

地下水埋深及矿化度对多枝柽柳幼苗 光合特征及生长的影响

王 鹏^{1,2}, 赵成义¹, 李 君¹

(1. 中国科学院 新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘 要: 采用简易 Lysimeter 研究了不同地下水埋深(20, 60, 100 cm)和不同矿化度(<1.00 g/L 淡水, 1.0~3.0 g/L 微咸水, 3.0~10.0 g/L 咸水)对多枝柽柳幼苗光合特征及生长的影响。结果表明, 不同地下水埋深与矿化度对多枝柽柳幼苗的光合特征及生长均有影响; 在地下水埋深 20 cm, 矿化度为 3.0~10.0 g/L 的咸水条件下, 多枝柽柳幼苗的最大光合速率(P_{max})为 66.93 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 光合速率(P_n)、气孔导度(Cond)、水分利用效率(WUE)及羧化速率(CE)对光强的响应均大于其它试验处理。不同的地下水埋深、矿化度可显著影响多枝柽柳幼苗的最大光合速率(P_{max})、表观量子效率(AQY)、暗呼吸速率(R_d)、光饱和点(LSP)等光合特征。进一步分析表明, 在地下水埋深 20 cm, 矿化度为 3.0~10.0 g/L 的咸水条件下, 多枝柽柳幼苗的生态适应能力较强, 幼苗能够适应生境变化迅速生长, 获得竞争优势。

关键词: 多枝柽柳幼苗; 地下水埋深; 矿化度; 光合特征

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)02-0084-06

中图分类号: Q945.11

Effects of Groundwater Depth and Mineralization Degree on Photosynthesis and Growth of *Tamarix Ramosissima* Seedlings

WANG Peng^{1,2}, ZHAO Cheng-yi¹, LI Jun¹

(1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi, Xinjiang 830011, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The effects of groundwater depth and mineralization on the photosynthetic characteristics and growth of *T. ramosissima* were studied in the treatments with factors of mineralization (<1.00, 1.0~3.0, and 3.0~10.0 g/L) and groundwater depth (20, 60, and 100 cm) for a duration of 60 days in the national research station of Akesu oasis farmland ecosystem. The results indicate that the combination of groundwater depth and mineralization showed significant effects on the photosynthetic characteristics and growth of *T. ramosissima* seedlings. According to the results obtained from the experiment, it was found that with groundwater at 20 cm depth and saline condition, the plant showed the highest maximum photosynthetic rate (66.93 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$), stomatal conductance, water use efficiency and carboxylation efficiency. The values of maximum net photosynthetic rate, apparent quantum yields, light saturation point and dark respiration rate were affected by the variations of groundwater depth and mineralization. These results revealed that with 20 cm watertable and saline condition, the seedlings of *T. ramosissima* show stronger competency and have higher capacity to accommodate the variations of the environment.

Keywords: *Tamarix ramosissima* seeding; groundwater depth; mineralization; photosynthetic characteristics

近 50 a 来, 塔里木河干流生态环境变化剧烈, 以胡杨(*Populus euphratica*)、柽柳(*Tamarix ramosissima*)为主的荒漠河岸林大面积衰败、生物多样性降低^[1]。洪水对胡杨及柽柳生长的影响首先表现在对其河岸生境的改造上, 即影响河流两岸的地下水埋深及矿化

度; 洪水退后, 河漫滩成为其种子快速萌发和幼苗生长的天然生境。通常胡杨、柽柳幼苗对洪水的响应与适应往往决定其种群的繁殖能力。

许多学者研究了河岸植物与地下水、矿化度的关系, 如典型河岸植物对地下水变化的生理响应^[2-3]、盐

收稿日期: 2011-04-27

修回日期: 2011-06-15

资助项目: 国家重点基金项目“胡杨林生态格局与过程对洪水漫溢、人工灌溉的响应与调控”(40830640); 中国科学院“西部之光”人才培养计划西部博士专项(XBBS200807); 国家自然科学基金项目(41171095)

作者简介: 王鹏(1985—)男(汉族), 山东省青岛市人, 硕士研究生, 主要从事植物生理生态研究。E-mail: eagle1094@163.com。

通信作者: 赵成义(1966—)男(汉族), 新疆自治区玛纳斯县人, 博士, 研究员, 主要从事干旱区生态水文学研究。E-mail: zcy@ms.xjb.ac.cn。

