

氯化钠胁迫对雷竹根系活力和细胞膜透性的影响

何奇江¹, 李楠², 傅懋毅³, 周文伟², 王波²

(1. 杭州市林业科学研究院, 浙江 杭州 310016; 2. 浙江省林业科学研究院, 浙江 杭州 310023; 3. 中国林业科学研究院 亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400)

摘要: 为了研究雷竹 *Phyllostachys violascens* 在氯化钠胁迫下的耐盐能力, 通过不同质量浓度氯化钠处理的 1 年生盆栽模拟试验, 对氯化钠胁迫对雷竹根系活力和细胞膜透性的影响进行了分析。结果表明: 氯化钠胁迫下根系活力对照最高为 $12.83 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$, 其次是 $3.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 氯化钠处理为 $10.80 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$, 与对照没有显著性差异 ($P=0.326$), $5.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 氯化钠处理最低, 为 $7.22 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$, 与对照有显著性差异 ($P=0.008$)。在氯化钠胁迫的前期雷竹对胁迫有一定的应激能力, 根系能够保持较高的活力, 但随着氯化钠胁迫的加重和时间的推移, 根系受到损伤, 活力下降; 细胞膜透性随氯化钠胁迫质量浓度的变化而变化, 对照处理的细胞膜透性最小为 6.03%, 1.0 和 $3.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 氯化钠处理的细胞膜透性基本一致, 分别为 6.97% 和 6.93%, 而 $5.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 氯化钠处理的细胞膜透性明显上升为 8.75%, 在氯化钠胁迫前期细胞膜透性的变化比较剧烈, 而后期就比较平稳。图 2 表 2 参 25

关键词: 植物生理学; 雷竹; 根系活力; 细胞膜透性; 氯化钠胁迫

中图分类号: S718.3; Q945.78

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2013)06-0944-06

Root activity and cell membrane permeability in *Phyllostachys violascens* with NaCl stress

HE Qijiang¹, LI Nan², FU Maoyi³, ZHOU Wenwei², WANG Bo²

(1. Hangzhou Forestry Academy, Hangzhou 310016, Zhejiang, China; 2. Zhejiang Forestry Academy, Hangzhou 310023, Zhejiang, China; 3. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang 311400, Zhejiang, China)

Abstract: In order to expand *Phyllostachys violascens* planting area, we try to find the reason of *Ph. violascens* fail to grow well even decay and death in the saline-alkali land, therefore salt tolerance in *Phyllostachys violascens* with NaCl stress is studied, root activity and cell membrane permeability were studied in a pot culture experiment with a different concentration of NaCl (mass concentration, respectively 0, 1.0, 3.0, 5.0 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) treatments: (1) $12.83 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ treated with 0 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl solution, (2) $9.4 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ treated with 1.0 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl solution, (3) $10.80 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ treated with 3.0 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl solution, (4) $7.22 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ treated with 5.0 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl solution. Results showed that Treatment 1 made roots the most active, Treatment 3 was not significantly different from the control ($P = 0.326$), and Treatment 4 was significantly different from the control ($P = 0.008$). *Ph. violascens* showed some adaptability under NaCl stress with higher root activity in the earlier stages. However, the root system was damaged, and vigor declined over time. Cell membrane permeability of the Treatment 1 was 6.03%; there were no significant differences with Treatments 2 (6.97%) or 3 (6.93%), but Treatment 4 was greater at 8.75%. Overall, changes in cell membrane permeability were greater in the early stages of NaCl stress treatment and more stable in the later stages. [Ch, 2 fig. 2 tab. 25 ref.]

