

## NaCl 胁迫对茄子幼苗生理指标的影响

张玲, 王华, 徐强\*, 周静

(安徽农业大学园艺学院, 合肥 230036)

**摘要:** 以茄子幼苗为材料, 研究不同浓度(0、50、100、150 和 200 mmol·L<sup>-1</sup>)NaCl 胁迫对其幼苗叶片膜透性、MDA 含量、抗氧化酶(SOD、POD 和 CAT)活性、叶绿素含量及叶绿素荧光参数的影响。结果表明: 随着 NaCl 浓度的增加, 茄子幼苗叶片质膜相对透性及 MDA 含量升高, 抗氧化酶(CAT、SOD 和 POD)活性呈现先升后降的趋势; 叶绿素含量下降; 叶绿素荧光参数( $F_0$ 、 $NPQ$ )比对照升高, 参数( $F_v/F_m$ 、 $qP$ 、 $\Phi_{PSII}$  和  $ETR$ )均比对照下降。NaCl 胁迫对茄子幼苗一些生理特性有一定影响, 低浓度(50 mmol·L<sup>-1</sup>)NaCl 处理对茄子植株无明显影响; 高浓度(150、200 mmol·L<sup>-1</sup>)NaCl 处理, 植株逐渐表现出盐害症状, 且随着处理时间的延长和处理浓度的增加盐害程度加重。

**关键词:** NaCl 胁迫; 茄子; 生理指标; 叶绿素荧光

中图分类号: S641.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2014)06-0965-06

### Effects of NaCl stress on physiological indexes of eggplant seedlings

ZHANG Ling, WANG Hua, XU Qiang, ZHOU Jing

(School of Horticulture, Anhui Agricultural University, Hefei 230036)

**Abstract:** Effects of NaCl at 0, 50, 100, 150, and 200 mmol·L<sup>-1</sup> on membrane permeability, MDA content, activities of antioxidant enzymes (SOD, POD and CAT), chlorophyll content, and chlorophyll fluorescence parameters of eggplant seedlings were investigated. The results showed that with the increasing NaCl concentration, the plasma membrane relative permeability and malondialdehyde (MDA) were increasing. The activities of CAT, SOD, and POD first increased and then decreased, while the chlorophyll content decreased gradually. In chlorophyll fluorescence parameters,  $F_0$  and  $NPQ$  increased, while  $F_v/F_m$ ,  $qP$ ,  $\Phi_{PSII}$  and  $ETR$  decreased compared to the control group. The results indicated that the physiological characteristics of eggplant seedlings were affected by the NaCl stress. Under the low concentration of NaCl (50 mmol·L<sup>-1</sup>), no significant differences between the treatment and the control were observed. Under the high concentration of NaCl (150 and 200 mmol·L<sup>-1</sup>), the symptom of salt injury was gradually appeared on eggplant seedlings. Furthermore, the injury was intensified with the increase of treatment time and concentration of NaCl.

**Key words:** NaCl stress; eggplant; physiological indexes; chlorophyll fluorescence

土壤盐渍化是影响农业生产的主要因素之一。近些年, 随着设施园艺作物种植面积的不断增大, 土壤次生盐渍化问题不断加剧, 给农业生产带来了严重威胁, 次生盐渍化问题已成为设施作物栽培的限制性因素和可持续设施生产发展的严重障碍<sup>[1]</sup>。研究作物的耐盐性, 筛选耐盐性农作物品种, 是未来农业发展和环境治理亟待解决的重要课题<sup>[1-2]</sup>。

盐胁迫对植物的伤害主要表现在 4 个层面: 渗透胁迫、离子毒害、营养失衡和氧化破坏<sup>[3]</sup>, 相应地, 植物也进化出了多种机制来抵抗这些胁迫, 比如合成渗透调节物质、产生抗氧化酶等。但不同的植物有不同的耐盐性, 研究植物对盐的适应性, 揭示其耐盐机理, 对盐渍化危害问题的解决, 具有一定的理论和现实意义。

收稿日期: 2014-06-23

基金项目: 安徽省自然科学基金(1208085QC54), 安徽农业大学青年科学基金项目(2011zb006), 安徽农业大学稳定和引进人才科研项目(yi2011-38)共同资助。

