

塔里木河上游胡杨与灰杨光合水分生理特性

王海珍^{1,2}, 韩 路^{1,2}, 李志军^{1,2}, 彭 杰¹, 马春晖¹

(1. 新疆生产建设兵团塔里木盆地生物资源保护利用重点实验室; 2. 新疆塔里木大学植物科技学院, 阿拉尔 843300)

摘要:在自然条件下对塔里木河上游优势树种—胡杨、灰杨的光合水分生理特性进行比较研究。结果表明,整个生长季胡杨、灰杨的光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r , 除 8 月份)日进程均为单峰曲线,水分利用效率(WUE)变化无明显规律性。胡杨与灰杨 12:00 后 P_n 的下降主要取决于非气孔因素限制。胡杨 P_n 、 WUE 高于灰杨,而 T_r 低于灰杨,表明胡杨属高光合、低蒸腾、高 WUE 型树种,灰杨属低光合、高蒸腾、低 WUE 型树种。胡杨、灰杨枝水势(Ψ_w)、清晨与正午水势日进程均呈“V”字型曲线,胡杨水势日变幅、正午水势月变幅均小于灰杨,但两树种水势间无显著差异。胡杨与灰杨具有较强的水分吸收和减少水分丧失的能力,但胡杨调节气孔导度(G_s)控制蒸腾失水的能力较强,对于干旱环境表现出更强的生态适应性,从而导致两树种产生了种群地理分化。

关键词:胡杨;灰杨;气体交换;水分利用效率;水势

文章编号:1000-0933(2009)11-5843-08 中图分类号:Q948.1; S718.43 文献标识码:A

The photosynthetic and water physiological characteristics of *Populus euphratica* and *Populus pruinosa* in the upper reaches of Tarim River

WANG Hai-Zhen^{1,2}, HAN Lu^{1,2}, LI Zhi-Jun^{1,2}, PENG Jie¹, MA Chun-Hui¹

1 Xinjiang Production & Construction Corps Key Laboratory of Protection and Utilization of Biological Resources in Tarim Basin, China

2 College of Plants Science and Technology, Tarim University, Alar, Xinjiang 843300, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(11): 5843 ~ 5850.

Abstract: *Populus euphratica* Oliv. and *Populus pruinosa* Schrenk. distributed widely in the upper reaches of Tarim River, China. *P. euphratica* played important roles in controlling the structure, function and sustainability of the ecosystems in Tarim basin because it had strong ability to survive in the desert. However, the population of *P. euphratica* was declined due to excessively exploit soil and water resources by human beings. This result endangered directly sustainable development of oasis' agriculture and ecological balance. Photosynthetic and water physiological characteristics of *P. euphratica* and *P. pruinosa* were revealed to illuminate their ecological adaptation, and supply theoretical base to utilize rationally resources, protect dominant population and restore degraded ecosystem. We measured the diurnal courses of gas exchange using Li-cor 6400 (LICOR, USA) once every two hours from 8:00am to 20:00pm in different months and water potential with pressure chamber (SKPM1400, UK) under natural condition, 2006, and got data on net photosynthetic rate (P_n), transpiration rate (T_r), stomatal conductance (G_s), intercellular CO_2 concentration (C_i), photosynthetic photon flux density ($PPFD$), leaf-to-air vapor pressure deficit (VPD), air to temperature (T_a), WUE was calculated by P_n/T_r . The results showed diurnal courses of P_n and T_r of *P. euphratica* and *P. pruinosa* were single peak curve in growth season except for August, but WUE were not significant variable regulation. Based on the analysis of stomatal limitation of photosynthesis using two criteria (C_i and L_s) suggested by Farquhar and Sharkey, it showed that the predominant cause of restricting P_n was non-stomatal limitation after 12:00. Compared with two plants, *P. euphratica* displayed the higher WUE because of its higher P_n

基金项目:国家重点基础研究规划前期研究专项资助项目(2008CB417216);国家自然科学基金资助项目(30960033);塔里木盆地生物资源保护利用重点实验室课题资助项目(BR0810)

收稿日期:2008-07-31; 修订日期:2009-04-08

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

and lower Tr , *P. pruinosa* displayed the lower P_n and WUE and the higher Tr . In the interval between of gas exchange measurements, we measured the water potential once every two hours. The diurnal courses of water potential and predawn, midday water potential were 'V' curve, daily variation range of water potential and monthly variation range of midday water potential of *P. euphratica* were the lower than that of *P. pruinosa* and water potential was not significant difference between two tree species. Both *P. euphratica* and *P. pruinosa* had the ability to endure drought with very low (more negative) water potential (Ψ_w) while *P. euphratica* had stronger ability to adjust stomatal conductance and decrease water loss according to degree of drought. Thus *P. euphratica* had better ecological adaptability and led to different population distribution.