Key words: plant physiology; *Phyllostachys violascens*; root activity; cell membrane permeability; NaCl

收稿日期: 2012-12-11; 修回日期: 2013-02-06

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2009BADB2B603)

作者简介: 何奇江, 副研究员, 博士, 从事竹林培育与生理生态研究。E-mail: heqijiang@21cn.com

stress

雷竹 *Phyllostachys violascens* 是中国特有的优良栽培笋用竹种, 通过覆盖早出技术产值高达 45 万元·hm⁻²。由于效益好, 已在浙江省广泛栽培, 并发展至上虞等县市的海涂栽植。由于海涂的土壤盐分含量较高(以氯化钠为主), 绝大部分引种的雷竹生长缓慢, 有的已开始衰败死亡。目前, 氯化钠胁迫下植物的耐盐性, 如植物生长表现、生理生化变化^[1-2], 对植物器官的新老交替的重要影响^[3], 植物的根系活力^[4]和根毛发育^[5]等有过相关研究。根系活力和细胞膜透性是植物耐盐性的重要参考指标, 一般研究均使用根系活力来衡量植物根系的吸收和合成能力^[6], 而根系活力也是衡量植物根系抗御逆境能力大小的重要指标, 可以反映出植物抗盐能力的高低。在植物遭受盐胁迫时, 其内部结构和生理功能均会发生变化, 其中细胞膜透性大小能够反映细胞质膜受害的程度^[7-8]。另外, 细胞膜结构和功能的紊乱以及膜透性的变化是逆境胁迫作用的关键所在^[9]。研究^[10-12]表明, 盐胁迫对植物危害的一个重要方面是对膜结构和组成的影响, 因此, 细胞膜的稳定性可用来判断不同植物的抗逆性^[13-14]。为了研究雷竹在氯化钠胁迫下根系生命活动的变化及雷竹的耐盐能力, 我们对不同质量浓度处理下的雷竹的根系活力和细胞膜透性进行了系统研究, 其中细胞膜透性用相对电导率来表示。

1 材料和方法

1.1 试验材料

盆栽试验在浙江省林业科学研究院竹类植物园内进行。试验的雷竹于 2009 年 3 月盆栽到 60 cm × 50 cm 的陶瓷盆里, 盆内土壤取自浙江省林业科学研究院竹类植物园雷竹林内, 雷竹年龄为 1 年生竹苗, 直径基本一致, 约 3 cm, 共 40 盆, 并于 7 d 后对死亡的雷竹进行重新栽植, 栽植后进行日常管理。

1.2 试验设计

2009 年 10 月 30 号对盆栽竹子用不同质量浓度氯化钠(NaCl)溶液进行浇灌, 质量浓度分别为 0, 1.0, 3.0, 5.0 g·L⁻¹, 10 盆·处理⁻¹, 2 d 浇 1 次, 每次浇灌至溶液从盆底流出为止, 并在第 6, 12, 18, 24, 30 天进行 5 次取样并测定。

1.3 样品采集

取成熟活竹根若干根用于根系活力测定; 在雷竹枝条的中间层采用混合采样法采集植物功能叶片, 低温处理下带回实验室进行细胞膜透性测定。3 盆·次⁻¹·处理⁻¹,

1.4 样品分析

根系活力采用氯化三苯基四氮唑(TTC)法^[15]测定。称取根尖样品(鲜样)0.5 g 放入称量皿中, 加入体积分数为 0.4%TTC 溶液和磷酸缓冲液(pH 7.0)各 5.0 mL, 使根充分浸没在溶液内, 在 37 ℃下黑暗保温 1~3 h, 立即加入 2.0 mL 浓度为 1.0 mol·L⁻¹的硫酸, 以停止反应。把根取出, 用滤纸吸干水分, 放入研钵中, 加乙酸乙酯 3.0~4.0 mL, 充分研磨, 提取 TTC。把红色提取液移入刻度试管, 并用少量乙酸乙酯把残渣洗涤 2~3 次, 皆移入刻度试管, 最后加乙酸乙酯使总量为 10.0 mL, 用分光光度计在波长 485 nm 下比色, 以空白试验做参比测吸光度, 查标准曲线, 求四氮唑还原量。四氮唑还原强度即为根系活力指数, 其计算公式如下: $\text{TTC 还原强度} = \frac{\text{TTC 还原量}}{\text{根质量} \times \text{时间}}$ 。其中: 根鲜质量 TTC 还原强度单位为 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$;

