

NaCl 胁迫对紫穗槐幼苗叶绿素荧光特征的影响

李 利¹, 韩张雄¹, 徐新文¹, 李 宏², 陈宝军³

(1. 中国科学院 新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011; 2. 新疆林业科学院, 新疆 乌鲁木齐 830000; 3. 新疆策勒县林业局, 新疆 策勒 848300)

摘 要:通过温室培养方式研究了 NaCl 胁迫对紫穗槐幼苗 PSII 叶绿素荧光特征的影响。结果表明:高浓度处理和延长盐分处理时间都导致紫穗槐幼苗叶片最大潜在量子产量 F_v/F_m 、光响应曲线中初始斜率 α 与最大电子传递速率的下降, PSII 活力的下降说明盐分胁迫, 尤其是高浓度长时间的盐分处理已经破坏了紫穗槐叶片的光系统 II 的结构, 引起光合潜力下降。尽管有一定的耐盐性, 但总体来说, 紫穗槐幼苗对盐分胁迫还是比较敏感。

关键词:紫穗槐; 叶绿素荧光; NaCl 胁迫; 观赏植物

中图分类号:S 793.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2011)02-0076-03

紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)原产美国, 现广布于我国华北、华东、中原、湖北、四川等省(区)。紫穗槐耐寒、耐旱、耐湿、抗风沙、抗逆性强, 在荒坡、道旁、河岸均可很好生长。近年来, 紫穗槐被作为观赏植物引种到新疆各地广泛种植。

新疆地处欧亚大陆的中部, 是典型的大陆性气候, 降雨稀少而蒸发强烈, 存在不同程度的盐渍化现象。光合作用是植物获取能量的主要方式, 盐分胁迫能够降低植物光合同化效率^[1], 影响到叶片光系统的活力^[2]。光系统II对多种环境胁迫和污染物胁迫反应敏感^[3-4], 一些研究显示, 盐分胁迫能够抑制植物 PSII 的活力^[5], 但也有些植物对盐分胁迫不敏感^[6], 因此, 盐分胁迫的影响因植物种的不同而存在差异^[7]。紫穗槐通过在液泡中积累无机离子或合成有机溶质等方式进行渗透调节以减轻和避免伤害^[8]。侯军铭等^[9]以沧州地区不同盐碱区域内(非盐、轻盐、中盐、重盐)4种植物为试验材料, 分析了不同盐碱区域内4种植物体内 Na^+ 、 Ca^{2+} 含量及在不同器官中的运输和分配特点, 评价认为紫穗槐耐盐能力低于怪柳。但是还缺乏关于紫穗槐叶片光系统 II 对盐分胁迫的响应研究。

调制叶绿素荧光技术可以快速测量样品 PSII 的量子产量, 根据量子产量和光合有效辐射 PAR(Photosynthetic Active Radiation)可以得出经过光系统 II 的相对电子传递速率(Relative electron transport rate, rETR)。

与光合放氧速率及 CO_2 同化速率类似, rETR 也是光合速率的一种表达方式, 它随光合有效辐射的变化曲线也是一种光响应曲线。利用这种方法, 即使光适应时间很短(如 10 s), 也可得出典型的光响应曲线, 这种快速测定的光响应曲线被称为快速光响应曲线(Rapid Light Curves)^[10]。快速光曲线具有测量时间短, 测量过程对样品的影响小, 更能反映样品的实际光合状态等优点^[11-12]。该试验利用叶绿素荧光技术研究紫穗槐幼苗叶片 PSII 对盐分胁迫的光响应特征, 以揭示盐分胁迫对树种叶片 PSII 的影响机制。

1 材料与方法

1.1 幼苗培养

2008 年 5 月上旬, 将紫穗槐播种在花盆内, 培养基质为河沙:草炭土:珍珠岩=6:2:1, 给予充足的水分。2 个月后将幼苗移栽到实验室内用石英砂进行水培, 给与 $500 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 的光照。每日浇 Holgland 营养液, 1 周后确认幼苗已经存活后, 开始进行盐分处理。处理以 NaCl 浓度 0、10、20、30 g/L, 为避免盐激, 盐分以每天 5 g/L 的速度逐渐增加, 直到 1 周后达到最高浓度。此后每天浇水, 以保持处理浓度前后的一致。每处理设 10 个重复。