Key Words: *Populus euphratica*; *Populus pruinosa*; gas exchange; water use efficiency; water potential

塔里木盆地地处欧亚大陆腹地,是我国典型的干旱荒漠区。沿塔里木河两岸呈走廊状分布着大片的原始胡杨林,占全国胡杨林面积的 89.1%^[1],是流域植被自然演替进程中近顶级的天然乔木群落,它的存在与发展决定着整个塔里木荒漠生态系统的结构、功能与环境变迁。胡杨(*Populus euphratica* Oliv)、灰杨(*Populus pruinosa* Schrenk)是塔里木荒漠生态系统的优势乔木树种,已成为抵御风沙、遏制沙化、维护区域生态平衡、保护生物多样性和保障绿洲农牧业生产的重要屏障;而恶劣的地理环境加上人类对塔里木河上、中游水土资源的过度开发利用,致使胡杨林面积和生物多样性锐减,荒漠化面积剧增等^[2],仅在最近 40a 间,胡杨林面积就减少一半^[3]。因此,塔里木荒漠优势树种——胡杨与灰杨应作为生态关键种而加以研究、保护与恢复,这对塔里木河流域乃至整个新疆荒漠地区植被的恢复、重建与区域生态环境改善都有重要的理论和实践意义^[4,5]。目前,国内外学者对胡杨的生物生态学特性、生长规律、光合荧光特性、水分生理、抗逆生理生态适应机制、遗传与分子生物学、种群结构与分布格局、生物多样性、繁殖更新复壮等方面开展了广泛的研究^[4~19],但对灰杨的研究较少。本文以塔里木河上游天然胡杨林内的优势树种——胡杨和灰杨为试材,对比研究了它们的气体交换特性、水分利用效率、水势及其季节动态变化,试图阐明胡杨与灰杨适应干旱环境的光合水分生理特性,为塔里木荒漠区天然胡杨林的恢复保护、更新复壮及改善日趋退化的生态环境提供理论依据。

1 研究区自然概况

试验样地设置在新疆塔里木河上游的阿瓦提县境内(E 80°25', N 39°40'),海拔 992.62m,属暖温带干旱荒漠气候,四季分明,光热资源丰富;年平均日照时数 2729.0h,太阳总辐射能 5796MJ·m⁻²·a⁻¹,年平均气温 10.4℃,≥10℃的积温 4125.3℃,极端最高温度 39.4℃,极端最低温度 -25.0℃,昼夜温差大;年平均降水量 50.4mm,年平均蒸发量 1880.0mm,相对湿度 56%,干燥度 19。风沙灾害频繁,春、夏季多大风天气,是该地区风沙危害的主要季节。土壤质地为沙土,总盐量 0.1372%,pH 7.77,有机质含量 0.8758%。天然胡杨林地势平坦,土壤沙化,地下水位 4m,0~200cm 的土壤含水量低于 5%,林分结构简单、植被稀少。

2 材料与方法

2.1 供试材料

在阿瓦提县境内的天然胡杨林内选择生境基本一致、有代表性的胡杨、灰杨样方(20m×20m)各一个(相距 50m),样地每木检尺,调查树高、冠幅、胸径等指标并计算平均值。胡杨平均胸径 10.3cm,树高 3.48m,密度 300.2 株/hm²;灰杨平均胸径 16.2cm,树高 4.43m,密度 400.2 株/hm²。采用 4cm 径阶,选出生长健康、无病虫害的胡杨与灰杨标准木作待测样株,选择各待测样株树冠中上部外围向阳的叶片进行各项生理指标的测定。

2.2 测定方法

2.2.1 气体交换参数

2006 年 6 月至 9 月中旬,选择晴朗无云的天气,连续 3d 测定胡杨、灰杨的气体交换参数日变化。测定时选择待测样株树冠中上部外围向阳新梢上的倒 3、4 位的功能叶,测定时间为北京时间 8:00~20:00,每 2h 测

定 1 次,每株测定 3 个叶片。净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)、胞间 CO_2 浓度(C_i)等生理指标及光合有效辐射(PAR)、大气 CO_2 浓度(C_a)、气温(T_{air})、叶温(T_{leaf})、空气相对湿度(RH)、叶片大气水汽压亏缺(VPD)等微气象参数由美国 Li-Cor 公司生产的 Li-6400 便携式光合作用分析仪同步给出;水分利用效率(WUE) = P_n/T_r 。

2.2.2 枝水势(Ψ_w)

枝水势日变化与气体交换参数的测定同步进行,采用植株树冠中上部向阳面发育良好的健康小枝 3~5 个,于 6~9 月中旬用植物压力室(SKPM 1400,英国产)测定小枝水势。

2.2.3 土壤含水量

在两块样地内分别用土钻钻孔,沿对角线安装 3 根铝管,用 503DR 中子仪(USA)测定样地每 20cm 一层的土壤含水量,每个深度重复读数 3 次,计算平均值。同时,7~8 月份用烘干法测定每层土壤含水量,用于校准 503DR 中子仪的测定值。

2.2.4 数据分析

用 SAS6.12 进行方差分析,多重比较采用 DUNCAN 法。

3 结果与分析

3.1 土壤含水量的季节变化

2006 年胡杨、灰杨样地 0~20cm 土壤含水量极低(0.18%),接近于 0。随着土层加深土壤含水量略有增加,但在 0~2m 土壤含水量都低于 5%,在近 3.5m 左右土壤含水量显著增高,因为逐渐接近于地下水位。整个生长季林下土壤含水量在 0~2m 内变化不大,在 2.5m 以下较大(图 1)。陈亚鹏指出 3.12~4.42m 的地下水位是胡杨遭受水分胁迫的临界区^[19],表明土壤水分已成为胡杨、灰杨生长发育的限制因子。