处理对多枝桤柳光合作用等的影响^[4]、多枝桤柳气体交换特性^[5]、多枝桤柳和疏叶骆驼刺幼苗生物量分配及根系分布特征等^[6], 但关于干旱区洪水作用下的两岸地下水埋深及矿化度变化以及二者相互作用产生的滞后效应对多枝桤柳幼苗的光合特征及生长的影响研究报道较少。本研究尝试以 2 年生多枝桤柳幼苗为研究对象, 通过简易 Lysimeter 来控制地下水埋深及矿化度, 研究不同地下水埋深、矿化度变化及其两者的交互作用对多枝桤柳幼苗的影响, 期望阐明多枝桤柳幼苗对河岸生境变化的响应机制, 为荒漠河岸林更新与繁殖提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2010 年在阿克苏绿洲农田生态系统国家野外科学观测研究站(80°45'E, 40°27'N) 进行。该区属极端干旱性气候, 年均温 11.2 °C, 年均降水量 45.7 mm, 年均蒸发潜力 2 500 mm, 无霜期 207 d, 全年日照 2 940 h, 年均太阳辐射总量为 6 000 MJ/m²。

试验幼苗选择长势均一的 2 年生多枝桤柳幼苗, 移栽于内径 31.5 cm, 高 130 cm 的 PVC 盆中。供试土壤为粉砂壤土, 沙土比 1: 3, 田间持水量为 24%。试验设置 3 个不同的地下水埋深: W₁(-20cm), W₂(-60 cm), W₃(-100 cm); 设置 3 个矿化度: M₁(< 1.00 g/L) 淡水, M₂(1.0 ~ 3.0 g/L) 微咸水, M₃(3.0 ~ 10.0 g/L) 咸水, 不同地下水埋深、矿化度条件组合共 9 个处理(表 1)。每个处理设置 3 个重复, 共计栽植多枝桤柳 30 盆, 多枝桤柳幼苗生长正常 1 个月之后, 开始按试验设计进行地下水埋深、矿化度处理。开始处理后, 每天定时浇水, 通过简易 Lysimeter 方法(图 1) 控制地下水埋深; 每隔 5 d 浇一次不同矿化度的盐水, 矿化度处理时间 60 d。

表 1 不同地下水埋深、矿化度处理试验设计

项目	M ₁ 淡水(0.0 ~ 1.00 g/L)	M ₂ 微咸水(1.0 ~ 3.0 g/L)	M ₃ 咸水(3.0 ~ 10.0 g/L)
W ₁ (-20 cm)	W ₁ M ₁	W ₁ M ₂	W ₁ M ₃
W ₂ (-60 cm)	W ₂ M ₁	W ₂ M ₂	W ₂ M ₃
W ₃ (-100 cm)	W ₃ M ₁	W ₃ M ₂	W ₃ M ₃

1.2 光合及生长特征参数测定

处理期间, 选择晴天, 在自然 CO₂ 浓度处理下(约 375 μmol/mol), 用 Li-6400 光合作用仪(Li-COR, Inc, USA) 的人工光源(Li-6400-02B 红蓝光源) 测定多枝桤柳叶片的光响应曲线。气体流速控制为 0.5 L/min, 叶室温度由 Li-6400 温度控制器控制在 30 ±

0.5 °C。设定如下光合有效辐射(PAR); 0, 50, 100, 200, 400, 600, 800, 1 000, 1 200, 1 800, 2 500 μmol/(m² · s); 同时测定叶片净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)、胞间 CO₂ 浓度(C_i) 等参数变化, 并计算水分利用效率 WUE = P_n/T_r 及羧化速率 CE = P_n/C_i。

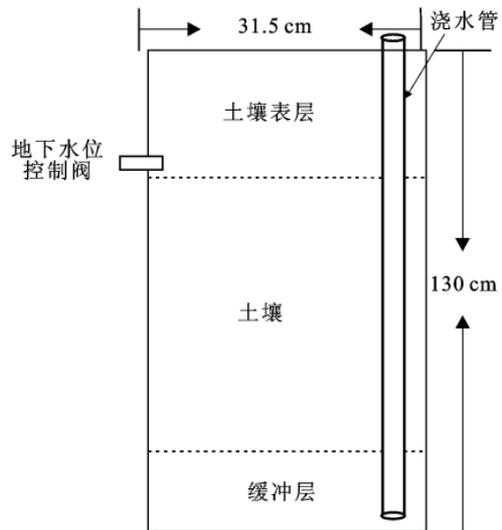


图 1 简易 Lysimeter 设计示意图

1.3 数据分析

描述光合速率对光合有效辐射 PAR 响应曲线(即 P_n—PAR 曲线) 的数学模型较多, 如二次多项式模型^[7]、指数模型^[8]、Michaelis—Menten 方程^[9]、直角双曲线模型^[10] 和非直角双曲线模型^[11]。经过对几种模型比较, 采用了非直角双曲线即 Farquhar 模型来分析多枝桤柳幼苗的光合特征。

$$P_n = \frac{\alpha I + P_{nmax} - \sqrt{(\alpha I + P_{nmax})^2 - 4\theta\alpha I P_{nmax}}}{2\theta} - R_d$$