TTC 为原量单位为 μg ; 根质量单位为 g; 时间单位为 h。

细胞膜透性的测定方法: 称取叶片 0.25 g, 剪成 0.5 cm × 0.5 cm 的小片, 先用清水冲洗 3 次, 再用蒸馏水冲洗 2 次, 用滤纸吸干水分。放入小烧杯中, 加入蒸馏水 20 mL, 置于 25 ℃恒温箱中保存 1 h, 取出用电导仪(型号 DDB6200 便携式电导率仪)测量电导率; 再放入 100 ℃沸水浴中 20 min, 取出, 冷却后测量煮沸后的电导率^[16]。用电导仪分别测定电导率, 同时测定蒸馏水(空白)的电导率。用相对电导率来反应细胞膜的透性, 计算公式如下: $\text{相对电导率} = \frac{\text{处理电导率} - \text{蒸馏水电导率}}{\text{处理煮沸后电导率} - \text{蒸馏水煮沸后的电导率}}$ 。其

中: 电导率单位为 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$, 相对电导率以%计。

数据分析采用 Spss17.0 和 Excel 软件。

2 结果与分析

2.1 氯化钠胁迫对雷竹根系活力的影响

从图 1 可以看出:不同质量浓度氯化钠处理下雷竹根系活力变化是不一样的,其中由于对照没有受到盐的胁迫,因此对照的根系活力最高,其次是 $3.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 氯化钠,而 $5.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 氯化钠处理的根系活力为最低,对照根系活力是 $5.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 氯化钠处理的 1.78 倍, $3.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 氯化钠处理的根系活力是 $5.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 氯化钠的 1.50 倍。通过 SPSS 软件分析, $1.0, 3.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 氯化钠处理的根系活力与对照处理没有显著性差异($P=0.100, P=0.326$),而 $5.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 氯化钠处理的根系活力与对照有显著性差异($P=0.008$),因此雷竹根系在 $5.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 氯化钠处理下根系活力下降迅速,也就可以认为根系的吸收和合成能力也迅速下降,这必将影响雷竹从土壤中营养的吸收和整个植物的生长。但 $1.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 氯化钠处理的平均值比 $3.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 氯化钠处理还低,其中的原因还待进一步分析。

为了进一步分析根系活力的变化,对雷竹不同根系活力在不同质量浓度氯化钠处理下随时间的变化进行了分析(表 1)。可以看出: 3.0 和 $5.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 氯化钠处理下在胁迫第 6 天时根系活力都比较高,但随后又迅速下降,在第 18 天取样时达到最低值,经多重比较,与对照和 $1.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 氯化钠处理都有显著差异($P<0.05$)。 $1.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 氯化钠处理在第 12 天取样是根系活力达到最高,与其他处理都有显著差异($P<0.05$)。 $1.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 氯化钠处理对雷竹根系的刺激有限,只有达到一定的时间积累后才能使根系具备一定的应激能力,因此 $1.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 氯化钠处理的雷竹根系对氯化钠胁迫的应激能力比质量浓度高处理的要稍迟,但在

第 18 天取样时达到最低值,与其他处理都有极显著差异($P<0.01$)。 3.0 和 $5.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 氯化钠根系活力随后又上(第 24 天取样时)又下降(第 30 天取样时)的原因有可能是在竹根长在氯化钠胁迫环境下长出了新的根尖,由于这些根尖在氯化钠胁迫环境下生长,所以有一定的耐盐能力,而再经过 6 d 处理后,这些新根尖又长时间受了氯化钠胁迫而损伤,因此根系活力又下降。但从这 2 种处理比较来看, $3.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 氯化钠处理的根系活力明显比 $5.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 氯化钠处理的要高, $3.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 氯化钠处理在第 24 天和第 30 天取样时分别是 $5.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 氯化钠处理的 1.59 倍($P=0.013$)和 3.62 倍($P=0.104$),因此高质量浓度的氯化钠胁迫对雷竹根系活力的影响更大。另外,对照和 $1.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 氯化钠处理的雷竹在第 18 天取样后都持续上升,因此,单从根系活力来看,雷竹能够承受 $1.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 氯化钠胁迫。