1.2 叶绿素荧光测量

待植物 NaCl 处理 2 周和 1 个月时, 分别对植物幼苗进行叶绿素荧光参数测定(PAM-2100, 德国, WALZ 公司)。测量光为波峰在 650 nm 的红光, 强度约为 $0.1 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 饱和脉冲强度大于 $10\,000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 脉冲时间 0.8 s。快速光曲线的光合辐射通过内置卤素灯(8V/20W)提供。用强光激发最大荧光(F_m), 根据初始荧光量(F_o)、最大荧光产量(F_m)计算可变荧光产量 F_v ($F_v = F_m - F_o$)、PSII 最大光化学量子效率(F_v/F_m)、PSII 潜在活性(F_v/F_o)。根据公式 $\text{ETR} = [(F_m' - F_t)/F_m'] \times \text{PAR}$ 计算光合电子传递速

第一作者简介:李利(1969-), 女, 博士, 助理研究员, 现从事植物逆境生理方面的研究工作。E-mail: hillwill@163.com

基金项目:科技部(国家重点基础研究发展规划)资助项目(2006CB705809); 林业公益性行业科研专项资助项目(201004085)。

收稿日期:2010-10-25

率 ETR。

1.3 拟合方法

曲线拟合用 Platt 等^[13] 公式 $P = P_m \cdot (1 - \exp(-\alpha \cdot PAR/P_m)) \cdot \exp(-\beta \cdot PAR/P_m)$ 拟合曲线, 其中 P_m 代表最大潜在相对电子传递速率, α 是快速光曲线的初始斜率, β 是光抑制参数, 在无光抑制时该公式变为 $P = P_m \cdot (1 - \exp(-\alpha \cdot PAR/P_m))$ 。曲线拟合用 Sigmaplot 10.0 软件进行。

2 结果与分析

2.1 NaCl 胁迫对潜在量子产量的影响

紫穗槐幼苗的 PSII 潜在量子产量 (F_v/F_m) 随处理盐分浓度的升高而降低, 并且盐分处理时间越长下降越多。在盐分处理 15 d 时, 紫穗槐幼苗的在低于 20 g/L NaCl 处理时下降不明显, 当处理浓度超过 20 g/L 时有显著下降; 盐分处理 30 d 时, 在 5 g/L 时 F_v/F_m 有明显下降, 当处理浓度达到 20 g/L 时, F_v/F_m 比控制降低了 25% (图 1)。

2.2 NaCl 胁迫对光响应曲线的影响

最大光合效率随盐分处理浓度升高而降低, 但也受到盐分处理时间的影响, 盐分处理的时间越长最大光合

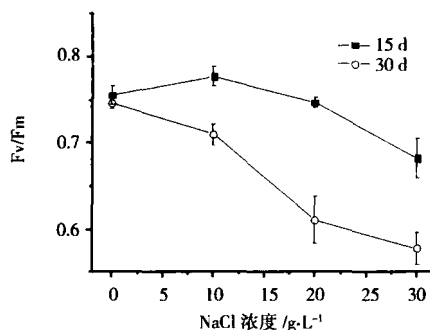


图1 紫穗槐幼苗在盐分胁迫 15 d 和 30 d 时的最大潜在量子产量

注: 每一个点是 10 个重复的平均, 小短线代表标准误差, 下同。

效率越低 (图 2)。盐分处理 15 d 时, 低浓度 NaCl 处理对紫穗槐叶片的光响应能力有轻微的促进作用, 但高浓度 (大于 20 g/L NaCl) 处理, 则显著降低了最大光合效率 (图 2-A); 盐分处理 30 d 时, 最大光合效率随处理盐浓度升高显著下降, 30 g/L NaCl 时最大光合效率仅有控制时的 36%。初始斜率也显示出与最大光合效率相似的变化趋势 (图 2-B)。

