期间的大气环境条件被限定在一个合适的范围内,这种柽柳叶片生理生态指标随时间的明显下降趋势可以判定为主要由地下水位的下降导致。从各项叶片生理生态指标的变异系数可以看出,地下水位的季节波动对柽柳叶片生理过程的影响要明显大于地下水埋深差异带来的影响(图2)。

生长季内的地下水埋深下降,植物根系不能迅速地做出反应以获取稳定的水分供给,敏感的气孔行为可能作为多枝柽柳首选的减少失水方式,气孔导度明显降低(图5),导致蒸腾速率显著下降,下降约为一倍,变异系数达到0.38(图3)。保守的气孔行为同时也会影响到CO₂进入气孔内, C_i/C_a 随之减小,其减小幅度较大,说明此时 C_i 值并不能够维持在一个稳定的状态,随着地下水埋深增加降低幅度很大(图5),叶片碳同化速率因此也下降明显,但是最大净光合速率的下降幅度较蒸腾速率的下降幅度小许多,随地下水埋深季节下降,柽柳的叶片水分利用效率却显著增加,柽柳的这一响应特征表明柽柳对水分胁迫有很强的耐旱能力。

柽柳在地下水埋深在0.75—2.76 m之间时,随地下水埋深季节性下降,柽柳的饱和光合速率呈现上升趋势,在0.75—2.76 m埋深范围内,地下水埋深越深,随地下水埋深下降饱和光合速率上升越快(响应趋势线

斜率更大)(图3)。这可能是在较浅地下水埋深情形下,对较深的柽柳根系而言,土壤透气性较差,而地下水位的下降能够改善土壤透气性,从而改善柽柳的根系生长活性,因此光合作用加强。在2.57—2.7 m埋深下的响应斜率比0.75—1.75 m埋深下的斜率更大,光合速率随地下水埋深季节下降上升更快,原因可能有二,一是前者本身的根系活性因地下水埋深较深而比后者更好,因此更灵敏,其次是后者的地下水埋深尽管有季节下降,但是总体仍然处于一个地下水埋深较浅的范围内,土壤透气性总体仍然较差。

当地下水埋深在3.5 m以下,柽柳叶片饱和光合速率随地下水埋深的季节性下降而下降,暗示水分条件成为其正常生长的限制因素。在3.5 m以下,不同地下水埋深对季节性水位变化的响应差异总体呈现为地下水埋深越深,响应越明显,即随地下水季节性下降饱和光合速率下降越快。总体上,地下水埋深越深,柽柳对地下水埋深季节变化越敏感。

柽柳叶片光合光合速率对地下水埋深季节动态的差异性响应暗示了一个关键阈值的存在,表明柽柳生长有一个最优地下水埋深范围,研究结果显示这一结果可能在3 m左右。地下水埋深小于3 m,由于土壤透气性较差而影响柽柳正常生长,大于3 m则出现水分胁迫。

不同地下水埋深下柽柳叶片蒸腾速率对地下水位季节变化的差异性响应与光合速率不尽相同,叶片蒸腾速率对随地下水埋深降低均出现下降的趋势,并且这一趋势总体上是随着埋深的增加而增大的(图4)。这可能是因为蒸腾速率受到植物水力导度的影响,而水力导度受土壤水分条件和地下水位影响,蒸腾速率随地下水位下降,水分条件变化呈现单向的下降趋势。而不像光合速率可以通过气孔调节增大胞间CO₂浓度来缓解水分胁迫的影响。

4 结论

黑河中游荒漠绿洲过渡带地下水埋深在0.75—7.05 m范围时,多枝柽柳叶片生理生态指标对不同埋深地下水具有一定的适应性,不同地下水埋深并不能明显影响柽柳叶片的光合和蒸腾过程。根系的生长以适应更深的地下水埋深,以及通过叶片气孔的调节,有效地维持柽柳叶片胞间二氧化碳浓度,来稳定碳同化量而不受到水分胁迫的影响是多枝柽柳叶片气体交换过程对不同地下水埋深的重要适应性机制。

地下水位的季节波动明显影响柽柳的叶片气体交换过程,多枝柽柳对地下水埋深季节变化的响应说明保持相对稳定的地下水埋深对柽柳的正常生长非常重要,强烈的地下水位变化可能会影响柽柳的正常生长发育。