3.2 胡杨、灰杨光合速率、蒸腾速率、气孔导度和水分利用效率日变化的季节动态

胡杨、灰杨的 P_n 、 T_r 、 G_s 和 WUE 随着外界环境因子的变化而发生变化,不同树种在不同生长时期都有各自的日变化规律(图 2)。

胡杨、灰杨 6~9 月 P_n 日变化均为单峰曲线,胡杨 6~8 月份峰值出现在 12:00,9 月份峰值出现在 14:00,各月份峰值分别为 18.23、19.39、14.71、14.05 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$;而灰杨 6~9 月份 P_n 峰值均出现在 12:00,分别为 18.12、18.18、14.67、13.03 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (图 2),日平均 P_n 均表现为 7 月 > 6 月 > 8 月 > 9 月(表 1)。胡杨 6~9 月 T_r 日变化曲线除 8 月外均呈单峰曲线,7、8 月 T_r 峰值出现在 12:00,6、9 月峰值出现在 14:00。6 月 T_r 的变幅最大,8 月 T_r 变化呈双峰,峰值分别出现在 12:00(8.56 $\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)和 16:00(4.79 $\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$);从 12:00 的最高峰一直降至 14:00 的 4.35 $\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,降幅近 2 倍,而后又有所回升。灰杨 T_r 日变化规律与胡杨相似,6、7、9 月份 T_r 峰值均出现在 14:00,比 P_n 晚 2h,表现出明显的滞后效应(图 2);8 月份 T_r 的变化趋势与胡杨一致,但两峰值均高于胡杨,表明灰杨的蒸腾速率较高,这点从 T_r 各月均值也可看出(表 1)。两树种日平均 T_r 均表现为 6 月份 > 7 月份 > 8 月份 > 9 月份(表 1)。

胡杨 6、7 月份 G_s 呈幂函数型曲线下降,8、9 月份 G_s 则呈单峰曲线,从 8:00 开始上升至 10:00 达到一天中最高峰,然后一直持续下降。日平均 G_s 依次为 9 月份 > 8 月份 > 6 月份 > 7 月份。灰杨 G_s 在 7、8 月份呈单峰曲线,6、9 月份呈双峰曲线且峰值较高,日平均 G_s 为 6 月份 > 9 月份 > 7 月份 > 8 月份(表 1)。

水分利用效率是植物光合、蒸腾特性的综合反映^[6]。胡杨与灰杨的 WUE 日变化除 8 月是典型的双峰,其

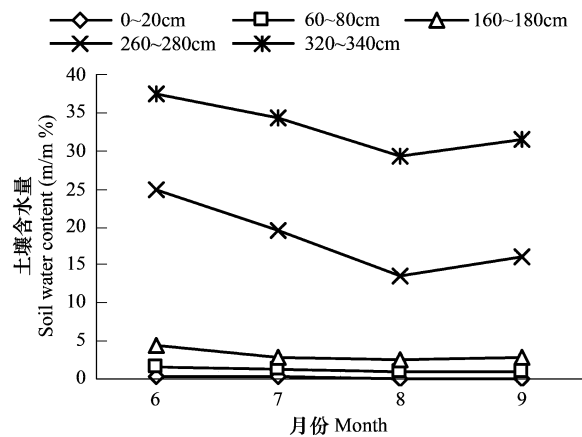


图 1 生长季样地不同深度土壤含水量

Fig. 1 The soil water contents at different depths of vegetation growth period in 2006