作者简介: 张玲, 实验师。E-mail: zhanglingyu@ahau.edu.cn

\* 通信作者: 徐强, 博士, 副教授。E-mail: qiang\_xu1015@163.com

茄子(*Solanum melongena* L.)是中等耐盐的非盐生蔬菜,也是设施栽培的主要蔬菜之一,栽培面积逐年扩大,由于设施环境的特殊性及设施土壤中大量肥料的施入,导致设施内的土壤盐类积累,土壤次生盐渍化已对茄子等蔬菜造成连作障碍,使其减产严重。目前,已有人研究在钠盐胁迫下黄瓜、大豆、辣椒等蔬菜的生长,对茄子的耐盐性研究主要集中在种子萌发、幼苗生长和光合特性方面<sup>[3]</sup>。

植物的耐盐性是一个十分复杂的反应过程,涉及到植物组织器官结构、生理生化反应等多方面因素。有学者<sup>[4]</sup>认为适度的盐分可能有利于某些植物的生长或产量的提高。为此,本试验采用混合基质,用盐碱地最常见的 NaCl 处理茄子幼苗,研究茄子幼苗叶片保护酶活性和叶绿素荧光参数等相关生理指标,探讨不同浓度处理下茄子幼苗耐盐的生理机制,为盐碱化地区茄子的栽培提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

本试验所用材料为河南省郑州市成海种苗有限公司生产的改良早熟紫长茄,试验在安徽农业大学园艺学院园艺育种实验室进行。

### 1.2 试材处理

选择色泽良好,籽粒饱满、大小一致的茄子种子,放入 10%次氯酸钠溶液中消毒 20 min,然后用蒸馏水洗净,浸种 24 h,再将种子置于底部铺有滤纸、直径为 10 cm 的培养皿中,每皿 50 粒,3 次重复,置于(28±1)℃恒温培养箱中(DNP-9162,上海三发科学仪器有限公司)催芽。

### 1.3 试验设计

催芽至种子萌芽后播入盛有灭菌基质(沙子:珍珠岩:草炭=1:1:1)的营养钵(16 cm×14 cm)中育苗,放在自然光照下培养,2 片子叶充分展开后,每隔 1 d 浇灌 1 次 1/2(稀释倍数)日本山崎茄子配方营养液,每株浇 20 mL。出苗后每盆保留生长一致的 1 棵幼苗,每个处理 6 株,随机区组设计,3 次重复。当幼苗长至 4~5 片真叶时,进行不同浓度的 NaCl 溶液处理,处理液为加入 NaCl 的日本山崎茄子配方全营养液,各处理 NaCl 终浓度分别是 50、100、150 和 200 mmol·L<sup>-1</sup><sup>[4-5]</sup>,对照为日本山崎茄子配方全营养液。每 24 h 浇灌 1 次 NaCl 溶液,每株浇 20 mL。分别在处理后第 5 天、第 10 天、第 15 天和第 20 天,选取植株展开心叶下第 3~4 片叶进行生理生化各项指标的测定,3 次重复。

## 1.4 测定项目与方法

叶片膜相对透性采用电导率(EC)法测定计算<sup>[6]</sup>;MDA 含量的测定采用硫代巴比妥酸法<sup>[7]</sup>;叶绿素含量采用丙酮提取比色法测定<sup>[7]</sup>;超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定采用淡蓝四唑法(NBT)<sup>[8]</sup>;过氧化物酶(POD)活性测定用愈创木酚法<sup>[8]</sup>;过氧化氢酶(CAT)活性测定采用紫色吸收法<sup>[8]</sup>;叶绿素荧光参数测定<sup>[9]</sup>采用 MINI-PAM 便携式叶绿素荧光仪(德国 WALZ 公司)测定叶片初始荧光( $F_0$ )、叶片 PS II 最大光化学效率( $F_v/F_m$ )、非光化学猝灭系数(NPQ)、光化学猝灭系数(qP)、PS II 电子传递量子产率( $\Phi_{PS II}$ )和表观光合电子传递速率(ETR)荧光参数,测量前叶片暗适应 20 min。

## 1.5 数据处理

采用 Microsoft Excel 2003 软件处理数据和制图,采用 SAS 9.1(SAS Institute, Cary, NC)统计软件对平均数用 Duncan's 新复极差法进行多重比较。