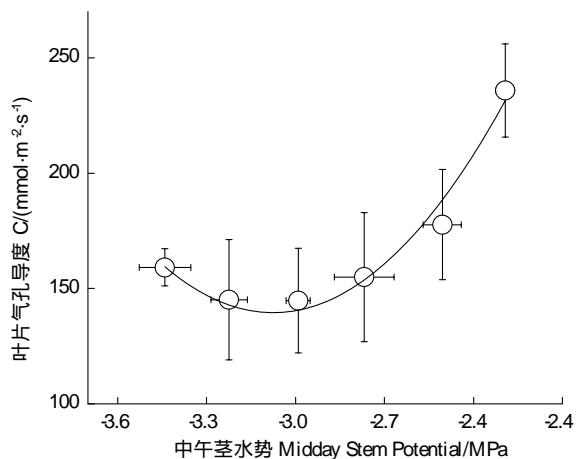


图6 柽柳中午饱和光强气孔导度C与茎水势关系

Fig. 6 Relationship between leaf stomatal conductance (C) at light saturation point and midday stem water potential of *T. ramosissima*

不同地下水埋深处多枝柽柳叶片光合速率对地下水位季节下降的响应特征呈现出差异性,这种差异性响应特征暗示这一地区柽柳的适宜地下水位可能在3 m左右。

致谢:本研究野外实验观测工作得到中国科学院寒区旱区环境与工程研究所临泽内陆河流域综合研究试验站的大力支持,特此感谢。

References:

- [1] Nippert J B, Jr. Butler J J, Kluitenberg G J, Whittemore D O, Arnold D, Spal S E, Ward J K. Patterns of *Tamarix* water use during a record drought. *Oecologia*, 2010, 162(2): 283-292.
- [2] Zhao L J, Xiao H L, Cheng G D, Song Y X, Zhao L, Li C Z, Yang Q. A preliminary study of water sources of riparian plants in the lower reaches of the Heihe basin. *Acta Geoscientia Sinica*, 2008, 29(6): 709-718.
- [3] 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.
- [4] Horton J L, Kolb T E, Hart S C. Responses of riparian trees to interannual variation in ground water depth in a semi-arid river basin. *Plant, Cell and Environment*, 2001, 24(3): 293-304.
- [5] Xu H L, Ye M, Li J M. Changes in groundwater levels and the response of natural vegetation to transfer of water to the lower reaches of the Tarim River. *Journal of Environmental Sciences*, 2007, 19(10): 1199-1207.
- [6] Xu H, Li Y, Xie J X, Cheng L, Zhao Y, Liu R. Influence of solar radiation and groundwater table on carbon balance of phreatophytic desert shrub *Tamarix*. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(4): 375-386.
- [7] Fan Z L, Chen Y N, Li H P, Ma Y J, Alishir K, Abdijit. Determination of suitable ecological groundwater depth in arid areas in Northwest part of China. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2008, 22(2): 1-5.
- [8] Gries D, Zeng F, Foetzki A, Arndt S K, Bruelheide H, Thomas F M, Zhang X, Runge M. Growth and water relations of *Tamarix ramosissima* and *Populus euphratica* on Taklamakan desert dunes in relation to depth to a permanent water table. *Plant, Cell and Environment*, 2003, 26(5): 725-736.
- [9] Zhang L, Dong Z C, Huang X L. Modeling on relation between major plants growth and groundwater depth in arid area. *Joutnal of Desert Research*, 2004, 24(1): 110-113.
- [10] Vonlanthen B, Zhang X M, Bruelheide H. Clonal structure and genetic diversity of three desert phreatophytes. *American Journal of Botany*, 2010, 97(2): 234-242.
- [11] Ma Q L, Wang J H, Li X R, Zhu S J, Liu H J, Zhan K J. Long-term changes of *Tamarix*-vegetation in the oasis-desert ecotone and its driving factors: implication for dryland management. *Environ Earth Sciences*, 2009, 59(4): 765-774.
- [12] Horton J L, Kolb T E, Hart S C. Leaf gas exchange characteristics differ among Sonoran desert riparian tree species. *Tree Physiology*, 2001, 21(4): 233-241.
- [13] Xiao S C, Xiao H L. Response of radial growth of lakeshore *Tamarisk* to changes in the water environment in extreme and arid regions. *Journal of Beijing Forestry University*, 2006, 28(2): 39-45.
- [14] Qin J, He K N, Zhu Y Y. Relationship between photosynthetic physiological characteristics of several common shrubs species and soil water content in Hobq desert of Inner Mongolia, northern China. *Journal of Beijing Forestry University*, 2009, 31(1): 37-43.
- [15] Himmelbauer M L, Loiskandl W, Kastanek F. Estimating length, average diameter and surface area of roots using two different Image analyses systems. *Plant and Soil*, 2004, 260(1/2): 111-120.
- [16] Liu B, Zhao W Z. Ecological adaptability of photosynthesis and water metabolism for *Tamarix Ramosissima* and *Nitraria Sphaerocarpa* in Desert-Oasis ecoton. *Joutnal of Desert Research*, 2009, 29(1): 101-107.
- [17] Arndt S K, Arampatsis C, Foetzki A, Li X Y, Zeng F J, Zhang X M. Contrasting patterns of leaf solute accumulation and salt adaptation in four phreatophytic desert plants in a hyperarid desert with saline groundwater. *Journal of Arid Environments*, 2004, 59(2): 259-270.
- [18] Cui B S, Yang Q C, Zhang K J, Zhao X Sh, You Zh Y. Responses of salt cedar (*Tamarix chinensis*) to water table depth and soil salinity in the Yellow River Delta. *China Plant Ecology*. 2010. 209:279-290.
- [19] Li X G. The effect of salt content on vapor adsorption and water potential in salt-affected soils. *Chinese Journal of Soil Science*, 2001, 32(6): 245-249.

