

文章编号: 1001-1498(2008)04-0566-05

脱水胁迫对梭梭和胡杨苗叶绿素荧光特性的影响

施 征¹, 史胜青^{2,3}, 肖文发², 齐力旺^{3*}

(1. 北京林业大学生物科学与技术学院, 北京 100083; 2. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 北京 100091;

3. 中国林业科学研究院林业研究所细胞生物学实验室, 北京 100091)

摘要:应用 MAGNG-PAM 荧光仪测定了离体脱水胁迫不同时期梭梭和胡杨的叶绿素荧光动力学参数。结果表明: 离体胁迫初期 (3 h) F_v/F_m 、 qP 和 ETR 轻微降低, 但胡杨的降低幅度比梭梭大; 而此时 qN 却明显增加, 胡杨的增加幅度远大于梭梭。随着离体时间的延长 (6、12 h), 胡杨的 F_v/F_m 、 qP 和 ETR 明显降低, 梭梭的降低幅度仍相对较小; 而此时 qN 呈降低趋势, 梭梭低于对照水平, 而胡杨仍旧高于对照。这也说明遭遇不同程度胁迫时, 梭梭和胡杨启动了不同的过剩光能防御机制。

关键词:梭梭; 胡杨; 脱水胁迫; 叶绿素荧光

中图分类号: Q945. 11

文献标识码: A

Influence of Dehydration on Characteristics of Chlorophyll Fluorescence of Detached Leaves in *Haloxylon ammodendron* and *Populus euphratica*

SHI Zheng¹, SHI Sheng-qing^{2,3}, XIAO Wen-fa², QI Li-wang³

(1. College of Biological Sciences and Biotechnology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Research Institute of Forest,

Environment and Ecology Protection, CAF, Beijing 100091, China; 3. Group of Trees Cell Biology,

Research Institute of Forestry, CAF, Beijing 100091, China)

Abstract: *Haloxylon ammodendron* and *Populus euphratica* are the dominant tree species that prevent desertification in northwest China. The parameters of chlorophyll a fluorescence kinetics were measured with MAGNG-PAM in the leaves of the two tree species during different detached time. The results showed that F_v/F_m , qP and ETR had a slight decrease, however, qN had a significant increase in the initial stage of detached stress. With the extension of detached time, F_v/F_m , qP and ETR of *P. euphratica* decreased dramatically compared to that of *H. ammodendron*. At these times, qN of *H. ammodendron* was also lower than that in the control, but that of *P. euphratica* was still higher than in the control, which demonstrated that these two desert tree species initiate different mechanism of enhanced non-photochemical energy dissipation.

Key words: *Haloxylon ammodendron*; *Populus euphratica*; dehydration; chlorophyll fluorescence

沙漠地区是地球上最为恶劣的生态环境之一, 它往往聚合干旱、高温、低温或高盐等多种胁迫因子^[1]。目前沙漠化已使全球 25% 的陆地环境受到影响^[2], 严重地影响植物的生长和产量, 甚至威胁着

人类自身的生存^[1]。由于沙生乔、灌木表现出很强的旱生能力, 已成为沙漠地区植被恢复的主要树种, 同时也越来越受到植物育种学家的重视。因此, 开展极端生境下生存植物的抗逆机理研究以及它们的

收稿日期: 2007-10-13

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划 (2006BAD01A1606) 和中国博士后科学基金资助项目 (20070410579)

作者简介: 施征 (1976—), 博士, 主要研究方向: 植物抗逆生理生化。Email: sz481@126.com

*通讯作者: 齐力旺, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要研究方向: 林木生物技术与体细胞胚胎发生。Email: lwqi@caf.ac.cn

开发和利用显得越来越重要。近 20 年来,有关拟南芥抗逆(干旱、高盐、高温和低温等)生理、生化的研究较多^[3-4]。拟南芥作为一种模式植物,为研究人员开展植物逆境机理研究提供了极大的方便,因极端生境条件下生长的植物在长期自然选择过程中形成了独特的抗逆机制^[4]。

梭梭(*Haloxylon ammodendron* (C. A. Mey.) Bunge)和胡杨(*Populus euphratica* Oliv.)是西北地区防治沙漠化的主要植被。梭梭是藜科(Chenopodiaceae)落叶灌木,其叶退化成鳞片状,通过同化枝进行光合作用^[5-6]。胡杨是杨柳科(Salicaceae)落叶乔木,其叶有多种形状,能忍受荒漠中干旱,对盐碱有极强的忍耐力^[7-8]。目前,有关梭梭^[6,9]和胡杨^[10]光合特性的研究较多,然而,胁迫环境下二者的光合特性比较研究还未见报道。本研究以梭梭和胡杨为试验材料,研究二者在离体脱水胁迫条件下叶绿素荧光特性的变化,初步揭示它们在适应西北干旱荒漠环境过程中光合性能的差异,为进一步研究这两种重要沙漠灌木的抗逆机理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料处理