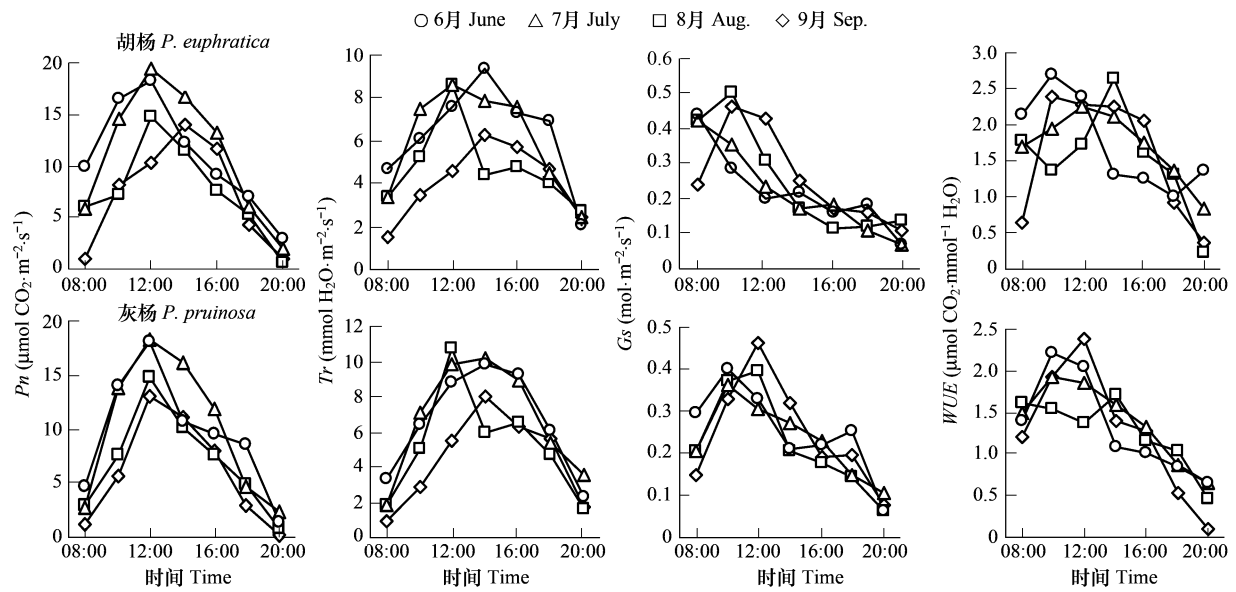


图2 胡杨、灰杨光合速率、蒸腾速率、气孔导度和水分利用效率在不同月份的日变化比较

Fig. 2 Comparison of diurnal changes of photosynthetic rate, transpiration rate, stomatal conductance and water use efficiency of *P. euphratica* and *P. pruinosa* in different months

余月份均为单峰曲线,但峰值大小与出现的时间不同。胡杨 6、9 月份 *WUE* 峰值均出现在 10:00,分别为 2.70、2.38 $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{mmol}^{-1}\text{H}_2\text{O}$;7、8 月份最高峰值分别出现在 12:00 与 14:00,分别为 2.26、2.63 $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{mmol}^{-1}\text{H}_2\text{O}$,日平均 *WUE* 依次为 6 月份>7 月份>9 月份>8 月份;灰杨 9 月峰值最大,其次是 6 月份,6、7 月份峰值出现在 10:00,早于 8、9 月份的 12:00 与 14:00,日平均 *WUE* 依次为 7 月份>6 月份>8 月份>9 月份(表 1)。

表 1 胡杨、灰杨 4 个月气体交换参数日变化均值与环境因子特征

Table 1 The characteristics of environmental factors and average values of gas exchange parameters daily courses of *P. euphratica* and *P. pruinosa*

树种 Species	月份 Month	参数 Parameters								
		<i>Pn</i>	<i>Tr</i>	<i>WUE</i>	<i>Gs</i>	<i>T</i> _{air} /°C	<i>PAR</i>	<i>RH</i> %	<i>VPD</i>	Ψ_w
胡杨 <i>P. euphratica</i>	6 月 June	10.84	6.28	1.7380	0.2210	34.73(39.32)	914(1584)	33.89	3.09(5.66)	-2.47
	7 月 July	11.10	5.97	1.7086	0.2197	33.45(38.63)	1070(1840)	38.34	3.03(4.44)	-3.09
	8 月 Aug.	7.55	4.72	1.5172	0.2529	33.72(40.98)	954(1694)	42.87	2.32(4.85)	-3.59
	9 月 Sep.	7.20	4.07	1.5539	0.2603	25.79(30.33)	675(1403)	48.47	1.82(3.32)	-3.28
	平均 Average	9.17A	5.26b	1.6294A	0.2385a	31.92(37.32)	903(1630)	40.89	2.57(4.57)	-3.11a
灰杨 <i>P. pruinosa</i>	6 月 June	9.57	7.15	1.3213	0.2536	34.52(39.16)	867(1444)	34.28	2.98(4.85)	-2.46
	7 月 July	9.93	6.68	1.3848	0.2322	33.25(38.52)	980(1756)	38.84	2.81(4.55)	-3.41
	8 月 Aug.	6.95	5.20	1.2635	0.2228	33.68(40.74)	898(1575)	43.34	2.36(4.64)	-3.69
	9 月 Sep.	5.99	4.41	1.2546	0.2456	25.53(30.12)	636(1348)	49.21	1.86(3.35)	-3.43
	平均 Average	8.11B	5.86a	1.3061B	0.2382a	31.75(37.14)	845(1530)	41.42	2.50(4.35)	-3.25a

同一列上大写字母表示差异达极显著水平,小写字母表示差异达显著水平,字母相同表示差异不显著 Within each line, different capitals indicate most significant difference, different small letters show significant difference, same letter is not significant difference; 括号内为最大值 Values in bracket are maximums

由图 2 可见,两树种气体交换过程中的 *Pn*、*Gs* 变化速率明显不同。6、7 月份胡杨 *Pn* 的下降速率(1.14 $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)大于灰杨(1.08 $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$),直接原因是胡杨叶片 *Gs* 在高温季节大部分时间内保持较低的水平且午后下降速率较快(0.028 $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$),通过主动调节 *Gs* 来控制失水以维持较高

的水分利用效率。由表 1 可知,胡杨与灰杨的 P_n 、 WUE 均达极显著差异, Tr 达显著差异水平、 G_s 则不显著。胡杨 4 个月的平均 P_n 、 WUE 均高于灰杨,而 Tr 低于灰杨,表明胡杨是高光合、低蒸腾和高水分利用率型的荒漠优势树种。

