

# 外源一氧化氮对盐胁迫下山葡萄叶片叶绿素荧光特性的影响

赵 滢, 王 振 兴, 艾 军, 秦 红 艳, 焦 竹 青, 张 庆 田

(中国农业科学院 特产研究所, 吉林 长春 130122)

**摘 要:**采用营养液水培试验,研究了外源一氧化氮(NO)供体硝普钠(SNP)处理对盐胁迫下山葡萄‘双丰’1 a 生扦插苗叶片叶绿素荧光特性的影响。结果表明:外源 NO 提高了盐胁迫下山葡萄叶片 PSII 的最大光化学效率( $F_v/F_m$ )、PSII 实际光化学效率( $\Phi_{PSII}$ )和光化学猝灭系数( $qP$ ),降低了 PSII 的激发能压力( $1-qP$ );另外,在一定程度上提高了盐胁迫下最大潜在电子传递速率( $rETR_m$ )、半饱和光强( $I_k$ )和快速光曲线的初始斜率( $\alpha$ )。表明外源 NO 通过减少过剩激发能的压力,提高了光合电子传递效率,减轻不可逆光抑制,进而缓解盐胁迫对山葡萄光合机构的伤害,提高其耐盐性。

**关键词:**山葡萄;盐胁迫;一氧化氮;叶绿素荧光特性

**中图分类号:**S 663.1 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-0009(2012)17-0033-03

盐是影响植物生长发育的环境因子之一,土壤盐渍化严重制约了农业生产的发展<sup>[1]</sup>。有研究表明,盐胁迫会抑制植物的生长发育,这主要与光合速率下降有关<sup>[2]</sup>。而 PSII 是光合作用的原初位点,许多逆境胁迫如盐胁迫、高温、干旱等都会影响 PSII 的潜在活性,降低 PSII 原初光能转换效率,最终导致植物光合作用下降<sup>[3-4]</sup>。

NO 作为一种信号分子在植物生长发育及对逆境响应等方面具有重要调节作用<sup>[1]</sup>。如吴雪霞等<sup>[5]</sup>研究指出低浓度外源 NO 可有效缓解盐胁迫对番茄 PSII 的伤害,增强番茄光合机构的耐性;另外,NO 还能减缓高温和盐胁迫下水稻叶片叶绿素的降解,维持 PSII 的高活性,增强植物光合效率<sup>[6]</sup>。现以‘双丰’山葡萄 1 a 生扦插苗为试材,研究了外源 NO 处理对盐胁迫下山葡萄叶片 PSII 叶绿素荧光参数和快速光曲线拟合参数的影响,旨在探讨 NO 缓解山葡萄盐胁迫伤害的光合机制,为优良耐盐山葡萄品种的选育和制定适宜的栽培措施提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试山葡萄(*Vitis amurensis* Rupr)品种为中国农业科学院特产研究所选育的‘双丰’1 a 生扦插苗。

### 1.2 试验方法

试验于 2011 年 5~7 月在中国农业科学院特产研究所国家果树种质资源左家山葡萄圃内进行。将山葡萄‘双丰’1 a 生扦插苗培养于塑料通风大棚中,盆栽用土为普通园土:腐熟鹿粪=4:1,每盆栽种 3 株,每株保留 2 个新梢,其它按常规管理。待山葡萄苗具有 7~8 片成熟功能叶时,选取生长正常、长势较为一致的植株,洗净根部移入 30 L 的白色塑料周转箱中进行水培试验。培养液为 1/10 Hoagland 营养液,预培养 3 d 后,向营养液中添加 NaCl(分析纯),同时加入 NO 供体硝普钠(Sodium nitroprusside, SNP, 购自 Sigma 公司),SNP 现用现配。

试验设 3 个处理,分别为:(1)1/10 Hoagland 正常营养液栽培;(2)1/10 Hoagland 营养液+50 mmol/L NaCl;(3)1/10 Hoagland 营养液+50 mmol/L NaCl+10  $\mu$ mol/L SNP。为了保证处理浓度的稳定性,处理期间每 24 h 更换 1 次培养液。试验随机排列,3 次重复,每个处理总共 9 株植株。处理 7 d 后选择各处理的第 6、7 片叶片进行荧光参数测定。