梭梭和胡杨是在中国林科院内本实验室正常培养的 2 年生幼苗。2005 年 8 月上旬上午 8:00 取梭梭和胡杨的叶片(或同化枝),在培养室内进行离体干旱胁迫处理 0、1、3、6、12 h,处理 0 h 作为对照。培养室内白天最高温度为 25℃,夜间最低温度为 18℃,光周期为 14/10 h,空气湿度最大为 36%,最小为 25%。

1.2 叶片持水能力测定

采用烘干法测定不同离体时间的叶片含水量。取回叶片后立即测定叶片的鲜质量(V_f),记录从第 1 次称质量及以后不同离体脱水时间时测定的叶片质量(V_t),直到叶片基本恒质量后,将叶片烘干并称质量(V_d),每个样品重复 3 次。以总含水量减去不同离体时间散失水分的百分比为叶片的持水能力,计算公式为:

$$\text{持水能力} = (V_t - V_d) / (V_f - V_d) \times 100\%$$

1.3 叶绿素荧光参数测定

应用 MAGNG-PAM 荧光仪(Walz EffeItrich Germany)测定叶绿素荧光参数:PSII原初光能转换效率(F_v/F_m)、光化学淬灭系数(qP)、非光化学淬

灭系数(qN)和表观电子传递速率(ETR),各参数数值均是在选定模式下系统自动计算生成。在培养室内日光灯照明条件下,取生长正常的叶片离体处理 0、1、3、6、12 h。测定前,叶片暗适应 15 min,每个处理测定 3 个叶片,每个叶片按从上到下测定 6~8 个点,所有操作均在背景光强低于 $1 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 的环境中进行。仪器的饱和脉冲光的强度为 $2400 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,作用光强度均设为默认值 $79 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,测量光低于 $0.5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

1.4 数据处理

应用 Microsoft Excel 计算 3 次测定结果的平均值; qP 、 qN 、 ETR 动态曲线中各点均为 3 次测定结果的平均值,根据动态曲线达到稳态平衡后的最后 3 个点的平均值,计算 qP 、 qN 、 ETR 参数降低百分率。

2 结果与分析

2.1 离体脱水胁迫下梭梭和胡杨叶片持水能力的变化

离体脱水胁迫引起梭梭和胡杨叶片持水能力的明显变化(图 1)。从离体 3 h 开始,胡杨叶片持水能力明显低于梭梭并随着离体时间的延长,胡杨的下降趋势非常明显。离体 24 h 时,胡杨叶部的含水量达到最低,为 $54 \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,而梭梭此时的含水量仍达 $532 \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。当离体 60 h 时,梭梭叶片仍保持 $125 \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的持水能力。这说明在严重水分胁迫条件下,梭梭可能比胡杨更能适应恶劣的沙漠环境。

2.2 离体脱水胁迫下梭梭和胡杨叶片 F_v/F_m 的变化

植物 PSII 原初光化学效率(F_v/F_m)反映的是逆境胁迫下植物的光抑制情况^[6]。图 2 表明:在正常条件下,胡杨和梭梭的 F_v/F_m 分别为 0.851 和 0.798,前者比后者高 6.2%。随着离体时间的延长,胡杨的 F_v/F_m 逐渐降低;当离体 6 h 时,胡杨的 F_v/F_m 开始低于梭梭;离体 12 h,胡杨 F_v/F_m 比对照降低了 12.8%;而梭梭在整个离体过程中 F_v/F_m 没有发生明显变化。在轻度水分胁迫发生时,胡杨有较高的光合电子传递活性,其光合器官能把所捕获的光能较充分并较高效地转化为生物化学能;但是,发生严重脱水时,梭梭能够保持较强的光合电子传递活性,说明它更能适应干旱的沙漠环境^[6,9]。

