

# NaCl 胁迫对 3 种竹类植物叶片光合作用的影响

陈松河<sup>1</sup>, 黄全能<sup>1</sup>, 郑逢中<sup>2</sup>, 马丽娟<sup>1</sup>, 包宇航<sup>1</sup>

1 厦门市园林植物园, 福建厦门 361003

2 厦门大学海洋与环境学院, 福建厦门 361004

**摘要** 采用盆栽试验法, 对花叶唐竹(*Sinobambusa tootsik* f. *luteolo-albo-striata*)、小琴丝竹(*Bambusa multiplex* 'Alphonse-karr')和刺黑竹(*Chimonobambusa neopurpurea*)进行不同浓度盐(NaCl)胁迫(CK、0.1%、0.3%、0.5%、0.7%、1.0%)处理, 用美国 LI-COR 公司生产的 LI-6400 便携式光合作用分析系统测定其各项光合作用相关指标, 分析研究其中重要的 4 项指标: 净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )、胞间二氧化碳浓度( $C_i$ )和蒸腾速率( $E$ ), 以探究 NaCl 胁迫对 3 种竹子叶片光合作用的影响。结果表明: 低盐胁迫(0.1% NaCl 处理)提高了小琴丝竹和刺黑竹叶片净光合速率、气孔导度和蒸腾速率, 而对花叶唐竹影响不大, 但随着盐胁迫浓度的增加, 3 种竹类植物叶片的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率呈逐渐下降的趋势; 3 种竹类植物胞间二氧化碳浓度随盐胁迫浓度的提高变化规律不明显。

**关键词** 花叶唐竹; 小琴丝竹; 刺黑竹; NaCl 胁迫; 光合作用

中图分类号 Q945.78

文献标识码 A

## Effects of NaCl Stress on Photosynthesis of Three Bamboos

CHEN Songhe<sup>1</sup>, HUANG Quanneng<sup>1</sup>, ZHENG Fengzhong<sup>2</sup>, MA Lijuan<sup>1</sup>, BAO Yuhang<sup>1</sup>

1 Xiamen Botanical Garden, Xiamen, Fujian 361003, China

2 College of Ocean and Environment Sciences, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361004, China

**Abstracts** Four important indices of photosynthesis, including net photosynthetic rate ( $P_n$ ), stomatal conductance ( $G_s$ ), transpiration rate ( $E$ ) and intercellular  $CO_2$  ( $C_i$ ) of the three bamboos of *Sinobambusa tootsik* f. *luteolo-albo-striata*, *Bambusa multiplex* 'Alphonse-karr' and *Chimonobambusa neopurpurea* were studied by LI-6400 Portable Photosynthesis System and treatments by different concentrations of NaCl (CK-0.0%, S1-0.1%, S2-0.3%, S3-0.5%, S4-0.7% and S5-1.0%) in order to discuss the effects of NaCl stress on the photosynthesis of bamboos. The results showed that: low concentrations of NaCl stress (0.1%) promoted the  $P_n$ ,  $G_s$  and  $E$  of *Bambusa multiplex* 'Alphonse-karr' and *Chimonobambusa neopurpurea*, but little effect on *Sinobambusa tootsik* f. *luteolo-albo-striata*; from 0.3% NaCl stress to 1.0% NaCl stress, with the increasing of salinity,  $P_n$ ,  $G_s$  and  $E$  of all three bamboos were decreased;  $C_i$  of all three bamboos was not in good relationship with the increasing of salinity.

**Key words** *Sinobambusa tootsik* f. *luteolo-albo-striata*; *Bambusa multiplex* 'Alphonse-karr'; *Chimonobambusa neopurpurea*; NaCl stress; Photosynthesis

doi 10.3969/j.issn.1000-2561.2013.05.019

土壤盐渍化是威胁生态安全和人类生存的重要环境问题之一<sup>[1]</sup>, 是影响农林业生产和生态环境的严重问题<sup>[2-3]</sup>。我国现有盐渍土面积约为  $2.7 \times 10^7$   $hm^2$ , 几乎占全国陆地面积的 1/3, 在东部沿海一带、东北和西北内陆等地域均有分布<sup>[3-4]</sup>。开发和利用如此大面积的盐碱地, 不仅有助于增加我国农业可利用土地资源, 缓解我国农业用地短缺矛盾, 也可以极大地改善生态环境, 增加绿色植被, 提高森林覆盖率。