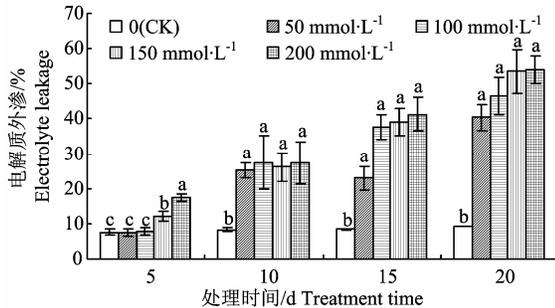
## 2 结果与分析

### 2.1 不同浓度 NaCl 胁迫对茄子幼苗叶片膜透性和 MDA 含量的影响

盐胁迫对植物危害的一个重要方面是对植物细胞膜结构和组成造成影响。由于离子的胁迫作用盐胁迫使植物细胞膜功能改变,质膜受伤,细胞内电解质外渗,随着逆境的加剧膜破坏程度增加。膜的破坏程度可以通过分析细胞内电解质外渗率的大小来反映<sup>[10-11]</sup>。由图 1 可以看出,随着盐胁迫浓度的增加和胁迫时间的延长,茄子细胞电解质外渗率呈上升趋势。在处理第 5 天,盐浓度 50 和 100 mmol·L<sup>-1</sup> 处理下细胞电解质外渗率与对照(CK)差异不显著,高浓度 150 和 200 mmol·L<sup>-1</sup> 处理下与对照差异显著,在盐处理后的第 10 天、第 15 天及第 20 天各处理电解质外渗率皆显著高于对照(CK),其中,在高浓度 200 mmol·L<sup>-1</sup> 处理下分别高于对照达 69.72%、79.67%和 83.03%。

丙二醛(MDA)的含量代表植物膜脂过氧化的水平,反映植物受伤害的程度<sup>[12]</sup>。图 2 显示,NaCl 胁迫下 MDA 含量随着盐浓度升高而增加,各处理与对照差异显著,其中,在第 5、第 10、第 15 及第 20 天,50 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl 处理的 MDA 含量分别高于对照约 40.47%、34.34%、35.92%和 57.28%,100 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl 处理在第 5、第 10、第 15 及第 20 天分别约高于对照 43.91%、45.72%、37.36%和 61.22%,150 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl 处理在第 5、第 10、第 15 及第 20 天分别约高于对照 52.84%、47.47%、

50.60%和 62.73%，200 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl 处理在 15 d 和 20 d 约分别高于对照达 73.61%和 73.86%，达到了对照的 3 倍多。以上结果说明 NaCl 胁迫下茄子幼苗叶片过量积累的自由基引发了膜脂过氧化作用，细胞膜受到了一定的伤害作用，且高浓度胁迫的伤害最大。



不同字母表示处理间在 0.05 水平差异显著性。下同  
The different normal letters indicate significant difference among treatments at 0.05. The same below

图 1 NaCl 处理对茄子幼苗电解质外渗率的影响

Figure 1 Effects of NaCl treatment on electrolyte leakage in leaves of eggplant seedling

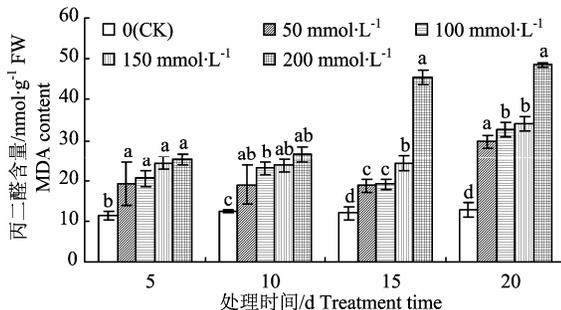


图 2 NaCl 处理对茄子幼苗丙二醛含量的影响

Figure 2 Effects of NaCl treatment on MDA content in seedling of Eggplant

## 2.2 不同浓度 NaCl 胁迫对茄子幼苗保护酶活性的影响

由图 3A 可以看出，随着处理时间的延长和盐处理浓度的增加，CAT 活性皆呈现先上升后下降的趋势，在第 5、第 10 及第 15 天均在盐浓度 100 mmol·L<sup>-1</sup> 时 CAT 活性最高，分别显著高于对照 43.96%、59.07%和 45.40%，然后开始下降；而在第 20 天的时候低浓度(50 mmol·L<sup>-1</sup>)CAT 的活性达到了最高值，显著高于对照 50.66%。说明一定浓度范围内的盐能使 CAT 活性提高，增强了茄子幼苗叶片清除 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的能力，减轻了活性氧和自由基对叶片的毒害作用。