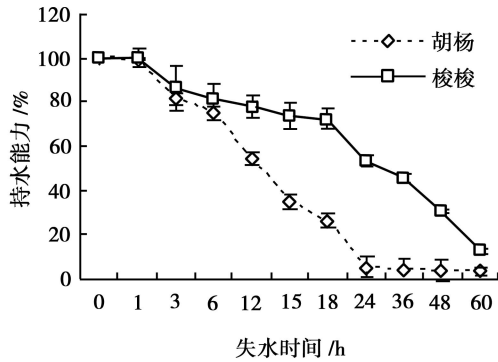


图 1 离体脱水胁迫下梭梭和胡杨叶片持水能力的变化

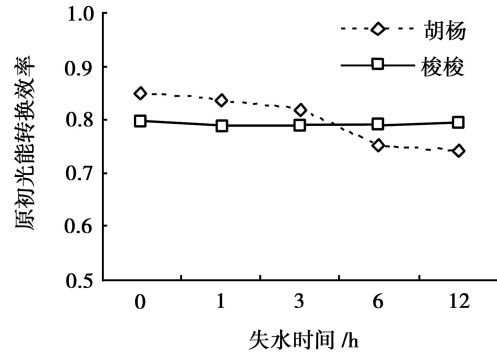


图 2 离体脱水胁迫下梭梭和胡杨叶片 PSII 原初光能转换效率 (F_v/F_m) 的变化

2.3 离体脱水胁迫下梭梭和胡杨叶片 qP 的变化

叶绿素荧光淬灭是叶绿体耗散能量的一种途径,光化学淬灭系数 (qP) 反映 PSII 所捕获的光量子转化成化学能的效率^[11]。离体脱水胁迫发生时,梭梭和胡杨的 qP 均降低 (图 3)。与对照相比,离体 3 h 时梭梭和胡杨的 qP 的变化幅度不大,分别下降了 2.4% 和

4.2%。随着离体时间的延长,胡杨 qP 急剧降低,而梭梭仍旧变化幅度较小。离体 12 h 时,胡杨的 qP 下降了 56.1%,而梭梭仅下降了 16.9%。这说明梭梭 PSII 所捕获的光量子转化成化学能的效率受脱水胁迫的影响较胡杨小,表明干旱胁迫发生时梭梭通过光化学淬灭转换光能的作用明显高于胡杨。