### 1.3 项目测定

1.3.1 叶绿素荧光参数的测定 利用德国 Walz 公司生产的 Imaging-PAM 荧光仪对山葡萄叶片 PSII 叶绿素

**第一作者简介:**赵滢(1981-),女,硕士,研究实习员,研究方向为植物抗性生理。E-mail:zhaoying8107@yahoo.com.cn.

**责任作者:**艾军(1968-),男,博士,研究员,现主要从事果树资源学研究工作。E-mail:ajun1005@163.com.

**基金项目:**现代农业产业技术体系建设专项资助项目(nycytx-30-01);农业部科技攻关资助项目(NB2011-2130135-37)。

**收稿日期:**2012-05-18

荧光参数进行测定。测定的参数包括:PSII最大光化学效率( $F_v/F_m$ )、PSII实际光化学效率( $\Phi PSII$ )、光化学淬灭系数( $qP$ )和PSII的激发能压力( $1-qP$ )。

1.3.2 快速光曲线拟合参数的测定 快速光曲线测定参照 Perkins R G 等<sup>[7]</sup>的方法,通过在 Imaging-PAM 的光响应曲线窗口设置不同光强梯度系列测定光响应曲线。采用最小二乘法对快速光曲线进行拟合,获得的拟合参数包括:最大潜在电子传递速率( $rETR_m$ ),半饱和光强( $I_k$ )和快速光曲线的初始斜率( $\alpha$ )。

#### 1.4 数据分析

数据统计分析采用 SAS 9.0 分析软件,作图采用 Excel 软件。

## 2 结果与分析

### 2.1 外源 NO 对 NaCl 胁迫下山葡萄植株的影响

由图 1 可知,50 mmol/L NaCl 单独胁迫处理 14 d 后,山葡萄植株从下部叶片开始已表现出受害症状,部分叶片叶缘出现红色斑点,边缘干枯。而通过施加外源 SNP 则有效地缓解了盐胁迫对植株造成的伤害。

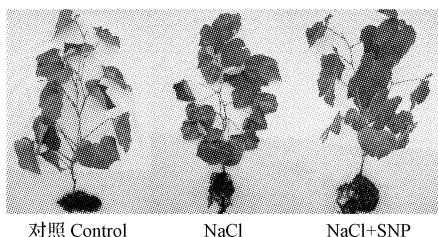


图 1 盐胁迫下外源 SNP 处理 14 d 时山葡萄植株生长状况

Fig. 1 Effect of exogenous nitric oxide on growth of amurgrape on the fourteenth day under salt stress

### 2.2 外源 NO 对 NaCl 胁迫下山葡萄叶片叶绿素荧光参数的影响

$F_v/F_m$ 代表 PSII最大光化学效率, $\Phi PSII$ 是 PSII反应中心在有部分关闭情况下的实际光化学效率。由表 1 可知,与对照相比,50 mmol/L NaCl 胁迫处理导致山葡萄叶片  $F_v/F_m$ 下降和  $\Phi PSII$ 降低,分别较对照显著减少了 57.86% 和 73.61% ( $P<0.05$ )。与 NaCl 胁迫处理相比,施加外源 SNP 显著提高了盐胁迫下山葡萄叶片  $F_v/F_m$ 和  $\Phi PSII$ 值( $P<0.05$ )。

表 1 外源 NO 对 NaCl 胁迫下山葡萄叶片叶绿素荧光参数的影响

Table 1 Effect of exogenous nitric oxide on chlorophyll fluorescence parameters in amurgrape leaves under salt stress

处理 Treatments	叶绿素荧光参数 Chlorophyll fluorescence parameters	$F_v/F_m$	$\Phi PSII$	$qP$	$1-qP$
对照 Control		0.802±0.043a	0.451±0.068a	0.579±0.058a	0.421±0.058b
NaCl		0.338±0.005b	0.119±0.031b	0.353±0.087b	0.647±0.087a
NaCl+SNP		0.679±0.044a	0.296±0.042a	0.435±0.035ab	0.565±0.035ab

$qP$  和  $1-qP$  分别是对原初电子受体  $Q_A$  氧化态和还

原程度的一种度量。由表 1 可知,与对照相比,盐胁迫处理导致山葡萄叶片  $qP$  显著降低了 39.03%,但  $1-qP$  显著提高了 53.68% ( $P<0.05$ )。而外源 SNP 处理的山葡萄叶片  $qP$  较 50 mmol/L NaCl 胁迫处理提高了 23.23%,而  $1-qP$  下降了 12.67%,不过 2 组处理差异不显著。