竹类植物是我国森林生态系统的重要组成部分

分, 具有重要的经济和观赏价值<sup>[5]</sup>。竹类植物具有生长迅速、自我繁殖能力强、用途广泛、经济价值高等特点, 其地下茎相互盘结, 是防风固沙的理想植被, 也是滨海地区园林绿化的理想树种<sup>[6]</sup>。

我国东南沿海地区的气候适合竹子的生长。然而, 该地区受海洋的持续影响比较大, 海岸线长, 土壤多为风积沙土与潮积沙土, 结构差, 保水性差, 肥力低, 含盐量高, 并受海风影响, 空气中有较高的盐分, 对植物的生长影响较大, 严重影响了园林绿化及农林业的生产与发展<sup>[5]</sup>。滨海盐渍土的

收稿日期 2013-01-30

修回日期 2013-03-14

基金项目 厦门市科学技术局科研项目(No. 3502Z20102003); 厦门市市政园林局科研项目(No. YK-2000-02)。

作者简介 陈松河(1968年—), 男, 研究员; 研究方向: 园林植物(竹类)分类、栽培与抗逆性。

形成主要受海水的影响, 因此土壤及地下水盐分离子组成中,  $\text{Na}^+\text{-Cl}^-$  占 90% 以上<sup>[7]</sup>。竹子为非盐生植物<sup>[8]</sup>, 易受盐分影响, 在土壤盐分较高的滨海(沿海)地区, 竹类的受害情况严重。

光合作用是植物重要的生理活动指标, 在一定程度上决定着植物的生长速度。对植物进行光合作用的研究, 有助于了解其生长规律, 为科学栽培和管理提供依据, 测定植物光合作用及其生理生态研究过程中, 大多数的研究工作都在叶片不离体条件下进行<sup>[9-13]</sup>, 以最大限度地体现叶片的自然生长状况。以前在对盐胁迫条件下光合作用的研究大多数集中在农作物或草本植物上而对木本植物的研究相对较少<sup>[8]</sup>。本研究以不同浓度 NaCl 溶液处理花叶唐竹、小琴丝竹和刺黑竹, 探究其叶片光合作用相关指标的变化情况, 以期对滨海地区竹类植物的耐盐机理研究和推广应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

1.1.1 研究地概况 研究地厦门市园林植物园位于厦门本岛东部, 属南亚热带海洋性季风气候; 年平均气温 21.2 °C; 2 月平均温度 12.4 °C, 极端最低温度为 1.5 °C; 7 月平均温度 28.4 °C, 极端最高温 38.2 °C; 年均降水量 1 149.9 mm, 多集中在 4~9 月, 年平均相对湿度 77%, 土壤为砂壤土, 土壤肥力中等<sup>[14]</sup>。

1.1.2 试验材料 本研究所用试验材料均取自厦门市园林植物园竹类植物区。选用 2 年生健壮竹鞭繁殖的盆栽竹子为试验材料, 3 种竹子分别为花叶唐竹(*Sinobambusa tootsik* f. *luteolo-albo-striata*)、小琴丝竹(*Bambusa multiplex* 'Alphonse-karr') 和刺黑竹(*Chimonobambusa neopurpurea*)。实验用盆为 330 mm×270 mm 型白色塑料花盆。所用土壤统一用自配营养土, pH7.0。

### 1.2 方法

1.2.1 试验设计 采用竹子盆栽实验。于 2011 年 4 月份在光照、水分等条件一致的圃地埋鞭装盆, 塑料盆每盆装土 4.5 kg, 统一用自来水浇灌, 待竹子全部成活后, 移至光照条件一致的玻璃大棚内。2012 年 4 月 11 日进行第一次土壤盐化处理, 实验设置 6 个盐度水平, 3 个重复, 6 个盐度水平分别为 CK(自来水), S1 (0.1% NaCl 水溶液), S2 (0.3%), S3(0.5%), S4(0.7%), S5(1.0%)。实验过程中, 视盆土干湿情况, 每隔 3~5 d 浇约 2 kg