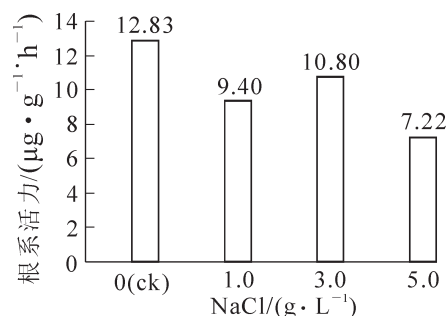


图 1 不同质量浓度氯化钠处理下的根系活力

Figure 1 Root activity under different concentrations of NaCl

表 1 不同质量浓度氯化钠胁迫下根系活力的变化过程

Table 1 Change process of root activity under different concentrations of NaCl

氯化钠/(g·L ⁻¹)	根系活力/(μg·g ⁻¹ ·h ⁻¹)				
	6	12	18	24	30 d
0(对照)	12.50 a	10.18 a	6.26 a	9.61 a	25.59 a
1.0	8.18 b	16.10 b	1.73 b	7.59 a	13.40 b
3.0	18.02 c	10.46 a	4.75 c	13.79 b	6.95 c
5.0	13.48 a	7.98 c	4.08 c	8.65 a	1.92 c

说明:同列数值后不同字母表示差异达 5%显著水平($P<0.05$)。

2.2 氯化钠胁迫对雷竹细胞膜透性的影响

对不同质量浓度氯化钠处理下,5 次样品的细胞膜透性进行了平均。从图 2 可以看出:雷竹细胞膜透性大小随氯化钠质量浓度的变化而变化,对照的细胞膜透性最小, 1.0 和 $3.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 氯化钠处理的细胞膜透性基本一致,与对照处理差异不显著($P=0.055, P=0.065$),而 $5.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 氯化钠处理的细胞膜透性明显上升,比对照增加了 45.11%,差异极显著($P<0.01$)。因此单从雷竹的细胞膜透性来说,在 $3.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 氯化钠处理时,雷竹有一定的耐盐能力。

为了进一步分析雷竹细胞膜透性的变化，对雷竹细胞膜透性在不同质量浓度处理下随时间的变化进行分析。从表 2 可以看出：对照处理的细胞膜透性整个变化过程比较平稳，一般为(6±0.5)%，其他 3 种处理下雷竹的细胞膜透性变化规律比较一致。3 种处理在第 6 天取样时都比较高，除 3.0 g·L⁻¹ 氯化钠处理与对照差异不显著外($P=0.090$)，1.0 g·L⁻¹ 氯化钠处理都与对照差异显著($P=0.020$)，而 5.0 g·L⁻¹ 氯化钠处理与对照差异极显著($P=0.005$)；在第 12 天取样时迅速下降，3 种不同质量浓度的处理都比对照还低，差异极显著($P<0.01$)；第 18 天取样时又迅速上升，3.0 和 5.0 g·L⁻¹ 氯化钠处理与对照差异显著($P=0.040$, $P=0.022$)；随后的变化较平稳，1.0 和 3.0 g·L⁻¹ 氯化钠处理的细胞膜透性在第 24 天和第 30 天时与对照差异不显著($P>0.05$)，而 5.0 g·L⁻¹ 氯化钠处理的细胞膜透性在第 24 天与对照差异显著($P=0.016$)，在第 30 天时与对照差异极显著($P<0.01$)。

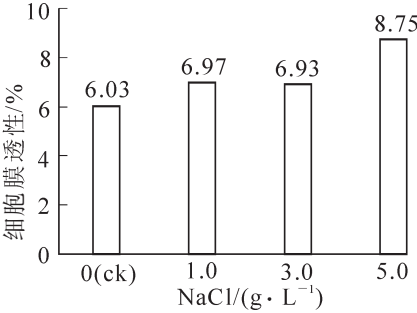


图 2 不同质量浓度氯化钠处理下的细胞膜透性

Figure 2 Membrane permeability under different concentrations of NaCl

表 2 不同质量浓度氯化钠处理下的细胞膜透性变化过程

Table 2 Change process of membrane permeability under different concentrations of NaCl