SOD 作为主要的保护性酶，其作用是清除活性氧自由基，SOD 活性越高，清除活性氧的能力就越

大。由图 3B 可见，随着 NaCl 浓度增加，SOD 活性呈现先上升后下降的趋势，随着胁迫时间的延长总体属于上升趋势。与对照(CK)相比各个浓度 SOD 活性值变化显著，在处理的 5 d、10 d、15 d 和 20 d，SOD 活性均在 NaCl 浓度为 100 mmol·L<sup>-1</sup> 时达到峰值，然后下降，均在高浓度(200 mmol·L<sup>-1</sup>)时 SOD 的活性最低。表明在一定盐浓度范围内，因受到 NaCl 胁迫的诱导茄子幼苗 SOD 活性增强，维持了活性氧代谢的平衡，保护了膜结构，在一定程度上减缓或抵御了逆境胁迫的伤害，从而对活性氧起到积极的清除作用。

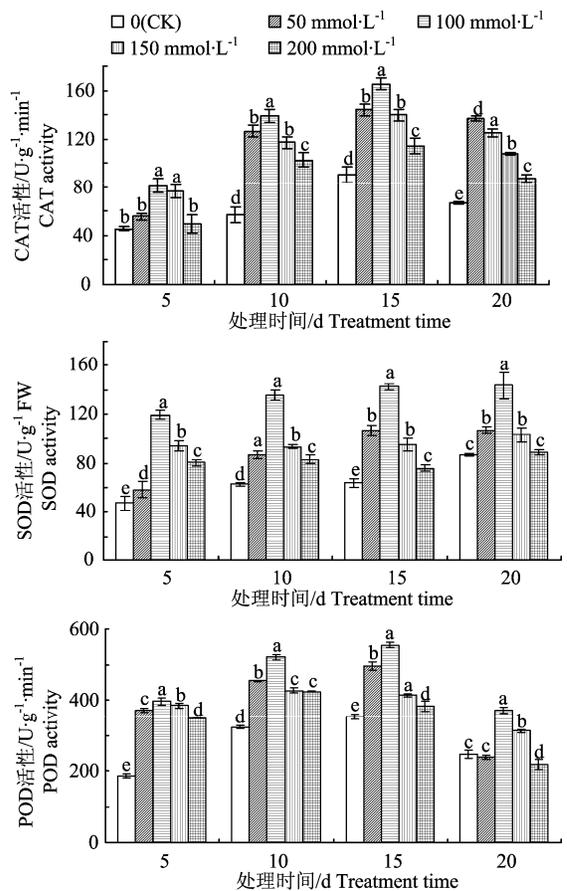


图 3 NaCl 处理对茄子幼苗保护酶活性的影响

Figure 3 Effects of NaCl treatment on activities of protective enzymes in eggplant seedlings

由图 3C 可见，POD 活性变化在盐浓度方面与 SOD、CAT 活性变化表现出相似的趋势，在第 5、10、15 和第 20 天随着 NaCl 浓度的增加呈现先上升后下降的变化趋势。各处理均在浓度 100 mmol·L<sup>-1</sup> 时达到峰值，显著高于对照，然后下降；在处理时间上与 CAT 活性趋势相似，在盐处理前 15 d 呈上升趋势，然后开始下降。

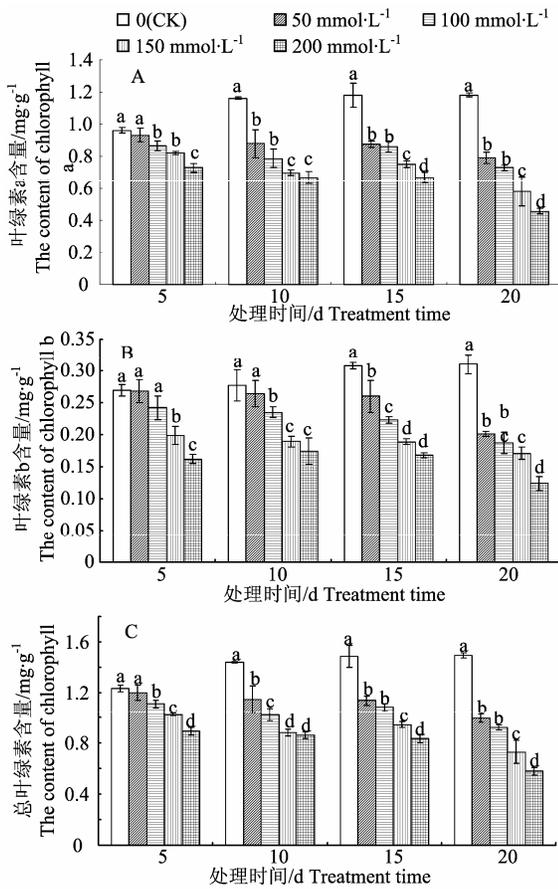


图 4 NaCl 处理对茄子幼苗叶片叶绿素含量的影响  
 Figure 4 Effects of NaCl treatment on the chlorophyll content in leaves of eggplant seedlings