式中: P_n——净光合速率; α——表观量子效率(AQY); I——光合有效辐射(PAR); P_{nmax} 为最大净光合速率; θ——光响应曲线的曲角; R_d——暗呼吸速率。

计算不同处理多枝桤柳幼苗叶片的 AQY, P_{nmax}, R_d 等光合参数。利用 PAR 在 0 ~ 200 μmol/(m² · s) 之间的净光合速率 P_n 对 PAR 做线性回归, 直线在 x 轴上的截距为光合作用光补偿点(LCP), 当 P_n = P_{nmax} 时的 I 值, 即为光合作用光饱和点(LSP) ^[12]。采用单因素方差分析, 用 LSD 法进行多重比较和差异显著性分析。采用 Excel 和 SPSS 13.0 统计软件进行数据分析和作图。

2 结果与讨论

2.1 不同地下水埋深、矿化度对多枝桤柳幼苗光合特征参数的影响

由表 2 可知,不同地下水埋深、矿化度对多枝桉柳幼苗的光合特征参数均有影响。在矿化度大于 3.0 g/L 的咸水处理下,地下水埋深分布为 20 和 60 cm 下的多枝桉柳的 P_{nmax} 分别为 66.93 和 46.57 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 大于地下水埋深 100 cm 的 39.44 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; 在矿化度 1.0~3.0 g/L 的微咸水处理下,地下水埋深 100 cm 处多枝桉柳幼苗的最大净光合速率低于地下位 20 cm 和 60 cm 的处理。由此可见,地下水埋深越浅可能

有利于多枝桉柳幼苗的生长, P_{nmax} 越大,说明多枝桉柳幼苗的光合能力越强,这有利于幼苗干物质的积累,为较高的物质产量的形成奠定了良好的生理基础。在地下水埋深 20 cm 条件下,咸水、微咸水处理的多枝桉柳幼苗的 P_{nmax} 分别为 66.93 和 58.87 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 均明显大于淡水处理的 40.83 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,说明在相同的地下水埋深条件下,矿化度越大,桉柳幼苗 P_{nmax} 越大。

表 2 不同地下水埋深、矿化度处理的光合特征参数

处理	最大净光合速率/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	表观量子效率/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2}$)	光补偿点/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	光饱和点/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	暗呼吸速率/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
IX (W ₁ M ₃)	66.93 ± 16.05 ^a	0.078 ± 0.004 ^{abc}	102.90 ± 21.37 ^{abc}	1119.67 ± 125.50 ^{ab}	8.82 ± 1.92 ^{abc}
VIII (W ₁ M ₂)	58.87 ± 19.76 ^a	0.12 ± 0.008 ^a	91.23 ± 19.55 ^{bc}	632.33 ± 86.56 ^{ab}	12.57 ± 1.85 ^a
I (W ₃ M ₁)	50.60 ± 14.55 ^a	0.11 ± 0.007 ^{ab}	92.97 ± 10.23 ^{abc}	612.33 ± 104.64 ^{ab}	12.17 ± 1.04 ^{ab}
V (W ₂ M ₂)	49.77 ± 11.54 ^a	0.030 ± 0.008 ^{bc}	156.30 ± 22.05 ^a	1358.00 ± 162.23 ^{ab}	5.75 ± 1.00 ^c
VI (W ₂ M ₃)	46.57 ± 16.86 ^a	0.089 ± 0.009 ^{abc}	77.53 ± 18.73 ^{bc}	634.67 ± 186.23 ^{ab}	8.15 ± 0.90 ^{abc}
II (W ₃ M ₂)	44.70 ± 13.42 ^a	0.044 ± 0.005 ^{bc}	65.87 ± 18.36 ^c	1549.33 ± 210.00 ^a	6.41 ± 1.68 ^{bc}
VII (W ₁ M ₁)	40.83 ± 15.96 ^a	0.064 ± 0.004 ^{abc}	76.43 ± 19.54 ^{bc}	817.00 ± 122.85 ^{ab}	5.77 ± 1.15 ^c
III (W ₃ M ₃)	39.44 ± 11.39 ^a	0.041 ± 0.003 ^{bc}	94.97 ± 15.64 ^{abc}	679 ± 103.72 ^{ab}	7.63 ± 1.82 ^{abc}
IV (W ₂ M ₁)	30.4 ± 11.10 ^a	0.026 ± 0.002 ^c	65.87 ± 15.45 ^c	523.67 ± 130.06 ^b	4.03 ± 0.69 ^c