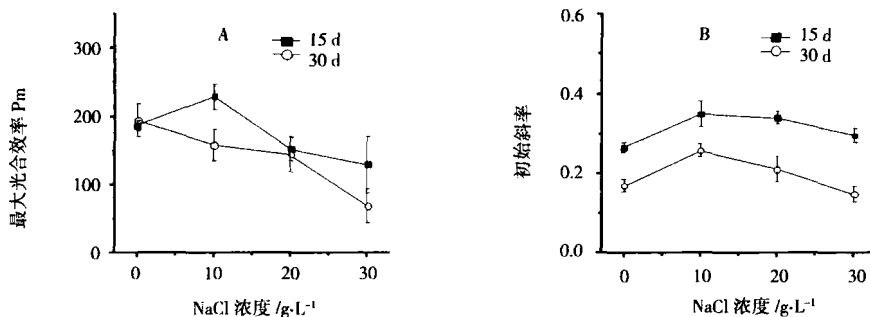


图2 不同 NaCl 处理浓度下模拟的初始斜率和最大光合效率

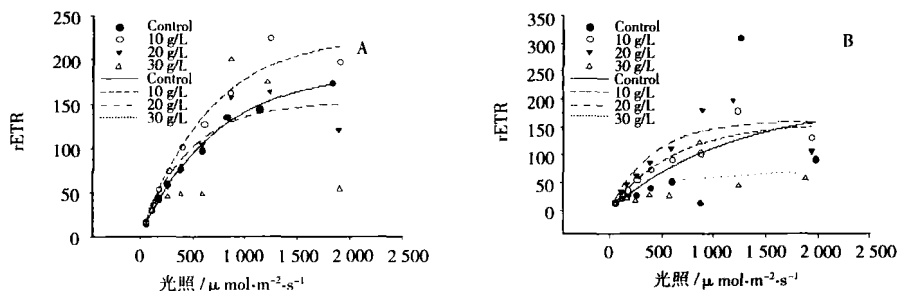


图3 紫穗槐幼苗在 NaCl 胁迫 15 d(A) 和 30 d(B) 时快速光曲线的拟合

3 讨论

光系统是对胁迫最敏感的部位, 叶绿素荧光技术可以在线、无损地探测 PSII 的响应^[14]。 F_v/F_m 表示暗适应一定时间后, 反应中心完全开放, 此时潜在最大量子产量的降低在一定程度上反映了植物受胁迫的程度^[15], F_v/F_m 曾被用作比较 *Populus alba* 无性系内不同种类耐盐性的指标^[16]。结果显示, 高浓度处理和延长盐

分处理时间都导致紫穗槐幼苗叶片 F_v/F_m 的下降, 说明盐分胁迫, 尤其是高浓度长时间的盐分处理已经破坏了紫穗槐叶片的光系统 II 的结构, 引起光合潜力下降。这一结果与惠红霞等^[17] 在枸杞的耐盐能力研究的结果一致, 但魏国强等^[5] 在 NaCl 胁迫下黄瓜幼苗的研究中则发现 F_v/F_m 并没有随盐分浓度升高而发生变化。

PSII 光合电子传递速率与光合有效辐射 (PAR) 所得到的光响应曲线反映了植物叶片对光照的适应能

力^[18-19]。最大电子传递速率随处理盐分浓度升高而下降,显示高盐胁迫降低了紫穗槐幼苗叶片的光合能力,而盐分处理时间的延长也进一步加强了盐分胁迫对光合的抑制作用。初始斜率 α 与最大电子传递速率的相似性变化也显示高浓度和较长时间的盐分处理抑制了紫穗槐幼苗的光合作用,降低了叶片的光适应能力。盐分胁迫能够降低植物的 PSII 活力^[17],但是一些盐生植物的光合系统并没有受到盐分胁迫的影响^[20-21],盐分胁迫对 PSII 的影响因植物种而不同^[7]。紫穗槐幼苗尽管有一定的耐盐性,但总体来说,对盐分胁迫还是比较敏感,高浓度和长时间的盐分胁迫都导致紫穗槐幼苗叶片 PSII 活力的下降。

盐胁迫对光合作用的影响是一个复杂的问题,研究结果存在差异。这可能与盐分胁迫的复杂机制有关,也与试验中所用的植物材料及植物所处的生育期不同有关。植物光系统 II 对盐分胁迫的响应还需要更多的研究。