氯化钠/(g·L ⁻¹)	细胞膜透性/%				
	6	12	18	24	30 d
0(对照)	5.70 a	5.50 a	6.21 a	6.33 a	6.42 a
1.0	11.35 b	2.10 b	6.98 ab	7.90 ab	6.51 a
3.0	9.44 ab	1.39 b	8.06 b	8.00 ab	7.74 a
5.0	13.12 b	2.83 b	8.35 b	9.37 b	10.06 b

说明：同列数值后不同字母表示差异达 5%显著水平 ($P<0.05$)。

3 结论与讨论

雷竹根系活力对照为最高，其次是 3.0 g·L⁻¹ 氯化钠处理，1.0 g·L⁻¹ 氯化钠处理位居第 3 位，而 5.0 g·L⁻¹ 氯化钠处理的根系活力为最低。从 3 个受氯化钠胁迫的处理来看，在较低质量浓度下，雷竹根系能够保持较高的根系活力，但随着氯化钠胁迫质量浓度的增高，根系受到损伤，活力下降。单从根系活力来看，雷竹能够承受 1.0 g·L⁻¹ 氯化钠胁迫。在氯化钠胁迫的前期，雷竹在较高的盐分胁迫下，根系能够保持较高的根系活力，可能是因为通过提高代谢作用来缓解盐分对胁迫的伤害，但随着氯化钠质量浓度加大和胁迫时间的延长，造成能量的过多消耗，严重抑制了植株的生长，根系受到损伤，因此根系活力下降，这与苦楝 *Melia azedarach*^[17]，杂交新美柳 *Salix hybrid*^[18]等植物的研究结果相同。在较高质量浓度氯化钠胁迫第 24 天时根系活力又上升的原因有可能是在竹根在氯化钠胁迫环境下长出了新的根尖，所以有一定的耐盐能力。

雷竹细胞膜透性大小随氯化钠质量浓度的变化而变化，对照处理的细胞膜透性最小，1.0 和 3.0 g·L⁻¹ 氯化钠处理的细胞膜透性基本一致，而 5.0 g·L⁻¹ 氯化钠处理的细胞膜透性明显上升，这说明雷竹细胞膜在氯化钠质量浓度较低时受到的影响较小，当质量浓度升高达到一定程度时，细胞膜受损加重，这与禾本科 Poaceae 的其他植物的研究相同^[19]。植物在盐逆境中细胞膜透性的增加是组织受到伤害的表现^[20]，也势必引起各种物质和离子的进出^[21]，进而影响细胞分裂、生长、发育和光合^[22]。雷竹在氯化钠胁迫下的细胞膜透性变化规律比较一致，前期细胞膜透性的变化比较剧烈，而后期比较平稳。在第 6 天取样时细胞膜透性比较大的原因是 3 种氯化钠胁迫处理的雷竹刚处在氯化钠胁迫的前期，处在适应阶段，各种体内的生理活动变化比较剧烈，引起各种物质和离子的进出。细胞膜透性在第 12 天测定值明显降低，我们在同期研究中也发现，雷竹在盐胁迫下，超氧化物歧化酶(SOD)活性和过氧化物酶(POD)活性在第 12 天时比对照处理明显升高^[23]，而 SOD 和 POD 的活性与膜修复有着重要的关系，有保护膜的作用，因此，SOD 和 POD 的上升使细胞膜透性在第 12 天时迅速下降。另外，雷竹经过一段时间的氯化钠胁迫，

体内的生理活动非常旺盛,叶片处于生理活动最旺盛的时期,也有可能导致细胞膜透性变小,这与夏阳等^[24]和曹辉等^[25]的研究相一致。其中,在后期 1.0 和 3.0 g·L⁻¹ 氯化钠处理的雷竹的细胞膜透性逐渐趋于稳定,这主要是经过一段时间的氯化钠胁迫,雷竹通过调节自身生理机能而逐渐适应了低浓度的氯化钠胁迫,这也与我们对盐胁迫下雷竹的 SOD 和 POD 活性的变化研究相一致^[23]。而 5.0 g·L⁻¹ 氯化钠处理由于质量浓度较高,细胞外渗物质增多,细胞受伤害的程度也增大,雷竹的自身生理调节机能受到了破坏,因此,细胞膜透性一直处在逐渐升高的状态。