注:不同上标字母分别表示差异显著($p < 0.05$)。下同。

通常光合作用—光响应曲线的斜率即表观光合量子效率(AQY),是光合作用中光能转化效率的指标之一^[12]。由表 2 和图 2 可知,在地下水埋深 20 cm,微咸水处理下,多枝桉柳幼苗的 AQY 值为 0.12 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$,大于地下水埋深 60 cm、淡水处理的 0.026 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$;淡水处理下,地下水埋深 100 cm 多枝桉柳幼苗的 AQY 值明显地($p < 0.05$)大于 60 cm 的多枝桉柳幼苗,表明地下水埋深的下降、矿化度的加大将影响多枝桉柳幼苗的 AQY。光补偿点 LCP 是植物利用弱光能力大小的重要指标,该值越小表明利用弱光的能力越强。光饱和点 LSP 是植物利用强光能力大小的指标,具有大 LSP 与低 LCP 的植物,对光的生态适应能力强。从试验结果来看,地下水埋深 100 cm 微咸水处理下的多枝桉柳幼苗的 LCP 值低于其它处理,而 LSP 值大于在其它处理,表明幼苗在地下水埋深 100 cm 微咸水处理下对光的生态适应能力强。

暗呼吸速率 R_d 太低说明植物在没有光照条件下的呼吸速率不同^[13]。试验中微咸水处理下,在地下水埋深 100 cm 下的多枝桉柳幼苗的暗呼吸速率 R_d 值和表观量子效率(AQY)显著小于 20 cm 处理,地下水埋深的升高($p < 0.05$)增大了 AQY 和 R_d ,而对 P_{nmax} , LSP, LCP 无显著($p > 0.05$)影响

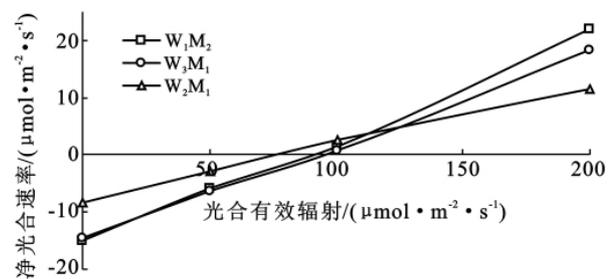


图 2 不同处理桉柳幼苗净光合速率在弱光区(光合有效辐射 $< 200 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)的线性拟合

2.2 不同地下水埋深、矿化度多枝桉柳幼苗光合特征随光合有效辐射的变化

由图 3a 可以发现(P_n —PAR 响应曲线),控制自然光强范围,多枝桉柳幼苗净光合速率 P_n 会随有效辐射 PAR 的上升呈增加趋势。在较低 PAR ($0 \sim 200 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$) 时,增幅加大,当 PAR 达到光饱和点时, P_n 曲线则渐趋平缓,出现光饱和现象。进一步比较同一地下位 20 cm,不同矿化度处理的结果表明,多枝桉柳幼苗 P_n 值的大小为:咸水 $>$ 微咸水 $>$ 淡水,表明在同一地下位时,多枝桉柳幼苗的叶片在弱光处理下对光强的变化敏感,随着测定光强度的增大,咸水处理下的幼苗叶片 P_n 仍然增加,而在微咸水、淡水处理下的幼苗则在较低 PAR 时就达到了光

饱和 P_n 不再增加。在相同的矿化度处理下的多枝桤柳幼苗 P_n —PAR 响应曲线变化趋势相似但是曲线间距离较远,说明多枝桤柳幼苗光能利用与地下水埋深有关。叶片水分利用效率 WUE、羧化速率 CE 均随 PAR 的增强而提高,这与光合速率随光强的变化一致(图 3e 图 3f)。而胞间 CO_2 浓度 C_i 的变化趋势却与之不同,PAR 在 $0 \sim 1\,000$ ($0 \sim 200 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$) 时,随光照强度的增大迅速变小; PAR 在 $1\,000 \sim 2\,500$ ($0 \sim 200 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$), C_i 曲线的变化较为平缓(图 3d)。分析其原因,可能是由于气孔导度 Cond 在生长前期增大的幅度较小,而光合速率不断升高使得 C_i 降低, CO_2 供应与光合速率不同步所致。随着光强对气孔的刺激加强而导致气孔开张增大, C_i 表现出上升趋势。随着 PAR 的不断增加,空气相对湿度降低,