参考文献

- [1] WANG L W, Showalter A M, Ungar I A. Effects of intraspecific competition on growth and photosynthesis of *Atriplex prostrata* [J]. Aquatic Botany, 2005, 83: 187-192.
- [2] QIU N, Lu Q, LU C. Photosynthesis, photosystem II efficiency and the xanthophyll cycle in the salt-adapted halophyte *Atriplex centralasiatica* [J]. New Phytologist, 2003, 159: 479-486.
- [3] Rapacz M, Woźniczka A. A selection tool for freezing tolerance in common wheat using the fast chlorophyll a fluorescence transient [J]. Plant Breeding, 2009, 128: 227-234.
- [4] Hermans C, Smeyers M, Rodriguez R M, et al. Quality assessment of urban trees: a comparative study of physiological characterization, airborne imaging and on site fluorescence monitoring by the OJIP-test [J]. Journal of Plant Physiology, 2003, 160: 81-90.
- [5] 魏国强,朱祝军,方学智,等. NaCl 胁迫对不同品种黄瓜幼苗生长、叶绿素荧光特性和活性氧代谢的影响 [J]. 中国农业科学, 2004, 37: 1754-1759.
- [6] LU C, QIU N, WANG B, et al. Salinity treatment shows no effects on photosystem II photochemistry, but increases the resistance of photosystem II to heat stress in halophyte *Suaeda salsa* [J]. Journal of Experimental Botany, 2003, 54: 851-860.
- [7] GONG H, TANG Y, WANG J, et al. Characterization of photosystem II in salt-stressed cyanobacterial *Spirulina platensis* cells [J]. Biochimica et Biophysica Acta, 2008, 1777: 488-495.
- [8] 闫永庆,朱虹,刘兴亮,等. 盐胁迫对紫穗槐生长发育及生理特性的影响 [J]. 东北农业大学学报, 2008, 39(12): 31-35.
- [9] 侯军铭,梁海水,王颖,等. 不同盐碱区白榆、白蜡、紫穗槐、怪柳体内离子分布特征 [J]. 中国农学通报, 2009, 25(9): 277-281.
- [10] White A J, Critchley C. Rapid light curves: A new fluorescence method to assess the state of the photosynthetic apparatus [J]. Photosynthesis Research, 1999, 59: 63-72.
- [11] 韩志国,雷腊梅,韩博平. 角毛藻光合作用对连续强光照的响应 [J]. 热带亚热带植物学报, 2006, 14: 7-13.
- [12] 邓培雁,刘威,韩博平. 宝山堇菜 (*Viola baoshanensis*) 盐胁迫下的光合作用 [J]. 生态学报, 2007, 27: 1858-1862.
- [13] Platt G C L, Harrison W G. Photoinhibition of photosynthesis in natural assemblages of marine phytoplankton [J]. Journal of Marine Research, 1980, 38: 687-701.
- [14] Strasser R J, Srivastava A, Tsimilli-Michael M. The fluorescent transient as a tool to characterise and screen photosynthetic samples. In: Yunus M, Pathre U, Mohanty P. (Eds.), Probing Photosynthesis: Mechanisms, Regulation and Adaptation [M]. Taylor and Francis, London, 2000: 445-483.
- [15] Megdiche W, Hessini K, Gharbi F, et al. Photosynthesis and photosystem 2 efficiency of two salt-adapted halophytic seashore *Cakile maritime* ecotypes [J]. Photosynthetica, 2008, 46: 410-419.
- [16] Sixto H, Aranda I, Grau J M. Assessment of salt tolerance in *Populus alba* clones using chlorophyll fluorescence [J]. Photosynthetica, 2006, 44: 169-173.
- [17] 惠红霞,许兴,李前荣. NaCl 胁迫对枸杞叶片甜菜碱、叶绿素荧光及叶绿素含量的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2004, 22: 109-113.
- [18] 韩志国,欧阳昊,林炯,等. 蛋白核小球藻光驯化的快速光曲线变化 [J]. 生态科学, 2006, 25: 32-33.
- [19] Ralph P J, Gademann R. Rapid light curves: A powerful tool to assess photosynthetic activity [J]. Aquatic Botany, 2005, 82: 222-237.
- [20] LU C, JIANG G, WANG B, et al. Photosystem II photochemistry and photosynthetic pigment composition in salt-adapted halophyte *Artemisia anethifolia* grown under outdoor conditions [J]. Journal of Plant Physiology, 2003, 160: 403-408.
- [21] Redondo-Gómez S, Mateos-Naranjo E, Davy A, et al. Growth and photosynthetic responses to salinity of the salt-marsh shrub *Atriplex portulacoides* [J]. Annals of Botany, 2007, 100: 555-563.

Effect of NaCl on Chlorophyll Fluorescence Characteristics of Seedlings in *Amorpha fruticosa*

LI Li¹, HAN Zhang-xiong¹, XU Xin-wen¹, LI Hong², CHE Bao-jun³

(1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Science Academy of China, Urumqi, Xinjiang 830011; 2. Xinjiang Forestry Academy, Urumqi, Xinjiang 830000; 3. Cele Forestry Bureau in Xinjiang, Cele, Xinjiang 848300)

Abstract: Effect of NaCl on chlorophyll fluorescence characteristics of seedlings in *Amorpha fruticosa* was investigated by an experiment carried out in greenhouse. The maximum quantum yield (Fv/Fm), the initial slope (α) and the maximum electron transfer rate (Pm) decreased with the NaCl concentration increasing. The 30-day treatment in NaCl solution caused more decline in Fv/Fm than the 15-day treatment. It suggested that high salinity and long period exposed to salt environment inhibited the activity of PSII, resulting in the decrease of the adaptation to light. It was concluded that *Amorpha fruticosa* can be tolerant to the moderate salt concentration but was sensitive to high salinity.

Key words: *Amorpha fruticosa*; chlorophyll fluorescence; NaCl stress; rapid light curve