- [20] Xu G Q, Li Y. Roots distribution of three desert shrubs and their response to precipitation under co-occurring conditions. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(1): 130-137.
- [21] Cowan I R. Stomatal behaviour and environment. *Advances in Botanical Research*, 1977, 4: 117-288.
- [22] 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.

参考文献:

- [2] 赵良菊,肖洪浪,程国栋,宋耀选,赵亮,李彩芝,杨秋. 黑河下游河岸林植物水分来源初步研究. 地球学报, 2008, 29(6): 709-718.
- [6] 许皓,李彦,谢静霞,程磊,赵彦,刘冉. 光合有效辐射与地下水位变化对柽柳属荒漠灌木群落碳平衡的影响. 植物生态学报, 2010, 34(4): 375-386.
- [7] 樊自立,陈亚宁,李和平,马英杰,艾里西尔·库尔班,阿布都米吉提. 中国西北干旱区生态地下水埋深适宜深度的确定. 干旱区资源与环境, 2008, 22(2): 1-5.
- [9] 张丽,董增川,黄晓玲. 干旱区典型植物生长与地下水位关系的模型研究. 中国沙漠, 2004, 24(1): 110-113.
- [13] 肖生春,肖洪浪. 极端干旱区湖岸柽柳径向生长对水环境演变的响应. 北京林业大学学报, 2006, 28(2): 39-45.
- [14] 秦景,贺康宁. 库布齐沙漠几种常见灌木光合生理特征与土壤含水量的关系. 北京林业大学学报, 2009, 31(1): 37-43.
- [16] 刘冰,赵文智. 荒漠绿洲过渡带柽柳和泡泡刺光合作用及水分代谢的生态适应性. 中国沙漠, 2009, 29(1): 101-107.
- [22] 邓雄,李小明,张希明,叶万辉, Foezki A, Runge M. 多枝柽柳气体交换特性研究. 生态学报, 2003, 23(1): 180-187.