(以浇透盆土为准) 相应浓度的 NaCl 水溶液, 保持每种处理的土壤盐分浓度。观察盐害现象(注: 盐害等级分为 5 级。0 级: 无盐害症状; 叶尖、叶缘变黄的叶片约占全叶(叶尖至叶柄顶部)0~10%; 1 级: 轻度盐害, 叶尖、叶缘变黄的叶片约占全叶 10%(含 10%)~30%; 2 级: 中度盐害, 叶尖、叶缘变黄的叶片约占全叶 30%(含 30%)~60%; 3 级: 重度盐害, 大部分叶尖、叶缘变黄, 占全叶 60%(含 60%)~80%; 4 级: 极重度盐害, 叶片焦枯脱落、枝枯, 占全叶 80%(含 80%)至最终死亡)。盐处理时间为 2012 年 4 月 11 日~5 月 27 日。

本实验于 2012 年 5 月 25 日(加盐后第 45 天)测定了 3 种竹子的光合作用相关指标, 并测定了盆土的实际含盐量。

1.2.2 盆土实际含盐量的测定 用不同盐度(NaCl 水溶液)处理值(CK、0.1%、0.3%、0.5%、0.7%、1.0%)进行盐度梯度试验结束后, 取各盐度处理对应的混合土壤样本进行实际土壤盐度的测定, 具体取样和分析方法参见文献<sup>[15]</sup>。

1.2.3 光合参数测定 将不同浓度 NaCl 溶液处理过的 3 种竹子置于常温下恢复 1 h 后, 采用美国 LI-COR 公司生产的 LI-6400 便携式光合作用分析系统, 在 11:50~14:30 时段开放气路测定。每个浓度重复测定 3 次, 记录净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )、胞间二氧化碳浓度( $C_i$ )及蒸腾速率( $E$ )等指标。

1.2.4 统计分析 对分析测试得到的实验数据进行标准化或归一化处理, 用 Excel 软件进行绘图<sup>[16]</sup>。用 SPSS 软件进行回归分析和方差分析<sup>[17]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 盆土实际含盐量

由表 1 可见, 不同盐度(NaCl 水溶液)处理值(CK、0.1%、0.3%、0.5%、0.7%、1.0%)所对应的

表 1 不同盐度处理土壤实际含盐量

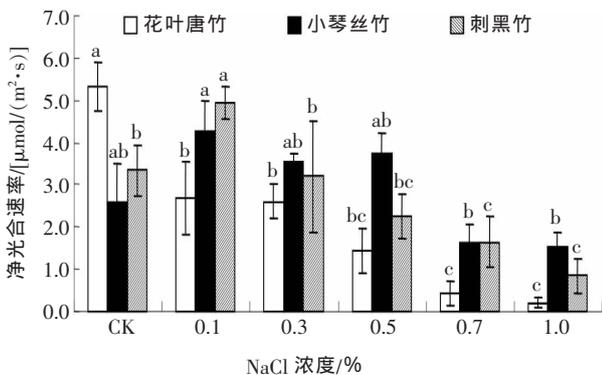
NaCl 浓度/%	盆土实际含盐量/%	盐害等级		
		花叶唐竹	小琴丝竹	刺黑竹
0.0	0.003±0.000	0	0	0
0.1	0.052±0.001	0	0	1
0.3	0.173±0.003	1	0	2
0.5	0.266±0.000	2	1	3
0.7	0.382±0.002	3	1	3
1.0	0.575±0.003	3	2	4

说明: 表中数据为 3 个重复的平均值。

土壤实际含盐量从低到高依次为 0.003%、0.052%、0.173%、0.266%、0.382%和 0.575%，即随着处理盐度的提高，土壤实际含盐量成直线上升的趋势。将土壤实际盐度(y)和不同盐度处理值(x)进行回归分析，两者回归方程为： $y=-0.003+0.566x$ ，其相关系数的平方值达到极显著水平( $R^2=0.998$ )。花叶唐竹、小琴丝竹和刺黑竹达到 2 级盐害时盆土实际含盐量分别为 0.266%、0.575%和 0.173%。盆土含盐量在 0.575%时小琴丝竹达到 2 级盐害，而花叶唐竹则达到 3 级盐害，刺黑竹甚至达到 4 级盐害(即死亡)。可见 3 种竹子的耐盐性为小琴丝竹>花叶唐竹>刺黑竹。