### 2.3 外源 NO 对 NaCl 胁迫下山葡萄叶片快速光拟合参数的影响

由图 2 可知,盐胁迫下山葡萄叶片的  $rETR_m$  和  $I_k$  分别较对照降低了 73.68% 和 35.61% ( $P<0.05$ )。说明盐胁迫减弱了叶片的光耐受能力和电子传递速率,降低了叶片对光能的利用效率,但盐胁迫未对叶片捕光系统造成显著伤害。而外源 SNP 的使用显著提高了盐胁迫下山葡萄叶片的  $rETR_m$  和  $I_k$  ( $P<0.05$ ),但  $\alpha$  在各处理间没有显著差异。由此可见,SNP 处理提高了盐胁迫下山葡萄叶片的光耐受能力和电子传递能力,缓解了不可逆光的抑制程度。

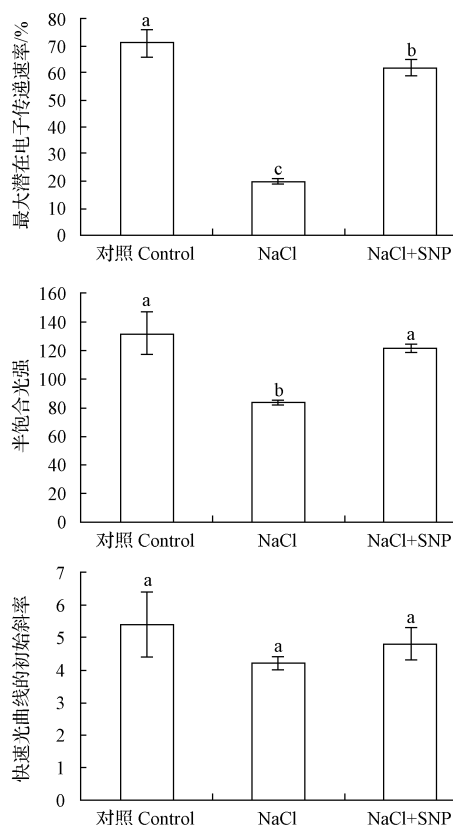


图 2 外源 NO 对 NaCl 胁迫下山葡萄叶片快速光拟合参数的影响

Fig. 2 Effect of exogenous nitric oxide on fitted parameters of RLCs in amurgrape leaves under salt stress

## 3 讨论

PSII是光合机构的重要组成部分,在光合作用的光能转换和电子传递过程中起着重要作用。多数研究指

出盐胁迫会抑制植物 PSⅡ活性<sup>[2]</sup>。该试验结果表明, 50 mmol/L NaCl 胁迫处理明显降低了 PSⅡ的最大光化学效率  $F_v/F_m$ 、PSⅡ实际光化学效率  $\Phi PSⅡ$  和光化学猝灭系数  $qP$ , 但提高了 PSⅡ的激发能压力  $1-qP$ , 这与前人在其它作物上的研究结果一致<sup>[2,8]</sup>。表明 NaCl 胁迫限制了 PSⅡ的激发电子有效地向下游传递, 使过剩激发能增加, 光合电子传递以分子态氧为受体的支路反应增强, 植物叶片发生了光抑制, 影响了植物对碳的固定和同化, 导致植物光合作用下降<sup>[9-10]</sup>。

而快速光曲线被认为是研究植物光合作用的另一个有力新技术<sup>[11]</sup>。在该研究中, 盐胁迫下的山葡萄叶片最大潜在电子传递速率  $rETR_m$  和半饱和光强  $I_k$  均显著下降, 但快速光曲线的初始斜率  $\alpha$  降低不显著, 说明盐胁迫对山葡萄叶片的捕光系统未造成伤害, 而是降低了电子传递能力和叶片对光的耐受能力, 造成植物光合速率下降, 进而使植株出现受害症状。