2.3 不同浓度 NaCl 胁迫对茄子幼苗叶绿素含量的影响

图 4 表明，茄子幼苗总叶绿素、叶绿素 a、叶绿素 b 含量随着盐浓度的升高而下降，且浓度越高

下降越明显。其中，在盐胁迫 5 d 后，低浓度(50 mmol·L<sup>-1</sup>)盐处理下，叶绿素 a 和总叶绿素含量比对照略有降低，但差异不明显，而经 NaCl 浓度高于或等于 100 mmol·L<sup>-1</sup> 处理的叶绿素 a、总叶绿素比对照显著降低；在盐处理后 10~20 d，各浓度处理的幼苗叶片叶绿素 a 含量、总叶绿素含量均显著低于对照，且浓度越高，处理时间越长，效果越明显，在 20 d 后高浓度(200 mmol·L<sup>-1</sup>)处理下，分别显著低于对照达 61.54%和 61.22%(图 4A、C)。

与对照相比，在盐处理 5 d 后，NaCl ≤ 100 mmol·L<sup>-1</sup> 时，茄子幼苗叶绿素 b 无明显变化，NaCl 浓度为 150 mmol·L<sup>-1</sup> 和 200 mmol·L<sup>-1</sup> 时，叶绿素 b 含量均显著降低；在处理 10~20 d，NaCl ≥ 100 mmol·L<sup>-1</sup> 时，叶绿素 b 显著降低，在高浓度(200 mmol·L<sup>-1</sup>)时分别比对照降低了 36.83%、45.46%和 60%，(图 4B)。

2.4 不同浓度 NaCl 胁迫对茄子幼苗叶片叶绿素荧光参数的影响

由图 5 可见，NaCl 胁迫下，茄子幼苗  $F_0$  和  $NPQ$  比对照升高， $F_v/F_m$ 、 $qP$ 、 $\Phi_{PSII}$  和  $ETR$  均比对照下降。

方差分析结果显示：50 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl 处理下， $F_0$  比对照略有升高，但差异不显著，NaCl 浓度高于 100 mmol·L<sup>-1</sup> 及 150 mmol·L<sup>-1</sup> 处理 10 d 后， $F_0$  显著高于对照，其中，在 200 mmol·L<sup>-1</sup> 处理 20 d 后， $F_0$  比对照增加了 48.45%。 $NPQ$  在 50 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl 处理下高于对照，但无明显变化，在 100~200 mmol·L<sup>-1</sup> 处理下，随着处理时间的延长  $NPQ$  均显著高于对照。

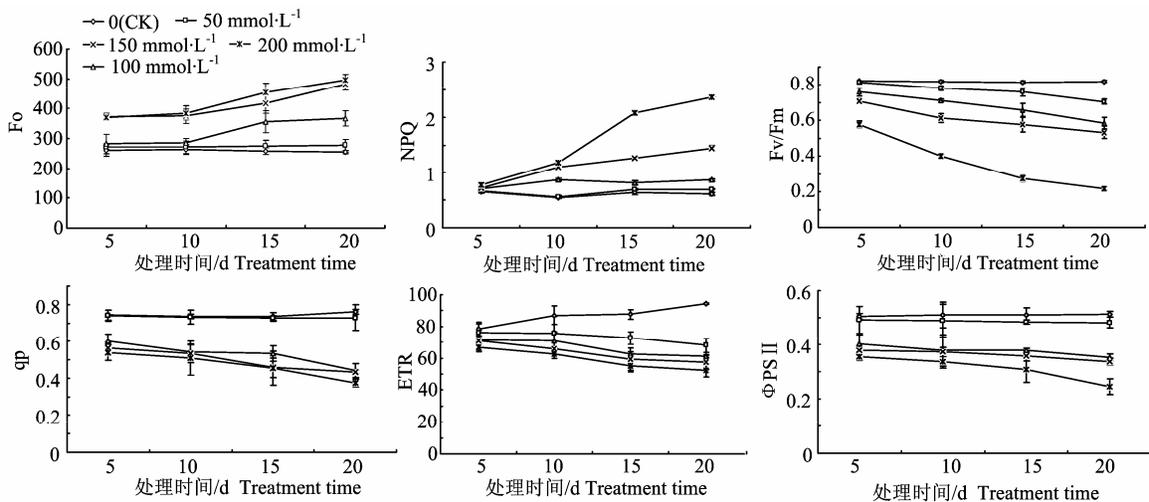


图 5 NaCl 处理对茄子幼苗叶片叶绿素荧光参数的影响  
 Figure 5 Effects of NaCl treatment on chlorophyll fluorescence parameters in leaves of eggplant seedlings