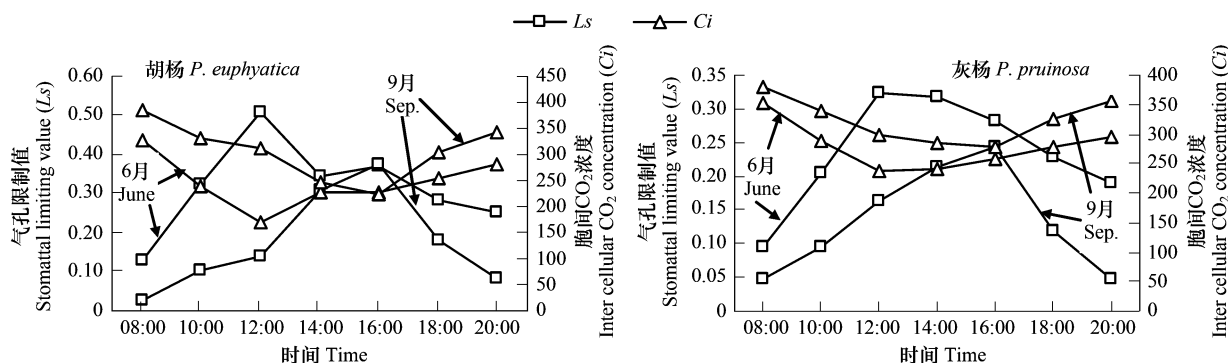


图 3 6、9 月胡杨和灰杨光合速率的下降与细胞间隙以及气孔限制值的关系

Fig. 3 The relation of C_i and L_s to the P_n decline in the diurnal courses of *P. euphratica* and *P. pruinosa* in June and September

3.3 胡杨、灰杨光合速率日变化与胞间 CO_2 浓度及气孔限制值的关系分析

植物叶片光合速率午间降低的自身因素不外乎两个:即气孔因素和非气孔因素。根据 Farquhar 的观点^[20],结合图 2、图 3 可见,6 月份胡杨、灰杨的 P_n 从 12:00 ~ 20:00 一直下降, C_i 总体保持上升趋势, L_s 则呈下降趋势,说明 6 月份引起两树种 P_n 降低的原因是非气孔因素造成的,即由叶肉细胞羧化能力的降低导致 P_n 降低。9 月份两树种 P_n 从午后降低的原因均是由气孔因素转为非气孔因素限制,但两种限制因素在不同树种的光合日进程中的不同时段分别起限制作用。胡杨、灰杨分别在 12:00 ~ 16:00、14:00 ~ 16:00 时间段表现为 P_n 和 C_i 同时下降,而 L_s 上升,说明该时间段两树种 P_n 下降表现为气孔因素限制;而 16:00 以后 P_n 下降, C_i 上升,而 L_s 下降,表明 P_n 的降低又转变为非气孔因素限制。总的来看引起 P_n 降低的主要原因前期为气孔因素,后期为非气孔因素。

3.4 胡杨、灰杨水势日变化的季节动态

从图 4 可见,胡杨、灰杨各月枝水势日变化趋势相似,均呈“V”字型曲线,14:00 达到最低值后又缓慢回升。从整个生长季来看,胡杨枝水势均高于灰杨,方差分析表明树种之间的水势没有显著差异($P > 0.05$, 表 1)。胡杨、灰杨平均水势均为 6 月份 > 7 月份 > 9 月份 > 8 月份,水势日变幅为 6 月份 > 9 月份 > 8 月份 > 7 月份,但灰杨水势日变幅大于胡杨。结合两树种的气体交换特性看,胡杨具有较高的 P_n 、 WUE 和较低的 Tr ,由于树体蒸腾失水较少,所以表现出较高的枝水势(表 1)。

清晨水势可以反映植物水分的恢复状况,可用于判断植物水分的亏缺程度。清晨水势发生明显下降则表

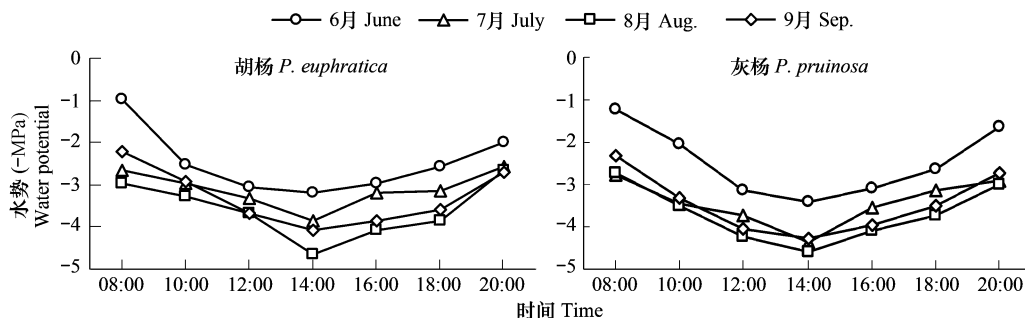


图 4 胡杨、灰杨水势的季节动态

Fig. 4 The seasonal dynamic of water potential of *P. euphratica* and *P. pruinosa*

明植物受到水分胁迫,正午水势可以反映水分亏缺的最大值^[9]。由图 5 可见,胡杨、灰杨清晨和正午水势在生长季中的变化规律基本一致,随生长发育进程与季节推移呈“V”型变化曲线,8 月份为一年中水势最低的月份,9 月份水势有所回升,胡杨回升幅度大于灰杨。水势的变化表明树体在 8 月份水分亏缺程度最严重,水分状况最差。胡杨清晨与正午水势值总是高于灰杨,方差分析表明,整个生长季清晨和正午水势在树种间无显著差异($P > 0.05$)。