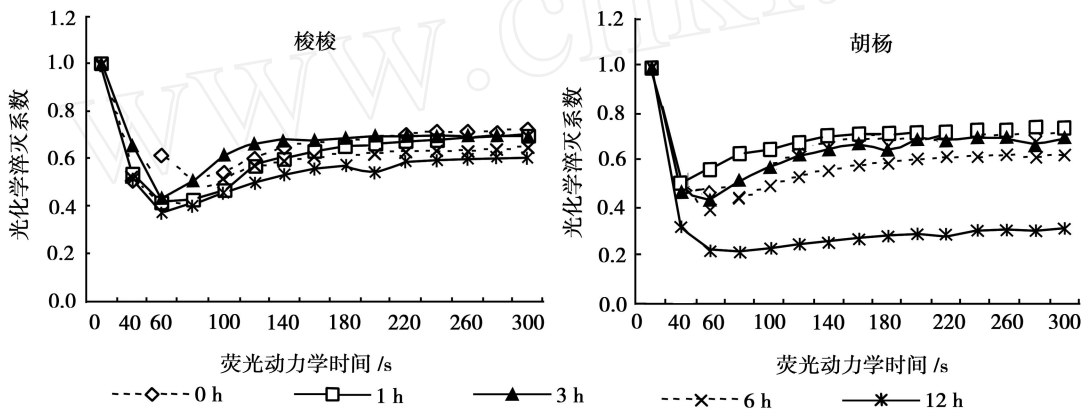


图 3 离体脱水胁迫对梭梭和胡杨叶片光化学淬灭系数 (qP) 的影响

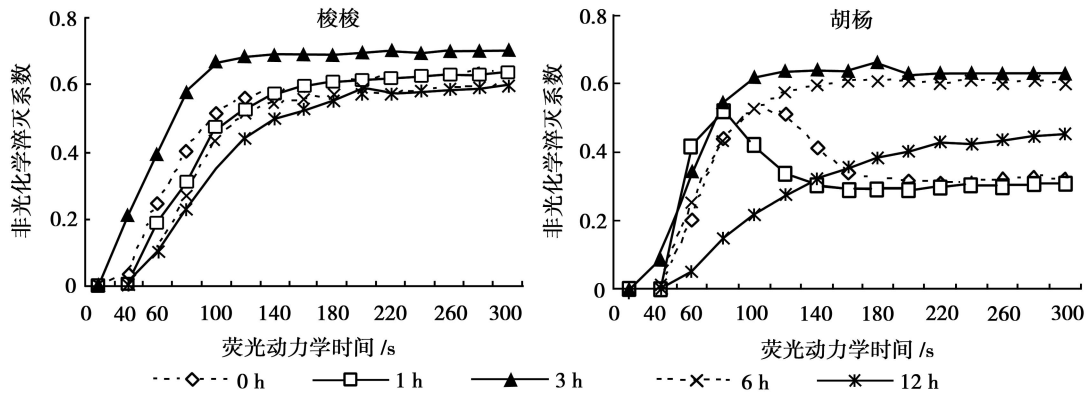
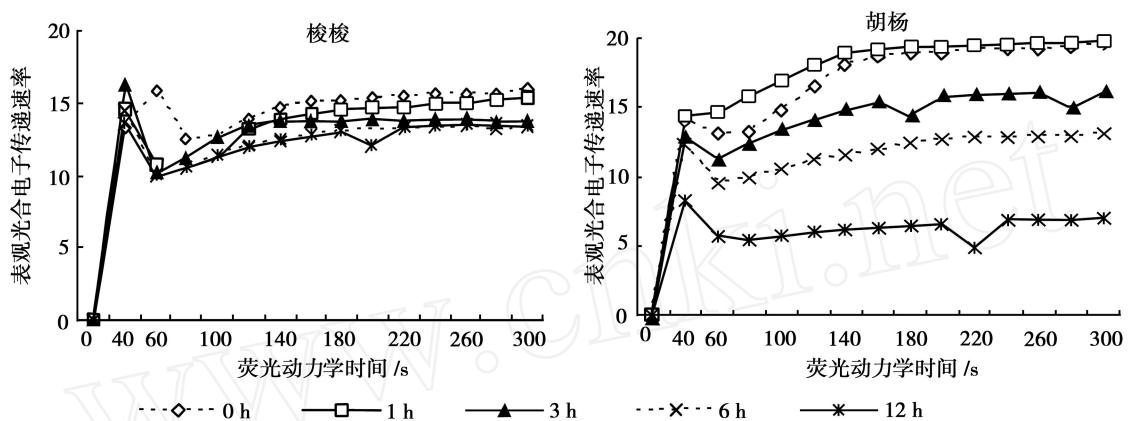
2.4 离体脱水胁迫下梭梭和胡杨叶片 qN 的变化

非光化学淬灭系数 (qN) 反映 PSII 天线色素吸收的光能以热的形式耗散的那部分光能^[11]。离体脱水胁迫发生时梭梭和胡杨的 qN 的变化趋势 (图 4) 与 qP 不同。与对照相比,离体 1 h,梭梭和胡杨的 qN 没有明显变化;离体 3 h 时,梭梭和胡杨的 qN 均增加,分别比对照增加了 10.7% 和 97.1%,胡杨的增加幅度明显大于梭梭;随后,二者的 qN 呈现降低趋势,胡杨的 qN 一直明显高于对照,而梭梭降低到低于对照水平;但是梭梭的降低幅度较小,离体 12 h 时仅比对照低 16.4%。这表明严重胁迫发生时,胡杨和梭梭对过剩光能

的耗散机制可能不同,也可能是离体 12 h 并未对梭梭的光合器官 PSII 造成明显的影响。

2.5 离体脱水胁迫下梭梭和胡杨叶片 ETR 的变化

PSII 的非循环电子传递速率 (ETR) 反映实际光强条件下的表观电子传递效率^[10]。离体胁迫引起胡杨和梭梭 ETR 的降低 (图 5)。在整个离体胁迫过程中,胡杨的 ETR 急剧降低,而梭梭的降低幅度相对较小。与对照相比,离体 12 h 时胡杨的 ETR 降低了 64.4%,而梭梭仅降低了 15.3%。 ETR 与植物光合速率有很强的线性关系,也是表征植物光合能力高低的变量^[12],这说明在严重脱水情况下,梭梭仍比胡杨有较高的光合能力。