增大了叶片与大气间的水势差,使蒸腾速率增加,叶片内的水势降低。

在相同的地下位不同矿化度处理下多枝桤柳幼苗对光强的适应性亦不同,在微咸水和咸水处理下,多枝桤柳幼苗受高光强刺激,气孔能很快打开,蒸腾速率快速增加,光合速率也迅速增加;但在淡水处理下,气孔导度 G_s 随光强增大变化平缓,说明淡水浇灌,土壤盐分含量低,多枝桤柳气孔的调节作用弱,出现光合速率对光强不敏感的现象。

在地下水埋深为 20 cm 时,多枝桤柳幼苗的 G_s , CE 和 P_n 对光强的响应程度大小顺序为: 咸水 > 微咸水 > 淡水; 地下水埋深 20 cm、咸水处理下的多枝桤柳幼苗的 P_n , G_s , WUE 和 CE 对光强的响应始终强于其它处理。

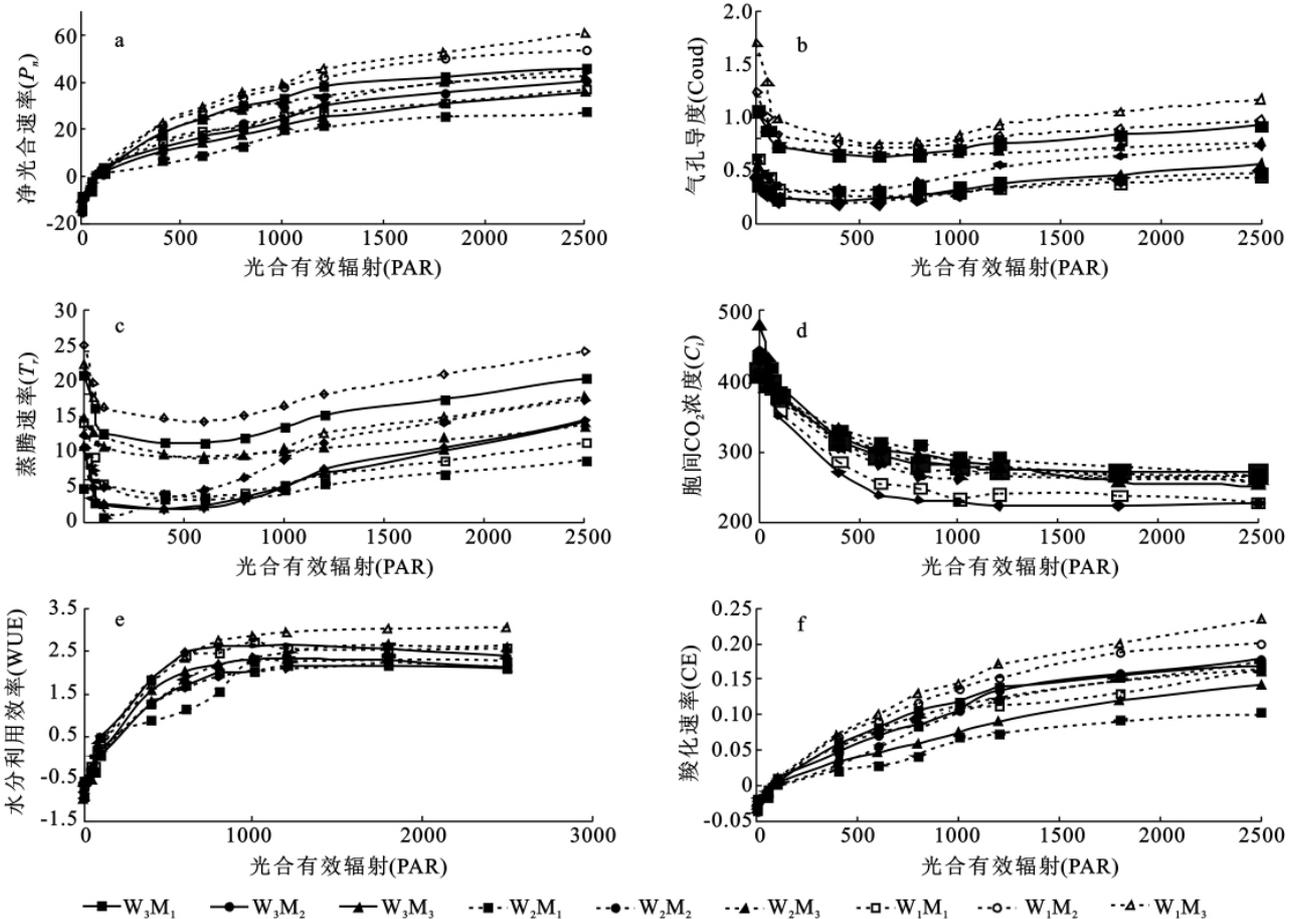


图 3 多枝桤柳幼苗净光合速率、蒸腾速率、气孔导度、胞间 CO_2 浓度、水分利用效率及羧化速率对不同光合有效辐射的响应

2.3 不同地下水埋深、矿化度处理对多枝桤柳幼苗生长的影响

由表 3 可知,处理前,多枝桤柳幼苗的株高、基径等生长特征参数基本一致,但处理 60 d 后,各处理桤柳幼苗的生长差异明显,其中株高差异显著 ($p < 0.05$)。相同的地下水埋深,微咸水变为咸水时,桤柳