茄子在正常生长过程中  $F_v/F_m$  变化不大, 但经 NaCl 处理后, 除低浓度(50 mmol·L<sup>-1</sup>)处理下,  $F_v/F_m$  与对照相比, 下降不显著外, 其他各处理均显著低于对照, 且下降幅度随盐浓度的增加和处理时间的延长而增大。

对  $qP$  和  $\Phi_{PSII}$  进行方差分析显示: 50 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl 处理下,  $qP$  和  $\Phi_{PSII}$  无明显影响, NaCl  $\geq 100$  mmol·L<sup>-1</sup> 时,  $qP$  和  $\Phi_{PSII}$  显著低于对照, 在 NaCl 浓度 100、150 和 200 mmol·L<sup>-1</sup> 处理 20 d 后, 与对照相比,  $qP$  分别下降了 41.84%、42.76% 和 50.53%;  $\Phi_{PSII}$  分别下降了 31.38%、34.50% 和 52.24%。

$ETR$  方差分析可知: 50 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl 处理下,  $ETR$  低于对照, 但差异不显著; 在 NaCl 浓度为 100 和 150 mmol·L<sup>-1</sup> 处理前 10 d,  $ETR$  低于对照, 处理间及与对照间没有明显差异; 在 NaCl 浓度为 100 mmol·L<sup>-1</sup>、150 mmol·L<sup>-1</sup> 处理 15~20 d 和 200 mmol·L<sup>-1</sup> 处理下, 均显著低于对照。

### 3 讨论

植物在遭受不同逆境攻击时, 细胞膜结构会破坏, 膜的破坏程度可以通过分析细胞内电解质外渗率的大小来反映。因此, 在相同逆境胁迫条件下, 比较电解质外渗率的大小, 是间接评价植物应对逆境胁迫能力的一种有效方法<sup>[13]</sup>。丙二醛(MDA)含量多少可以在一定程度上反映膜损伤程度大小<sup>[13-14]</sup>。本研究中, 随着处理时间延长和处理浓度增加, 茄子幼苗叶片膜相对透性、MDA 均升高。这表明 NaCl 胁迫破坏了茄子幼苗的质膜结构和功能, 加剧了膜脂过氧化程度, 茄苗细胞膜已经受到了伤害。这与孙涌栋等<sup>[14]</sup> 在黄瓜和华智锐等<sup>[15]</sup> 在百合上的研究结果一致。

在盐胁迫下, 植物体内产生与清除活性氧的动态平衡被打破, 造成活性氧的大量积累, 从而扰乱细胞正常代谢, 破坏膜的完整性<sup>[16]</sup>。SOD、POD 和 CAT 是植物重要的几个抗氧化酶, 能够有效地清除活性氧, 使植物免受活性氧的伤害, 保护酶活性已经成为作物耐盐胁迫的重要生理指标<sup>[17-18]</sup>。本试验结果表明, 随着盐胁迫浓度的增加, 茄子叶片中的 SOD、POD 和 CAT 均高于对照且表现先升后降的趋势(均在盐浓度 100 mmol·L<sup>-1</sup> 时最高), 说明 NaCl 胁迫下茄子叶片能够通过提高自身的酶活性来清除过量积累的活性氧, 但过高的盐浓度和长时间的胁迫仍然不能完全清除过量积累的活性氧, 清除与积累之间的平衡被打破, 膜的完整性遭到破坏, 造成 MDA 含量的增加, 这和杜利霞等<sup>[19]</sup> 和何文亮等<sup>[20]</sup>

研究结果相同。

叶绿素是重要的光合色素, 其含量的多少能够反映植物在盐渍条件下光合作用的强弱, 可以和其他指标一起作为判断植物抗盐性的参考指标<sup>[4, 13]</sup>。本研究发现, 低浓度 NaCl 胁迫(50 mmol·L<sup>-1</sup>) 5 d, 茄子幼苗叶绿素 a, 叶绿素 b 和总叶绿素含量比对照下降, 但差异不显著, 盐浓度(100、150 和 200 mmol·L<sup>-1</sup>)盐胁迫引起 *chl a*、*chl b* 和 *chl* 显著下降, 且随盐浓度增加和处理时间延长下降越明显, 说明 NaCl 胁迫加速了茄子叶绿素的降解, 破坏了更多的叶绿素, 影响了茄子类囊体膜的稳定性, 以致降低叶绿体对光能的吸收。