### 2.2 NaCl 胁迫对 3 种竹类植物叶片净光合速率的影响

从图 1 可知，花叶唐竹在盐胁迫下，净光合速率显著降低，其降低值呈阶梯型分布，即在 0.1% 盐浓度时降低到对照净光合速率的 50%，而后下降平缓，浓度为 0.7% 时，净光合速率再次显著下降，当盐胁迫浓度达 1.0% 时，花叶唐竹的净光合速率仅为对照的 3.86%；小琴丝竹的净光合速率在盐胁迫浓度为 0.1% 时呈上升趋势，盐胁迫浓度在 0.3%~0.5% 之间变化不明显，说明小琴丝竹对盐分有一定的耐受能力，当盐胁迫浓度达 0.7% 和 1.0% 时下降显著；刺黑竹在盐胁迫浓度为 0.1% 时净光合速率亦呈上升趋势，之后随盐胁迫浓度的增加其净光合速率亦呈下降趋势。研究结果表明在一定程度上低盐胁迫可促进某些竹类植物的净光合速率，但随着盐胁迫浓度的进一步提高，竹类植物的净光合速率均呈下降的趋势。



图中相同字母表示差异不显著，不同字母表示差异显著 ( $p<0.05$ )，下同。

图 1 盐胁迫对 3 种竹类植物叶片净光合速率的影响

### 2.3 NaCl 胁迫对 3 种竹类植物叶片气孔导度的影响

由图 2 可见，3 种竹类植物在不同浓度盐胁迫

下气孔导度的变化趋势，与其净光合速率的变化趋势相近。花叶唐竹在盐胁迫浓度为 0.1% 时变化不明显，之后随盐胁迫浓度的增大，气孔导度逐渐下降；小琴丝竹和刺黑竹的气孔导度，均在低盐度(0.1% NaCl)胁迫时先升高，后逐渐降低，二者气孔导度显著降低分别出现在 0.7% NaCl 和 1.0% NaCl 浓度处理。研究结果也表明在一定程度上低盐胁迫可提高某些竹类植物(如小琴丝竹和刺黑竹)的气孔导度，或对某些竹类植物(如花叶唐竹)的气孔导度影响不明显，但随着盐胁迫浓度的进一步提高，竹类植物的气孔导度均呈下降的趋势。

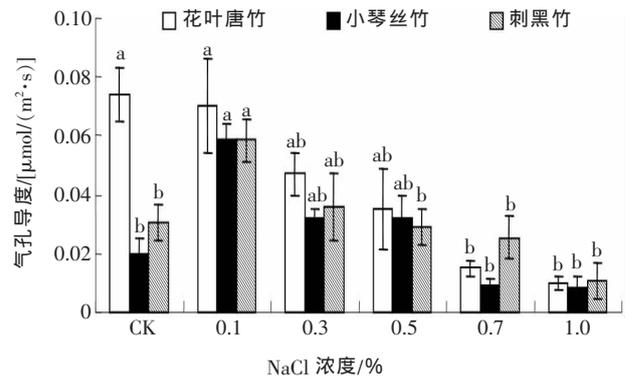


图 2 盐胁迫对 3 种竹类植物叶片气孔导度的影响

### 2.4 NaCl 胁迫对 3 种竹类植物叶片蒸腾速率的影响

由图 3 可知，盐胁迫下 3 种竹类植物叶片蒸腾速率的变化情况亦与净光合速率和气孔导度的变化趋势相近。花叶唐竹在低盐度胁迫(0.1% NaCl 处理)时其蒸腾速率变化不明显，而后随盐胁迫浓度的逐渐加大，叶片蒸腾速率逐级下降；小琴丝竹和刺黑竹亦均在低浓度(0.1% NaCl)盐胁迫时，蒸腾速率急剧增大，此后随浓度的增高，蒸腾速率逐渐下降，二者分别在 0.7% 和 1.0% NaCl 处理时下降幅度最显著，说明高盐度胁迫严重影响到了其蒸腾速率。