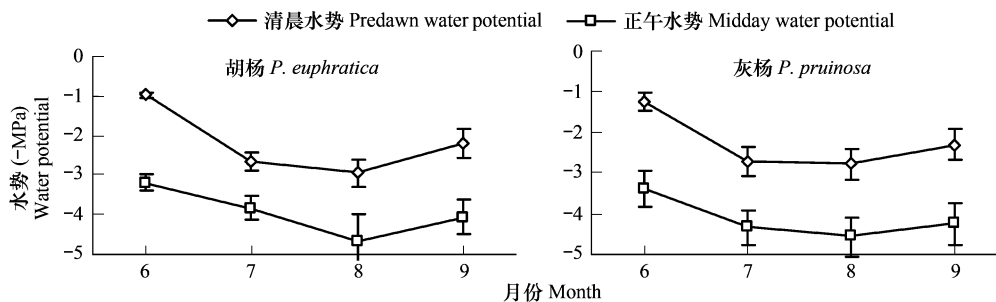


图 5 胡杨、灰杨清晨与正午水势的季节变化

Fig. 5 The seasonal change of predawn and midday water potential of *P. euphratica* and *P. pruinosa*

4 结论与讨论

植物的光合作用、蒸腾作用、气孔导度和水分利用效率直接受太阳辐射和大气 CO_2 浓度等环境因子的控制,同时它们也对环境变化具有很强的自我调节和适应能力,并做出相应的反应^[21]。在自然条件下,植物总是通过气体交换与大气保持动态平衡,而光合作用是植物对环境变化很敏感的生理过程,植物适应环境是沿着有利于光合作用的方向发展^[22]。当环境条件如光照、温度超过其最适范围或生理忍耐限度时,植物通过调节气孔开度使 P_n 降低。根据胡杨和灰杨的光合、蒸腾速率日变化曲线特征将其划分为单峰午降型。胡杨、灰杨 6~9 月份 P_n 日变化均呈单峰曲线,各月平均 P_n 、峰值大小和出现时间不同,这是它们对干旱环境长期适应的结果和反应。胡杨 P_n 与 Tr 变化规律与峰值出现的步调基本保持一致,而灰杨 Tr 峰值出现时间明显滞后于 P_n (图 2)。利用 Farquhar 的判断原则^[20],结果表明引起胡杨、灰杨 P_n 午后降低的主要原因是非气孔因素限制。但具体到各月份、各时间段可能还有所差异,这也说明植物光合作用与蒸腾作用除受气孔因素和非气孔因素的直接影响外,与各种环境因子的变化也有关。胡杨、灰杨的 P_n 、 Tr 变化对 G_s 的生态响应及灵敏度不同也是造成差异的原因。总体来说两树种 P_n 与 G_s 的相关系数($r = 0.6068$)大于 Tr 与 G_s ($r = 0.3199$),而胡杨 P_n 、 Tr 与 G_s 的相关系数高于灰杨的($r_{\text{胡}} = 0.6825$, $r_{\text{灰}} = 0.2442$)。胡杨 6、7 月份的 G_s 明显低于灰杨,而 8、9 月份的 G_s 又大于灰杨,表明胡杨的气孔调节能力较强,在干旱炎热的夏季主要通过调控 G_s 来控制 Tr 变化,以此降低叶片温度来减轻夏季高温强光对叶片造成的灼伤,这是荒漠植物的一种生态适应对策。

生长季内胡杨各月的 P_n 、 WUE 均高于灰杨, G_s 值相近, Tr 低于灰杨。表明灰杨属低光合、高蒸腾、低 WUE 型的树种,胡杨属高光合、低蒸腾、高 WUE 型的树种,此结论与邓雄^[23]研究的结论有差异,这可能与选择的参照对象不同有关。邓雄是将胡杨与沙区超旱生植物骆驼刺、沙拐枣相比而得出的结论,本文是与分布于塔里木荒漠区亲缘关系较近的优势树种—灰杨做比较得出的结论,但这也与刘建平^[24]得出胡杨日平均光合速率、蒸腾速率、水分利用率、气孔导度均高于灰叶胡杨的结论稍有不同。分析原因可以看出他的结论是以 8 月份的数值进行比较得出的,但胡杨与灰杨蒸腾速率的差异仍是不显著的^[24]。数据是各月 3d 的平均值,整个生长季的平均值差异显著($P < 0.05$, 表 1)。因此,生长季各月的平均值应能更准确地反应真实情况。Kristina 指出高 P_n 和高 WUE 常常被作为植物生存和广泛分布能力强弱的表征^[22]; Ci/C_a 表征植物对水分变化的响应, Ci/C_a 值越小,抗旱性越强^[25]。胡杨 P_n 、 WUE 均高于灰杨、而 Ci/C_a 值(0.7307)低于灰杨(0.7919),说明胡杨抗逆性强于灰杨,比灰杨更适应在塔里木荒漠环境中生存。干旱区植物能否适应当地的极端环境条件,最主要的看它们能否很好地协调碳同化和水分消耗之间的关系,也就是说 WUE 是其生存的关