叶绿素荧光参数对逆境胁迫很敏感, 可以快速、无损伤地探测和研究逆境胁迫对植物光合作用的影响, 对叶片荧光参数的测量已经成为衡量逆境胁迫对植物光合器官伤害的有效探针<sup>[21-22]</sup>。初始荧光( $F_0$ )是光系统 II (PS II) 反应中心处于完全开放时的荧光产量, 可以反映逆境对植物叶片 PS II 的永久性伤害程度; PS II 最大光能转换效率  $F_v/F_m$  降低程度是反映植物光抑制程度的指标,  $F_v/F_m$  降低的同时伴随  $F_0$  上升, 表明 PSII 反应中心已受到不可逆转的失活或破坏<sup>[23-24]</sup>。Demmig 等<sup>[24]</sup> 将  $F_v/F_m$  的下降作为植物遭受光抑制的重要特征。本研究表明, 50 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl 胁迫下  $F_0$  上升,  $F_v/F_m$  下降, 但无明显影响, 高浓度盐胁迫(150 和 200 mmol·L<sup>-1</sup>) 均使  $F_0$  和  $F_v/F_m$  显著变化于对照, 表明高盐胁迫下, 茄苗 PS II 潜在活性中心受损、热耗散提高、幼苗光合机构受到损害, 不利于茄子叶片光能的转化。这与李青云等<sup>[25]</sup> 的研究结果一致。

$\Phi_{PSII}$  为实际光化学效率, 反映在光照下 PSII 反应中心部分关闭情况下的实际光化学效率; 光化学淬灭系数( $qP$ )表示光系统 PS II 反应中心天线色素所吸收的光能用于光化学电子传递的份额,  $qP$  值越大, 说明 PS II 的电子传递活性越高。非光化学淬灭系数( $NPQ$ )可以消耗过量的光能, 从而保护光合器官的破坏或损伤; 表观光合电子传递速率( $ETR$ )反映了实际光强条件下表观电子的传递效率<sup>[26-27]</sup>。葛江丽等<sup>[28]</sup> 报道 50 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl 处理甜高粱幼苗, 与对照相比  $\Phi_{PSII}$  差异较小, 盐浓度大于 100 mmol·L<sup>-1</sup> 处理则明显低于对照; 薛延丰和刘兆普<sup>[29]</sup> 报道, 150 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl 胁迫下, 菊芋  $qP$ 、 $ETR$  显著降低,  $NPQ$  显著升高。本研究发现, 低浓度 NaCl(50 mmol·L<sup>-1</sup>) 胁迫下, 茄子幼苗  $qP$ 、 $ETR$  呈下降趋势,  $NPQ$  呈上升趋势, 但与对照差异不显著, NaCl 浓度高于 150 mmol·L<sup>-1</sup> 均显著变化对照, 这与

上述高粱、菊芋研究趋势一致,表明高盐胁迫下,茄子PSII反应中心电子传递量子效率和转化效率降低,电子传递逐渐受阻,导致光能过剩,加剧了对叶片的抑制和破坏。

综上所述,低浓度NaCl(50 mmol·L<sup>-1</sup>)胁迫对茄子幼苗的影响不显著,在NaCl浓度低于150 mmol·L<sup>-1</sup>时,茄子幼苗叶片能在一定程度上,通过自身的抗氧化酶清除系统和渗透调节物质来抵抗胁迫引起的破坏。当NaCl浓度mmol·L<sup>-1</sup>≥150时,盐处理对幼苗各生理指标造成了显著影响,最终导致茄子植株生长缓慢、萎蔫。