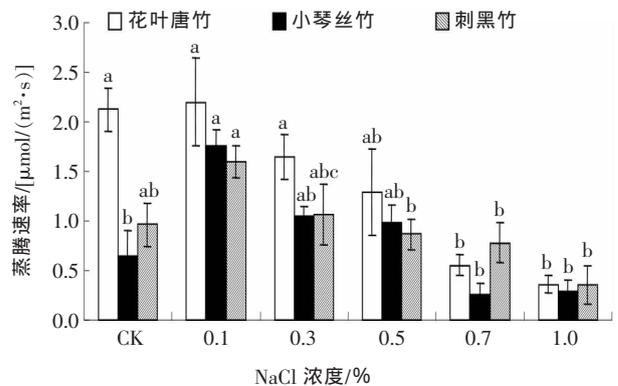


图 3 盐胁迫对 3 种竹类植物叶片蒸腾速率的影响

## 2.5 NaCl 胁迫对 3 种竹类植物叶片胞间二氧化碳浓度的影响

从图 4 可知, 3 种竹子胞间二氧化碳浓度随盐处理浓度的增加变化规律不明显。花叶唐竹在盐胁迫逐渐增加的情况下, 其胞间二氧化碳浓度呈波动升高趋势, 且各盐胁迫梯度的对应胞间二氧化碳浓度值均高于对照; 小琴丝竹在盐胁迫下胞间二氧化碳浓度先升高后降低, 在盐胁迫浓度为 0.7% 时, 胞间二氧化碳浓度降低至对照的 69.8%, 但当盐胁迫浓度为 1.0% 时, 胞间二氧化碳浓度又显著增大, 甚至高出对照 1.22 倍; 刺黑竹在盐胁迫下胞间二氧化碳浓度的变化在低盐浓度(0.1% NaCl 处理)时增高, 之后随盐胁迫浓度加大, 其胞间二氧化碳浓度无显著变化, 在盐胁迫浓度达 1.0% 时, 刺黑竹的胞间二氧化碳浓度增高。

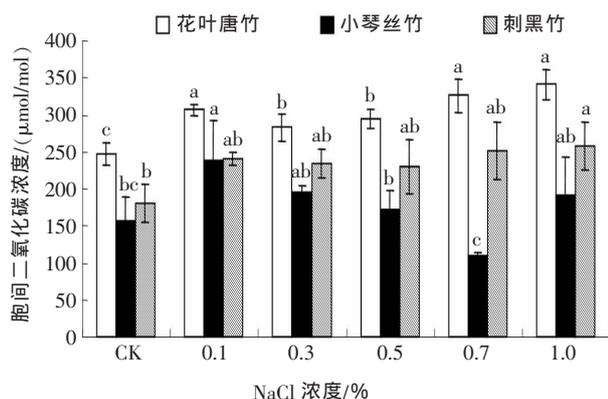


图 4 盐胁迫对 3 种竹类植物叶片胞间二氧化碳浓度的影响

## 3 讨论与结论

盐胁迫既可以直接影响植物的生长, 也可以通过抑制光合作用而间接地影响植物的生长, 且浓度越高、时间越长, 其影响越明显<sup>[18-20]</sup>。目前国内有关竹子耐盐性的研究绝大部分集中于盐胁迫下竹子生理生化指标变化等方面的分析测定, 对在盐胁迫下竹子光合作用的影响研究并不多, 本文对光合作用四个最为主要的指标净光合速率、气孔导度、胞间二氧化碳浓度和蒸腾速率进行了较为深入分析研究。从本文的研究结果可见, 盐胁迫对 3 种竹子叶片的净光合速率、气孔导度、胞间二氧化碳浓度和蒸腾速率的影响是非常明显的, 除低盐胁迫(0.1% NaCl 处理)外, 盐胁迫浓度与这些指标(除胞间二氧化碳浓度外)均呈负相关关系。

竹类为非盐生植物, 易受盐分影响, 在土壤盐分较高的滨海(沿海)地区, 竹类的受害情况严重。

但本文研究结果也显示, 低浓度盐胁迫(如 0.1% NaCl 处理)对小琴丝竹和刺黑竹两种竹子的净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )、胞间二氧化碳浓度( $C_i$ )有一定的促进作用, 对花叶唐竹影响也不大, 这与其他研究有些差异, 如李善春<sup>[8]</sup>认为随着盐胁迫浓度的增加(0.1%、0.3%、0.5%、0.7%), 各竹种的净光合速率、气孔导度、胞间二氧化碳浓度和蒸腾速率均呈下降的趋势; 洪有为<sup>[21]</sup>认为在低盐分胁迫下, 各竹种的净光合速率值差别不大, 但随着盐分胁迫浓度增加, 净光合速率均表现下降趋势。