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	LIN Chuan, GONG Zhaoning, ZHAO Wenji (6645)
Potential distribution of rice in China and its climate characteristics	DUAN Juqi, ZHOU Guangsheng (6659)
Effects of seed soaking with soybean isoflavones on soybean seedlings under salt stress	WU Yumei, ZHOU Qiang, YU Bingjun (6669)
Ecophysiological responses and adaptation of <i>Tamarix ramosissima</i> to changes in groundwater depth in the Heihe river basin	ZHANG Pei, YUAN Guofu, ZHUANG Wei, et al (6677)
<i>Melica przewalskyi</i> population spatial pattern and response to soil moisture in degraded alpine grassland	ZHAO Chengzhang, GAO Fuyuan, SHI Fuxi, et al (6688)
A study on ecological compensation standard for Zaoshi Water Conservancy Project based on the idea of ecological footprint	XIAO Jianhong, CHEN Shaojin, YU Qingdong, et al (6696)
Spatial-temporal variation of NPP and NDVI correlation in wetland of Yellow River Delta based on MODIS data	JIANG Ruizhu, LI Xiuqi, ZHU Yongan, et al (6708)
Marshclassification mapping at a community scale using high-resolution imagery	LI Na, ZHOU Demin, ZHAO Kuiyi (6717)
The impact of bacterial-feeding nematodes on root growth of <i>Arabidopsis thaliana</i> L. and the possible mechanisms	CHENG Yanhong, CHEN Xiaoyun, LIU Manqiang, et al (6727)
Spatial and dynamic analysis of plantations in Xishuangbanna using network K-function	YANG Juejie, LIU Shiliang, ZHAO Qinghe, et al (6734)
Contrastive analysis and climatic response of tree-ring gray values and tree-ring densities	ZHANG Tongwen, YUAN Yujiang, YU Shulong, et al (6743)
Fractal structure of dominant tree species in north-facing slope of mountain of northern Hebei	TIAN Chao, LIU Yang, YANG Xinbing, et al (6753)
Characteristics of radiation fluxes of an evergreen broad-leaved forest in Maofeng Mountain, Guangzhou, China	CHEN Jin, CHEN Bufeng, PAN Yongjun, et al (6766)
Effects of seed-dressing agents on groundnut and rhizosphere microbes	LIU Dengwang, ZHOU Shan, LIU Shengrui, et al (6777)
Time series prediction of the concentration of chlorophyll-a based on RBF neural network with parameters self-optimizing	TONG Yuhua, ZHOU Hongliang, HUANG Zhefeng, et al (6788)
A trend surface analysis of geographic variation in the traits of seeds and seedlings from different <i>Quercus acutissima</i> provenances	LIU Zhilong, YU Mukui, MA Yue, et al (6796)
Comparisons of relationships between leaf and fine root traits in hilly area of the Loess Plateau, Yanhe River basin, Shaanxi Province, China	SHI Yu, WEN Zhongming, GONG Shihui (6805)
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, et al (6815)
The effect of fire on soil properties in a <i>Pinus massoniana</i> stand	XUE Li, CHEN Hongyue, YANG Zhenyi, et al (6824)
Water-environment effects of industry structure in Taihu Lake Basin in Jiangsu Province	WANG Lei, ZHANG Lei, DUAN Xuejun, et al (6832)
Effect of high temperature on enzymic activity, pigment content and chlorophyll fluorescence of two <i>Kappaphycus</i> species	ZHAO Sufen, HE Peimin (6845)
Analysis on characteristics of a typical drought event in Jiangsu Province	BAO Yunxuan, MENG Cuili, SHEN Shuanghe, et al (6853)
Surface heat flux and energy budget for semi-arid grassland on the Loess Plateau	YUE Ping, ZHANG Qiang, YANG Jinhui, et al (6866)
Effects of light quality on photosynthetic characteristics and on the carotenoid and cuticular extract content in tobacco leaves	CHEN Wei, JIANG Wei, QIU Xuebai, et al (6877)
Cyanobacterial diversity in biological soil crusts on wastelands of copper mine tailings	LIU Mei, ZHAO Xiuxia, ZHAN Jing, et al (6886)
Stereotypic behavior frequency and the influencing factors in captive Alpine musk deer (<i>Moschus sifanicus</i>)	MENG Xiuxiang, GONG Baocao, XUE Dayuan, et al (6896)
Zooplankton ecology near the Tianwan Nuclear Power Station	WU Jianxin, YAN Binlun, FENG Zhihua, et al (6902)
Diel variations of fish assemblages in multiple habitats of Ma'an archipelago, Shengsi, China	WANG Zhenhua, WANG Kai, ZHANG Shouyu (6912)
A novel cognitive-based approach to motivation for non-use value	ZHONG Manxiu, XU Lizhong, YANG Jing (6926)
Review	
Salt-responsive proteomics in plants	ZHANG Heng, ZHENG Baojiang, SONG Baohua, et al (6936)
Research progress on forms of nitrogen and determination in the sediments	LIU Bo, ZHOU Feng, WANG Guoxiang, et al (6947)
Review of research progress of infectious diseases in wild birds	LIU Dongping, XIAO Wenfa, LU Jun, et al (6959)
Review on the methods to quantify fish's ability to cross velocity barriers in fish passage	SHI Xiaotao, CHEN Qiuwen, HUANG Yingping, et al (6967)
Monograph	
Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services: foundation, prospect and response strategy	WU Jun, XU Haigen, DING Hui (6973)
Scientific Note	
A comparative study of the spatial-temporal patterns of fine roots between young and mature <i>Caragana korshinskii</i> plantations	CHEN Jianwen, WANG Mengben, SHI Jianwei (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