幼苗株高均显著降低,咸水处理的株高比微咸水处理降低了 29.28%、31.44%、33.58%;在相同的矿化度条件下,地下水埋深对株高的影响不显著。在微咸水条件下,地下水埋深 100 cm 的桤柳幼苗基径明显高于地下水埋深 20 cm。地下水埋深 100 cm、微咸水条件下的桤柳幼苗的根生物量明显高于咸水条件。研

究结果表明,地下水埋深、矿化度对多枝桤柳幼苗株高、基径、根生物量均有影响。

处理 60 d 后,各处理的多枝桤柳幼苗茎、叶、总生物量和根冠比差异不显著,而多枝桤柳幼苗根生物量差异显著($p < 0.05$),在地下位 100 cm 时,咸水处理的根生物量比微咸水处理降低了 58.62%。与地下水埋深 20 cm,淡水处理下的幼苗相比,相同地下水埋深,矿化度由淡水处理变为微咸水处理和相同矿化度处理,地下水埋深下降到 60 cm 使幼苗的总生物量分别减少了 40.73% 和 35.58%,叶生物量分别减小了 53.14% 和 36.05%,茎生物量分别减小了 23.65% 和 24.33%,根生物量分别减小了 40.92% 和 43.70%。随着地下水埋深降低和矿化度加重,多枝桤柳幼苗地上和地下生物量积累的能力均降低,且地上

生物量降低幅度大于地下部分,表明多枝桤柳幼苗可以通过改变地上、地下生物量的分配,以适应地下水埋深及矿化度的变化,降低地下水埋深、矿化度变化可明显改变的幼苗生长。

通常根冠比能较好地反映植物地上与地下生长关系及植物对环境变化的适应特征。研究结果表明,地下水埋深及矿化度变化对多枝桤柳幼苗各器官生物量的影响会导致幼苗根冠比发生变化。处理 60 d 后,各处理的多枝桤柳幼苗根冠比无显著差异,在相同的地下水埋深,当微咸水变为咸水时,各处理的根冠比均有不同程度的降低;相同的矿化度处理,地下水埋深由 60 cm 降低到 100 cm 时,各处理的根冠比均有不同程度的降低。表明多枝桤柳幼苗可通过自我调节根冠比,以适应生境条件的变化。

表 3 地下水埋深、矿化度对多枝桤柳幼苗生长的影响

处理	株高/cm		基径/mm		处理 60 d 生物量/g				根冠比
	0 d	60 d	0 d	60 d	根	茎	叶	总计	
I (W ₃ M ₁)	62.3 ^a	119.6 ^{abcd}	6.3 ^a	16.7 ^{ab}	107.5 ^{ab}	96.8 ^a	153.0 ^a	357.3 ^a	0.43 ^a
II (W ₃ M ₂)	67.0 ^a	135.0 ^{ab}	7.5 ^a	19.8 ^a	145.4 ^a	112.4 ^a	150.7 ^a	408.7 ^a	0.55 ^a
III (W ₃ M ₃)	66.0 ^a	89.6 ^d	7.4 ^a	15.9 ^{ab}	60.1 ^b	63.4 ^a	122.0 ^a	245.7 ^a	0.32 ^a
IX (W ₁ M ₃)	78.6 ^a	129.0 ^{abc}	7.5 ^a	17.5 ^{ab}	157.3 ^a	127.1 ^a	178.1 ^a	462.6 ^a	0.52 ^a
V (W ₂ M ₂)	78.3 ^a	152.6 ^a	7.5 ^a	17.6 ^{ab}	132.8 ^{ab}	114.9 ^a	109.3 ^a	357.0 ^a	0.59 ^a
VI (W ₂ M ₃)	64.6 ^a	104.6 ^{bed}	6.4 ^a	14.8 ^{ab}	103.4 ^{ab}	91.4 ^a	97.5 ^a	292.4 ^a	0.55 ^a
VII (W ₁ M ₁)	60.0 ^a	117.6 ^{bed}	5.8 ^a	12.0 ^b	164.7 ^a	125.8 ^a	170.7 ^a	461.2 ^a	0.56 ^a
VIII (W ₁ M ₂)	61.3 ^a	134.3 ^{ab}	6.4 ^a	11.8 ^b	97.3 ^{ab}	96.1 ^a	80.0 ^a	273.4 ^a	0.55 ^a
IV (W ₂ M ₁)	53.3 ^a	95.0 ^{cd}	5.5 ^a	12.5 ^b	92.72 ^{ab}	95.25 ^a	109.19 ^a	297.17 ^a	0.45 ^a