SNP 是常用的 NO 供体, NO 对植物具有保护和毒害双重效应。高浓度 NO 具有生理毒害, 而低浓度则能提高植物的抗逆性<sup>[12]</sup>。该试验表明, 通过外施 10  $\mu\text{mol/L}$  SNP 使盐胁迫下山葡萄叶片的  $F_v/F_m$ 、 $\Phi PSⅡ$  和  $qP$  的下降幅度明显减少,  $1-qP$  降低。同时在一定程度上提高了快速光拟合参数  $rETR_m$ 、 $I_k$  和  $\alpha$ 。由此表明, 外源 NO 通过减少过剩激发能的压力, 提高光合电子传递效率, 减轻不可逆光抑制, 进而缓解盐胁迫对山葡萄光合机构的伤害, 提高其耐盐性。

## Effects of Exogenous Nitric Oxide on Chlorophyll Fluorescence Characteristics in *Vitis amurens* Leaves Under Salt Stress

ZHAO Ying, WANG Zhen-xing, AI Jun, QIN Hong-yan, JIAO Zhu-qing, ZHANG Qing-tian

(Institute of Special Wild Economic Animal and Plant Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Changchun, Jilin 130122)

**Abstract:** Nutrient solution hydroponics was adopted, the effects of sodium nitroprusside (SNP, an exogenous nitric oxide donor) on chlorophyll fluorescence characteristics in *Vitis amurens* 'Shuangfeng' leaves under salt stress were studied. The results showed that SNP increased photochemical efficiency of photosystem ( $F_v/F_m$ ), actual photochemical efficiency ( $\Phi PSⅡ$ ) and photochemical quenching coefficient ( $qP$ ). However, SNP decreased excitation press ( $1-qP$ ). In addition, SNP improved maximal potential relative electron transport rate ( $rETR_m$ ), semi-light saturation points ( $I_k$ ) and initial slope ( $\alpha$ ) in different extent. The results of this study suggested that nitric oxide reduced excess excitation press, improved photochemical electron transport efficiency and alleviated the irreversible photoinhibition which was associated with an improvement in the actual PSⅡ efficiency.

**Key words:** *Vitis amurens*; salt stress; nitric oxide; chlorophyll fluorescence characteristics

### 参考文献

- [1] 孙立荣, 郝福顺. 一氧化氮与植物耐盐性[J]. 植物生理学通讯, 2009, 45(10): 947-952.
- [2] 束胜, 孙锦, 郭世荣, 等. 外源腐胺对盐胁迫下黄瓜幼苗叶片 PSⅡ光化学特性和体内离子分布的影响[J]. 园艺学报, 2010, 37(7): 1065-1072.
- [3] 姚广, 高辉远, 王未未, 等. 铅胁迫对玉米幼苗叶片光系统功能及光合作用的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(3): 1162-1169.
- [4] 杨淑萍, 危常州, 梁永超. 盐胁迫对不同基因型海岛棉光合作用及荧光特性的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(8): 1585-1593.
- [5] 吴雪霞, 于力, 朱为民. 外源一氧化氮对 NaCl 胁迫下番茄幼苗叶绿素荧光特性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(4): 746-751.
- [6] Akio U, Andre T J, Takash H, et al. Effects of hydrogen peroxide and nitric oxide on both salt and heat stress tolerance in rice [J]. Plant Sci, 2002, 163: 515-523.
- [7] Perkins R G, Mouget J L, Lefebvre S, et al. Light response curve methodology and possible implications in the application of chlorophyll fluorescence to benthic diatoms[J]. Marine Biology, 2006, 10: 222-227.
- [8] Genty B, Briantais J M, Baker N R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence[J]. Biochim Biophys Acta, 1989, 99: 87-92.
- [9] 汪炳良, 徐敏, 史庆华, 等. 高温胁迫对早熟花椰菜叶片抗氧化系统和叶绿素及其荧光参数的影响[J]. 中国农业科学, 2004, 37(8): 1245-1250.
- [10] 徐向东, 孙艳, 郭晓芹, 等. 高温胁迫下外源褪黑素对黄瓜幼苗光合作用及叶绿素的影响[J]. 核农学报, 2011, 25(1): 179-184.
- [11] 韩伟, 徐新文, 李利, 等. 白榆(*Ulmus pumila* L.) 光驯化后的快速光曲线变化特征[J]. 干旱区研究, 2010, 27(5): 738-744.
- [12] 曹慧, 王孝威, 邹岩梅, 等. 外源 NO 对干旱胁迫下平邑甜茶幼苗叶绿素荧光参数和光合速率的影响[J]. 园艺学报, 2011, 38(4): 613-620.