### 参考文献:

- [1] 吕金印, 赵晖, 冯万健. NaCl胁迫对甜高粱幼苗保护酶活性等生理特性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(6): 133-137.
- [2] 赵可夫, 王韶唐. 作物抗性生理[M]. 北京: 中国农业出版社, 1990: 75-78.
- [3] ROYA R, ALIAKBAR E, NAGIB A, et al. Proteome analysis of tobacco leaves under salt stress[J]. Peptides, 2009, 30(9): 1651-1659.
- [4] 高芸, 程智慧, 孟焕文. NaCl处理对番茄幼苗光合作用和叶绿素荧光的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(1): 194-199.
- [5] 宋旭丽, 侯喜林, 胡春梅, 等. NaCl胁迫对超大甜椒种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 西北植物学报, 2011, 31(3): 0569-0575.
- [6] 房义福, 吴晓星, 李长贵, 等. 电导法对11种常绿阔叶树种抗寒性的测定[J]. 东北林业大学学报, 2007, 35(12): 16-17.
- [7] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [8] 孔祥生, 易现峰. 植物生理学实验技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008.
- [9] 谭伟, 梁婷, 翟衡. 乙草胺对葡萄叶片光合和叶绿素荧光特性及叶绿体结构的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23(8): 2185-2190.
- [10] Amegli O T, Pigeon D, Archilla O. Adaptation to cold temperature and response to freezing in roses[J]. Acta Hort, 2003, 618: 515-520.
- [11] Abdel B R. Calcium channels and membrane disorders induced by drought stress in vicia faba plants supplemented with calcium [J]. Acta Physiol Plant, 1998, 20(2): 149-153.
- [12] 费伟, 陈火英, 曹忠, 等. 盐胁迫对番茄幼苗生理特性的影响[J]. 上海交通大学学报: 农业科学版, 2005, 23(1): 5-9.
- [13] Amegli O T, Pigeon D, Archilla O. Adaptation to cold temperature and response to freezing in roses[J]. Acta Hort, 2003, 618: 515-520.
- [14] 孙涌栋, 姚连芳, 李新峥, 等. Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>胁迫对黄瓜幼苗生长及生理指标的影响[J]. 西北植物学报, 2008, 28(11): 2251-2256.
- [15] 华智锐, 马锋旺, 李小玲, 等. 百合组培苗对盐胁迫的生理反应[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2007, 35(4): 179-183.
- [16] Eto A D A, Prisco J T, Filho J E, et al. Effect of salt stress on antioxidative enzymes and lipid peroxidation in leaves and roots of salt-tolerant and salt-sensitive maize genotypes[J]. Environmental and Experimental Botany, 2006, 56(1): 87-94.
- [17] Gong J R. A comparative study on anti-oxidative ability of several desert plants under drought stress[J]. Acta Bot Boreal Occident Sin, 2004, 24(9): 1570-1577.
- [18] Mittova V, Tal M, Volokit M, et al. Up-regulation of the leaf mitochondrial and peroxisomal antioxidative systems in response to salt-induced oxidative stress in the wild salt-tolerant tomato species *Lycopersicon pennellii*[J]. Plant Cell Environ, 2003, 26: 845-856.
- [19] 杜利霞, 董宽虎, 夏方山, 等. 盐胁迫对新麦草种子萌发特性和生理特性的影响[J]. 草地学报, 2009, 17(6): 789-794.
- [20] 何文亮, 黄承红, 杨颖丽, 等. 盐胁迫过程中抗坏血酸对植物的保护功能[J]. 西北植物学报, 2004, 24(12): 2196-2201.
- [21] Papageorgiou G C, Murata N. The unusually strong stabilizing effects of glycine betaine on the structure and function of the oxygen-evolving photosystem complex [J]. Photosynthesis Research, 1995, 44: 243-252.
- [22] 谭伟, 梁婷, 翟衡. 乙草胺对葡萄叶片光合和叶绿素荧光特性及叶绿体结构的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23(8): 2185-2190.
- [23] Xing W, Huang W M, Liu G H. Effect of excess iron and copper on physiology of aquatic plant *Spirodela polyrrhiza* (L.)Schleid[J]. Environmental Toxicology, 2010, 25: 103-112.
- [24] Demmolig Adams B, Bjrkmann O. Comparison of the effects of excessive light on chlorophyll fluorescence(77 k)and photo yield of O<sub>2</sub> evolution in leaves of higher plants[[J]. Planta, 1987: 171-184.
- [25] 李青云, 葛会波, 胡淑明, 等. 外源钙对盐胁迫下草莓叶绿素荧光参数的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2006, 37(3): 482-484.
- [26] 杨玉珍, 陈刚, 彭方仁. 干旱胁迫对不同种源香椿主要叶绿素荧光参数的影响[J]. 东北林业大学学报, 2010, 38(7): 49-51.
- [27] 夏庆平, 高洪波, 李敬蕊. γ-氨基丁酸(GABA)对低氧胁迫下甜瓜幼苗光合作用和叶绿素荧光参数的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(4): 999-1006.
- [28] 葛江丽, 石雷, 谷卫彬, 等. 盐胁迫条件下甜高粱幼苗的光合特性及光系统II功能调节[J]. 作物学报, 2007, 33(8): 1272-1278.
- [29] 薛延丰, 刘兆普. 钙离子对盐胁迫下菊芋幼苗的生长、生理反应和光合能力的影响理论[J]. 农业工程学报, 2006, 22(9): 44-47.