3 结论

大量研究表明,干旱胁迫会导致植物的生长及生物量积累受到抑制^[14-15],而植物可通过提高水分利用效率^[14]、改变生物量在各器官之间的分配,进行自我调节以适应干旱的生境变化^[16]。本研究结果表明,地下水埋深 20 cm,咸水处理条件下,多枝桤柳幼苗各器官生物量显著大于其它处理,说明该地下水埋深、矿化度利于多枝桤柳幼苗生长及生物量的积累,同时多枝桤柳幼苗的 P_{nmax} 以及 P_n , G_s , WUE 和 CE 对光强的响应始终大于其它处理;咸水处理下,分布于地下水埋深 60 和 100 cm 的多枝桤柳幼苗 P_{nmax} , LSP, R_d 与 20 cm 相比有一定程度的降低,同时幼苗的株高、基径、生物量与 20 cm 处桤柳幼苗相比也有一定程度的降低,但多枝桤柳幼苗可通过改变根冠比、提高水分利用效率,以提高抗旱性;地下水埋深 100 cm 处的多枝桤柳幼苗根生物量只有地下水埋深 20 cm 的 38% 左右,多枝桤柳幼苗的自我调节能力减弱,幼苗

生长受到抑制,表明在咸水、地下水埋深为 100 cm 的处理下不适于多枝桤柳幼苗的生长。地下水埋深过低会影响多枝桤柳幼苗生长,株高和基径生长减缓,生物量积累减小,这可能是由于多枝桤柳幼苗根系缺水使幼苗叶片的净光合速率降低,从而抑制了幼苗的生长和生物量积累所致^[17]。通过进一步分析发现地下水埋深过低,水分的缺乏会抑制多枝桤柳幼苗的生长;矿化度增大,多枝桤柳幼苗净光合速率、气孔导度增大,蒸腾速率显著减小。综上所述,在地下水埋深 20 cm 以及 3.0 ~ 10.0 g/L 咸水的处理下多枝桤柳幼苗生态适应能力较强,幼苗能够迅速适应生境变化,从而获得生长竞争优势。

光合速率下降是非盐生植物对盐胁迫下的另一响应,但对光合速率下降的原因至今未明,特别是气孔的作用机理仍然不清楚。一般判定依据主要是叶片胞间 CO_2 浓度 (C_i) 和气孔导度 (G_s) 的变化方向,如果叶片胞间 CO_2 浓度随气孔导度降低而减小,说明净光合速率的下降是由气孔因素所致,若相反,则为

非气孔因素所致^[18]。本研究发现,持续 60 d 的盐处理后,在地下水埋深 20 cm 处,随着矿化度的增大,多枝桧柳幼苗净光合速率、气孔导度上升,而胞间 CO_2 浓度却下降,说明多枝桧柳幼苗净光合速率的下降主要是由非气孔因素引起的。在咸水处理下,多枝桧柳幼苗通过降低蒸腾速率,减小了由于质流所产生的离子危害作用,提高了自身的水分利用效率,说明多枝桧柳幼苗的水分利用效率提高是对盐分胁迫的一种主动调节适应。在微咸水处理下,幼苗光合速率、蒸腾速率及水分利用效率都显著减小,但其水分利用效率仍大于淡水处理,说明桧柳幼苗虽有主动调节作用,但矿化度对多枝桧柳幼苗光合的影响已无法通过幼苗自身的主动调节作用来弥补光合损失,对幼苗造成盐害。植物光补偿点和饱和点的高低直接反映了植物对光的利用能力^[19]。具有高光饱和点与低光补偿点的植物对光的生态适应能力强^[20]。矿化度处理使多枝桧柳幼苗的光饱和点降低,光补偿点增大。在地下位 20 cm 的处理下,随着矿化度的增大,多枝桧柳幼苗的 $P_{n\max}$ 和 LCP 均上升,而 AQY, LSP, R_d 的变化不大。 $P_{n\max}$ 以咸水处理最大,淡水处理最小;而 LCP 以淡水处理最小,咸水处理最大,表明在咸水处理下多枝桧柳幼苗叶片对光强的利用范围变窄,对光环境的适应能力变弱,但是多枝桧柳的光合作用增强。地下水埋深 100 cm、微咸水处理下多枝桧柳 LSP 大于其它处理,而 LCP 小于其它处理,说明 2 年生多枝桧柳幼苗在地下水埋深 100 cm 以及微咸水的处理下能有效地利用弱光及强光进行光合作用,对光的生态适应性强。有的研究表明,在一定的环境处理下叶片的 $P_{n\max}$ 表示了植物叶片的最大光合能力,而 $P_{n\max}$ 决定于 Rubisco 活性和电子传递速率^[21]。在本试验中不同地下水埋深引起的多枝桧柳 $P_{n\max}$ 和 AQY 下降,是否由于水分胁迫降低了 PS II 电子传递速率及叶肉细胞 Rubisco 活性,还有待于今后深入的研究。