键因子^[24]。胡杨与灰杨同为塔里木荒漠生态系统的主要物种,但随着塔里木河水资源的过度利用,地下水位逐渐下降,两者在适应干旱加剧的过程中发生了明显的地理分化,灰杨主要分布在塔里木河的源头至上游等水分条件较好的生境,中下游断流区基本上失去了其踪影;而胡杨主要集中在中下游地区。可以推测,由于灰杨具有更高的气孔导度、蒸腾速率和较低的水分利用效率,它将比胡杨更多更快地消耗土壤中水分。因此,在日益干旱的环境下,由于土壤水分不能满足树体蒸腾所需的水分,它可能会比胡杨更容易受到干旱的胁迫而消亡。

生长季灰杨枝水势均低于胡杨且变幅较大,表明灰杨对水分的依赖性比胡杨高。这与灰杨主要分布在塔里木河上游的情况相一致。结合前人研究荒漠植物的水势特征^[9,10,24],认为胡杨与灰杨的水势值均较低,表现出较强的水分吸收和减少水分丧失的能力,属于低水势忍耐脱水型的植物^[24],所以能在极端干旱的逆境中长期生存繁衍,维护新疆荒漠绿洲的稳定和繁荣。因此,加强塔里木河流域上、中、下游水资源的管理,改善流域农业灌溉方式,合理分配区域间用水量与生态用水及农业用水的比例;发展节水型农业、林业,引洪灌溉,利用农业退水灌溉天然林,努力提高水资源利用率,是恢复塔里木河流域荒漠退化生态系统的有效措施。

References:

- [1] Philipp P. The Ecological Amplitude *Populus Euphratica* At The Middle Reaches of The River Tarim, Western China. Technical University, Berlin, 2005:54.
- [2] Mubarek A, Hamit Y, Wang Z M, Dilber E. *P. euphratica* ecosystem fragility and protecting strategy on Tarim *P. euphratica* nature reserve in Xinjiang. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2007, 18(3): 30—35.
- [3] WANG S J. The actuality of *Populus euphratica* tree and the countermeasures of conservation and restoration. World Forestry Research, 1996, 9(6): 37—43.
- [4] Deng X, Li X M, Zhang X M, *et al.* The studies about the photosynthetic response of the four desert plants. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(3): 598—605.
- [5] Su P X, Zhang L X, Du M W *et al.* Photosynthetic character and water use efficiency of different leaf shapes of *Populus euphratica* and their response to CO₂ enrichment. Acta Phytocologica Sinica, 2003, 27(1): 34—40.
- [6] Li Z J, Liu J P, Yu J, *et al.* In vestigation on the characteristics of biology and ecology of *Populus euphratica* and *Populus pruinosa*. Acta Bot Boreal Occident Sin, 2003, 23(7): 1292—1296.
- [7] Wang L M, Zhang Q L, Yin J Y. Study on the growth pattern and bio-productivity of the *Populus Euphratica* forest stand in Ejina. Journal of Arid Land Resources & Environment, 2003, 17(2): 94—99.
- [8] Luo Q H, Li Z J, Wu W M, *et al.* Comparative study of photosynthetic and chlorophyll fluorescence characteristics of *Populus euphratica* and *P. pruinosa*. Acta Bot Boreal Occident Sin, 2006, 26(5): 983—988.
- [9] Zeng F J, Zhang X M, Andrea Foetaki, *et al.* Study on the water physiological characteristics of *Populus euphratica* in the Cele Oasis. Arid Zone Research, 2002, 19(2): 26—30.
- [10] Wang H Z, Han L, Zhou Z L, *et al.* Dynamical responses of *Populus euphratica* and *Populus pruinosa* water potential to different depths of ground water level. Agricultural Research in the Arid Areas, 2007, 25(5): 125—129.
- [11] Yang Y Q, Wang W Q, Erio A. Ottow, *et al.* Physiological adapting mechanism of *Populus euphratica* under drought stress. Journal of Beijing Forestry University, 2006, 28(Supp. 2): 6—11.
- [12] Chen Y P, Chen Y N, Li W H, *et al.* Analysis on the physiological characteristics of *Populus euphratica* under drought stress in the lower reaches of Tarim River. Acta Bot Boreal Occident Sin, 2004, 24(10): 1943—1948.
- [13] Zhang Y X, Shi Y, Wang R G, *et al.* Effects of ABA and CaM on leaf gas exchange of *Populus euphratica* in the process of initial salinity. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(1): 57—64.
- [14] Watanabe S, Kojima K, Ide Y, *et al.* Effects of osmotic stress on praline and sugar accumulation in *Populus euphratica* in vitro. Plant Cell. Tissue and Organ Culture, 2000, 63: 199—206.
- [15] Saito Y, Shiraiishi S, Tanimoto T, *et al.* Genetic diversity of *Populus euphratica* populations in northwestern China determined by RAPD DNA analysis. New Forests, 2002, 23: 97—103.
- [16] Li J, Zhang Q L, Gao R H, *et al.* Study on the population structure and distribution pattern of *Populus euphratica* populations in Ejina Oasi. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2008, 22(2): 187—190.