净光合速率反映了植物利用光的能力, 是衡量光合能力的重要指标<sup>[21]</sup>。相关研究认为, 导致光合速率降低的因素包括气孔限制和非气孔限制<sup>[22]</sup>, 只有当胞间二氧化碳浓度降低和气孔导度减小时, 才可以得出光合速率降低是由于气孔限制所引起的结论。相反, 如果光合速率的降低伴随着胞间二氧化碳浓度的提高, 那么光合作用的主要限制因素肯定是非气孔因素, 即叶肉细胞的光合活性降低所引起的<sup>[23]</sup>。研究结果表明, 本试验 3 种竹类植物光合作用的主要限制因素是非气孔因素, 即叶肉细胞的光合活性降低所引起的。

## 参考文献

- [1] 教忠意, 王保松, 施士争, 等. 林木抗盐性研究进展[J]. 西北林学院学报, 2008, 23(5): 60-64.
- [2] 赵可夫, 李法曾. 中国盐生植物[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 1-10.
- [3] 谢安德, 王凌晖, 潘启龙, 等. 盐分胁迫对观光木幼苗生长及生理特性的影响[J]. 西北林学院学报, 2012, 27(2): 22-25.
- [4] 林栖凤, 李冠一. 植物耐盐性研究进展[J]. 生物工程进展, 2000, 20(2): 20-25.
- [5] 张梅, 郑郁善, 陈礼光. 滨海沙地竹子引种试验初报[J]. 西南林学院学报, 2007, 27(1): 48-50.
- [6] 荣俊冬, 王新屯, 陈美德, 等. 沿海沙地吊丝竹林植株养分分布特征研究[J]. 西南林学院学报, 2007, 27(3): 1-5.
- [7] 蔡阿兴, 陈章英, 蒋正琦, 等. 我国不同盐渍地区盐分含量与电导率的关系[J]. 土壤, 1997(1): 54-56.
- [8] 李善春. NaCl 盐胁迫下 5 种地被观赏竹生理特性的研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2005: 68.
- [9] 葛滢, 常杰, 陈增鸿, 等. 青冈净光合作用与环境因子的关系[J]. 生态学报, 1999, 19(5): 683-688.
- [10] 孙书存, 陈灵芝. 东灵山地区辽东栎叶片的生长及其光合作用[J]. 生态学报, 2000, 20(2): 212-217.
- [11] 常杰, 葛滢, 陈增鸿, 等. 青冈常绿叶林主要植物种叶片的光合特性及其群落学意义[J]. 植物生态学, 1999, 23(5): 393-400.
- [12] 王邦锡, 王辉, 黄久常. 沙拐枣同化枝的光合作用和呼吸作用对生长季节光照强度高温和干旱的响应[J]. 林业科学,

- 1997, 33(1): 18-24.
- [13] 胡新生, 五世绩. 温度和湿度对杨树无性系光合机构 CO<sub>2</sub> 瞬间响应分析[J]. 林业科学研究, 1996, 9(4): 368-375.
- [14] 厦门市地理学会. 厦门经济特区地理[M]. 厦门: 厦门大学出版社, 1995: 1-70.
- [15] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 1984.
- [16] 宇传华, 颜 杰. Excel 与数据分析[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002: 164-168.
- [17] 苏金明, 傅荣华, 周建斌, 等. 统计软件 SPSS 系列应用实战篇[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002: 255-281.
- [18] Bethke P C, Drew M C. Stomatal and nonstomatal components to inhibition of photosynthesis in leaves of *Capsicum annuum* during progressive exposure to NaCl salinity[J]. *Plant Physiology*, 1992, 99: 219-226.
- [19] Munns R. Physiological processes limiting plant growth in saline soils: some dogmas and hypotheses[J]. *Plant Cell and Environment*, 1993, 16(1): 15-24.
- [20] Sultana N, Ikeda T, Itoh R. Effect of NaCl salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains[J]. *Environmental and Experimental Botany*, 1999, 42(3): 211-220.
- [21] 洪有为. 沿海沙地引种麻竹等 6 个竹种抗风抗盐抗旱的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2005: 24.
- [22] 林植芳, 李双顺, 林桂珠. 衰老叶片和叶绿体中 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的积累与膜脂过氧化的关系[J]. *植物生理学报*, 1988, 14(1): 12-16.
- [23] 王以柔, 曾韶西, 李晓萍. 低温诱导水稻幼苗的光氧化伤害[J]. *植物生理学报*, 1990, 16(2): 102-108.

责任编辑: 沈德发