[参 考 文 献]

- [1] 张元明,陈亚宁,张小雷. 塔里木河下游植物群落分布格局及其环境解释[J]. 地理学报, 2004, 59(6): 903-910.
- [2] 李菊艳,赵成义,孙栋元,等. 水分对胡杨幼苗光合及生长特性的影响[J]. 西北植物学报, 2009, 29(7): 1445-1451.
- [3] 李菊艳,赵成义,闫映宇,等. 盐分对胡杨幼苗生长及光合特性的影响[J]. 中国沙漠, 2010, 30(1): 80-86.
- [4] 王伟华,张希明,闫海龙,等. 盐处理对多枝桧柳光合作用和渗透物质的影响[J]. 干旱区研究, 2009, 26(4): 561-568.
- [5] 邓雄,李小明,张希明,等. 多枝桧柳气体交换特性研究[J]. 生态学报, 2003, 23(1): 180-187.
- [6] 曾凡江,郭海峰,刘波,等. 多枝桧柳和疏叶骆驼刺幼苗生物量分配及根系分布特征[J]. 干旱区地理, 2010, 33(1): 59-64.
- [7] 吴吉林,李永华,叶庆生. 美丽异木棉光合特性的研究[J]. 园艺学报, 2005, 32(6): 1061-1064.
- [8] Mohr H, Schopfer P. Plant Physiology [M]. Hong Kong: Springer-Verlag, 1995.
- [9] Bassman J B, Zwier J C. Gas exchange characteristics of *Populus trichocarpa*, *Populus deltoides* and *Populus trichocarpa* × *P. deltoides* clone [J]. Tree Physiology, 1991, 11(8): 145-149.
- [10] Wang T D. Light Use Ability of Plant and Mathematics Models: Process in Photosynthesis Research [M]. Beijing: Science Press, 1990: 128-211.
- [11] Farquhar G D, Von C S. Modeling of Photosynthetic Response to Environmental Conditions [M] // Lange O L, Nobel P S, Osmond C B, et al. Colopedia of Plant Physiology New Series. Berlin: Springer-Verlag, 1982.
- [12] 许大全. 光合作用效率 [M]. 上海: 上海科学技术出版, 2002.
- [13] Coley P D. Herbivory and defensive characteristics of tree species in a lowland tropical forest [J]. Ecological Monographs, 1983, 53(2): 209-233.
- [14] 王海珍,韩蕊莲,梁宗锁,等. 土壤干旱对辽东栎、大叶细裂槭幼苗生长及水分利用的影响[J]. 西北植物学报, 2003, 23(8): 1377-1382.
- [15] 李阳,齐曼·尤努斯,祝燕. 水分胁迫对大果沙枣光合特性及生物量分配的影响[J]. 西北植物学报, 2006, 26(12): 2493-2499.
- [16] 单长卷,郝文芳,梁宗锁,等. 不同土壤干旱程度对刺槐幼苗水分生理和生长指标的影响[J]. 西北农业学报, 2005, 14(2): 44-49.
- [17] 喻晓丽,郝雪颖,宋丽萍. 水分胁迫对火炬树幼苗生长和生理特性的影响[J]. 林业科学, 2007, 43(11): 57-61.
- [18] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis [J]. Annual Review of Plant Physiology, 1982, 33(2): 317-345.
- [19] 伍维模,李志军,罗青红,等. 土壤水分胁迫对胡杨、灰叶胡杨光合作用—光响应特性的影响[J]. 林业科学, 2007, 43(5): 30-35.
- [20] 马焕成,王沙生. 胡杨对渗透胁迫和盐分胁迫的不同响应[J]. 西南林学院学报, 1998, 18(1): 1-7.
- [21] Walting J R, Press M C, Quick W P. Elevated CO_2 induces biochemical and ultrastructural changes in leaves of the C4 cereal sorghum [J]. Plant Physiology, 2000, 123(3): 1143-1152.