图 4 离体脱水胁迫对梭梭和胡杨叶片非光化学淬灭系数 (q_N) 的影响图 5 离体脱水胁迫对梭梭和胡杨叶片表观电子传递速率 (ETR) 的影响

3 结论与讨论

叶绿素荧光动力学反应的是光合作用“内在性”的特点^[10],能快速灵敏地反映植物生理状态及其与环境的关系。本研究表明,离体胁迫对梭梭和胡杨的叶绿素荧光特性的影响明显不同,从所测荧光参数看,离体脱水胁迫对梭梭的影响相对较小。梭梭有很强的保水能力,梭梭离体 12 h 和胡杨离体 6 h 的持水能力基本相当,分别是 78.0% 和 74.9%,但梭梭的 F_v/F_m 、 q_P 和 ETR 的降低幅度明显低于胡杨。脱水胁迫发生时,梭梭 PSII 仍具有较强的光合电子传递活性,没有发生光抑制或较低^[6,9],并且可能能够保持较高的光合能力^[12]。另一方面,植物吸收光能后将剩余的大部分激发能以热的形式耗散掉^[6]。脱水胁迫引起光化学效率降低,捕获的光能超过其光合作用所需要的能量,因此过多的激发能会以非光化学淬灭 (q_N) 的形式耗散掉,以保护光合器官免受破坏^[12]。离体脱水胁迫初期 (3 h),与对照相比,梭梭和胡杨的 q_N 增加,但胡杨增加的幅度

明显高于梭梭,说明二者在胁迫初期都可能启动了叶黄素循环来防止过刺激能对光合机构的破坏^[13]。离体 6 h 和 12 h,梭梭的 q_N 低于对照,而胡杨仍高于对照,这可能说明严重脱水胁迫发生时梭梭启动了其它的过剩能量的耗散机制。

本研究仅在离体脱水条件下分析了梭梭和胡杨荧光特性的变化,认为梭梭比胡杨更能适应干旱、高温的沙漠环境。尽管该方法能够较好地反映树木遭遇干旱胁迫时抗旱能力的强弱^[14],但是植物的离体脱水胁迫与整株的水分胁迫仍存在着一定的差别,因此,今后将研究梭梭和胡杨与非旱生植物在土壤栽培条件下不同干旱处理幼苗的叶绿素荧光变化,以进一步阐明它们能够适应西北干旱荒漠区的生理机制。

参考文献:

- [1] Ottow EA, Brinker M, Teichmann T, et al. *Populus euphratica* displays apoplastic sodium accumulation, osmotic adjustment by decreases in calcium and soluble carbohydrates, and develops leaf succu-

- lence under salt stress [J]. *Plant Physiology*, 2005, 139: 1762 - 1772
- [2] Sheng Y, Zheng W, Pei K, *et al*. Genetic variation within and among populations of a dominant desert tree *Haloxylon ammodendron* (Amaranthaceae) in China [J]. *Annals of Botany*, 2005, 96: 245 - 252
- [3] Shinozaki K, Yamaguchi - Shinozaki K. Gene expression and signal transduction in water-stress response [J]. *Plant Physiology*, 1997, 115: 327 - 334
- [4] Zhu J K. Plant salt tolerance [J]. *Trends in Plant Science*, 2001, 2: 66 - 71
- [5] Pyankov V I, Black jr C C, Artyusheva E G, *et al*. Features of photosynthesis in *Haloxylon* species of Chenopodiaceae that are dominant plants in Central Asia desert [J]. *Plant Cell Physiology*, 1999, 40: 125 - 134
- [6] 苏培玺, 严巧娣. C4 荒漠植物梭梭和沙拐枣在不同水分条件下的光合作用特征 [J]. *生态学报*, 2006, 26 (1): 75 - 82
- [7] 谷瑞升, 蒋湘宁. 胡杨细胞和组织结构与其耐盐性关系的研究 [J]. *植物学报*, 1999, 41 (6): 576 - 579
- [8] 陈少良. 胡杨抗盐性的生理生化基础 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2004
- [9] 赵长明, 魏小平, 尉秋实, 等. 民勤绿洲荒漠过渡带植物白刺和梭梭光合特性 [J]. *生态学报*, 2005, 25 (8): 1908 - 1913
- [10] 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 [J]. *西北植物学报*, 2006, 26 (5): 983 - 988
- [11] Gilmore A M, Yamamoto H Y. Zeaxanthin formation and energy dependent fluorescence quenching in pea chloroplasts [J]. *Plant Physiology*, 1996, 96: 636 - 643
- [12] Michal K. On the relation between the non-photochemical quenching of chlorophyll fluorescence and photosystem II light harvesting efficiency. A repetitive flash fluorescence induction study [J]. *Photosynthesis Research*, 2001, 68: 571 - 576
- [13] Goss R, B hme K, Wilhelm C. The xanthophyll cycle of *Mantoniella squamata* violaxanthin into antherxanthin but not to leaxanthin consequences for the mechanism of enhanced non-photochemical energy dissipation [J]. *Planta*, 1998, 205: 613 - 621
- [14] 史胜青, 袁玉欣, 杨敏生, 等. 水分胁迫对 4 种苗木叶绿素荧光参数的光化学淬灭和非光化学淬灭的影响 [J]. *林业科学*, 2004, 40 (1): 168 - 173

www.cnki.net