- [17] Han L, Wang H Z, Zhou Z L, *et al.* Population structure and demography of *Populus euphratica* in upper and middle reaches of Tarim River. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(4):1315–1322.
- [18] Gao R H, Dong Z, Zhang H, *et al.* Study on regeneration process and biodiversity characteristic of *Populus euphratica* community in the Ejina Natural Reserve. Inner Mongolia of China. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(5):1019–1025.
- [19] Chen Y P, Chen Y N, Li W H, *et al.* Effect of ecological water input on MDA of *Populus euphratica* Oliv leaf in the lower reaches of the Tarim river. *Chin J Appl Environ Biol*, 2004, 10(4):408–411.
- [20] Farquhar G D and Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis. *Ann. Rev. Physiol*, 1982, 33:317–345.
- [21] Yu G R, Zhuang J, Yu Z L. An attempt to establish a synthetic model of photosynthesis-transpiration based on stomatal behavior for maize and soybean plants grown in field. *Journal of Plant Physiology*, 2001, 158: 861–874.
- [22] Kristina A, Schierenbeck G, John D M. Seasonal and diurnal patterns of photosynthetic gas exchange for *Lonicera serrurerens* and *L. japonica* (Caprifoliaceae). *Amer J B*, 1993, 80:1292–1299.
- [23] Deng X, Li X M, Zhang X M, *et al.* A studies of the gas exchange characteristics of four desert plants. *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, 26(5): 605–612.
- [24] Liu J P, Han L, Gong W J, *et al.* A Comparison Study on Transpiration, Photosynthesis of *Populus euphratica* and *P. pruinosa*. *Journal of Tarim University*, 2004, 16(3):1–6.
- [25] Saith K, Kikui M, Ishihara K. Relationship between leaf movement of trifoliolate compound leaf and environmental factors in the soybean canopy. *Japanese Journal Crop Science*, 1995, 64:259–265.

参考文献:

- [2] 木巴热克·阿尤普, 海米提·依米提, 王智明, 等. 塔里木胡杨自然保护区胡杨生态系统脆弱性及其治理措施研究. *水资源与水工程学报*, 2007, 18(3):30–35.
- [3] 王世绩. 全球胡杨林的现状及保护和恢复对策. *世界林业研究*, 1996, 9(6):37–43.
- [4] 邓雄, 李小明, 张希明, 等. 四种荒漠植物的光合响应. *生态学报*, 2003, 23(3):598–605.
- [5] 苏培玺, 张立新, 杜明武, 等. 胡杨不同叶形光合特性、水分利用效率及其对加富 CO₂ 的响应. *植物生态学报*, 2003, 27(1):34–40.
- [6] 李志军, 刘建平, 于军, 等. 胡杨、灰叶胡杨生物生态学特性调查. *西北植物学报*, 2003, 23(7):1292–1296.
- [7] 王立明, 张秋良, 殷继艳. 额济纳胡杨林生长规律及生物生产力的研究. *干旱区资源与环境*, 2003, 17(2):94–99.
- [8] 罗青红, 李志军, 伍维模, 等. 胡杨、灰叶胡杨光合及叶绿素荧光特性的比较研究. *西北植物学报*, 2006, 26(5):983–988.
- [9] 曾凡江, 张希明, Andrea Foetaki, 等. 新疆额济纳绿洲胡杨水分生理特性研究. *干旱区研究*, 2002, 19(2):26–30.
- [10] 王海珍, 韩路, 周正立, 等. 胡杨、灰叶胡杨水势对不同地下水位的动态响应. *干旱地区农业研究*, 2007, 25(5):125–129.
- [11] 杨永青, 王文棋, Erio A. Ottowd, 等. 干旱胁迫下胡杨生理适应机制的研究. *北京林业大学学报*, 2006, 28(增刊2):6–11.
- [12] 陈亚鹏, 陈亚宁, 李卫红, 等. 塔里木河下游干旱胁迫下的胡杨生理特点分析. *西北植物学报*, 2004, 24(10):1943–1948.
- [13] 张云霞, 石勇, 王瑞刚, 等. 初始盐胁迫下 ABA 与 CaM 对胡杨叶片气体交换的调控. *林业科学*, 2008, 44(1):57–64.
- [16] 李军, 张秋良, 高润宏, 等. 额济纳绿洲胡杨种群结构与分布格局研究. *干旱区资源与环境*, 2008, 22(2):187–190.
- [17] 韩路, 王海珍, 周正立, 等. 塔里木河上、中游胡杨种群结构与统计分析. *生态学报*, 2007, 27(4):1315–1322.
- [18] 高润宏, 董智, 张昊, 等. 额济纳绿洲胡杨林更新及群落生物多样性动态. *生态学报*, 2005, 25(5):1019–1025.
- [19] 陈亚鹏, 陈亚宁, 李卫红, 等. 新疆塔里木河下游生态输水对胡杨叶片 MDA 含量的影响. *应用与环境生物学报*, 2004, 10(4):408–411.
- [23] 邓雄, 李小明, 张希明, 等. 4 种荒漠植物气体交换特征的研究. *植物生态学报*, 2002, 26(5):605–612.
- [24] 刘建平, 韩路, 龚卫江, 等. 胡杨、灰叶胡杨光合、蒸腾作用比较研究. *塔里木大学学报*, 2004, 16(3):1–6.