中国大面积的盐碱地中,除新疆和松花江部分地区土壤以硝酸盐为主外,其他地区主要是含有 Na⁺, K⁺, Mg²⁺等 3 种阳离子和 CO₃²⁻, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻等阴离子的复合盐碱地,因此研究混合盐碱胁迫才能更好地解决实际问题。本研究仅研究单盐氯化钠胁迫对雷竹的影响,因此,为了更好地研究盐胁迫对雷竹根系活力和细胞膜透性的影响,应该进一步采用混合盐来处理,或通过实际栽培地土壤的分析来针对性地研究雷竹受盐胁迫下的各种生理生态变化。

参考文献:

- [1] TANG Renjie, LIU Hua, BAO Yan, *et al.* The woody plant poplar has a functionally conserved salt sensitive pathway in response to salinity stress[J]. *Plant Mol Biol*, 2010, **74**: 367 – 380.
- [2] SAYED H E S A. Influence of NaCl and Na₂SO₄ treatments on growth development of broad bean(*Vicia faba* L.) plant [J]. *J Life Sci*, 2011, **5**(7): 513 – 523.
- [3] MUNNS R, TESTER M. Mechanisms of salinity tolerance[J]. *Ann Rev Plant Biol*, 2008, **59**: 651 – 661.
- [4] YI Liangpeng, MA Jian, LI Yan. Impact of salt stress on the features and activities of root system for three desert halophyte species in their seedling stage [J]. *Sci China Ser D Earth Sci*, 2007, **50**: 97 – 106.
- [5] WANG Youning, ZHANG Wensheng, LI Kexue, *et al.* Salt-induced plasticity of root hair development is caused by ion disequilibrium in *Arabidopsis thaliana* [J]. *Plant Res*, 2008, **121**: 87 – 96.
- [6] 王素平, 郭世荣, 李璟, 等. 盐胁迫对黄瓜幼苗根系生长和水分利用的影响[J]. *应用生态学报*, 2006, **17** (10): 1883 – 1888.
WANG Suping, GUO Shirong, LI Jing, *et al.* Effects of salt stress on the root growth and leaf water use efficiency of cucumber seedlings [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2006, **17**(10): 1883 – 1888.
- [7] 袁琳, 克热木·伊力, 张利权. NaCl 胁迫对阿月浑子实生苗活性氧代谢与细胞膜稳定性的影响[J]. *植物生态学报*, 2005, **29**(6): 985 – 991.
YUAN Lin, KARIM Ali, ZHANG Liqun. Effects of NaCl stress on active oxygen metabolism and memberane stability in *Pistacia vera* seedlings[J]. *Chin J Plant Ecol*, 2005, **29**(6): 985 – 991.
- [8] 李晓燕, 宋占午, 董志贤. 植物的盐胁迫生理[J]. *西北师范大学学报: 自然科学版*, 2004, **40**(3): 106 – 111.
LI Xiaoyan, SONG Zhanwu, DONG Zhixian. Plant physiological response to salt stress [J]. *J Northwest Norm Univ Nat Sci*, 2004, **40**(3): 106 – 111.
- [9] 王玉祥, 张博, 王涛. 盐胁迫对苜蓿叶绿素、甜菜碱含量和细胞膜透性的影响[J]. *草业科学*, 2009, **26**(3): 53 – 56.
WANG Yuxiang, ZHANG Bo, WANG Tao. Effect of salt stress on the contents of chlorophyll and betaine and its membrane permeability of *Medicago sativa* [J]. *Pratac Sci*, 2009, **26**(3): 53 – 56.
- [10] 汪月霞, 孙国荣, 王建波, 等. NaCl 胁迫下星星草幼苗 MDA 含量与膜透性及叶绿素荧光参数之间的关系 [J]. *生态学报*, 2006, **26**(1): 122 – 129.
WANG Yuexia, SUN Guorong, WANG Jianbo, *et al.* Relationships among MDA content, chlorophyll fluorescence parameters of stress plasma membrane *Puccinellia tenuiflora* permeability and the seedlings under NaCl [J]. *Acta Ecol Sin*, 2006, **26**(1): 122 – 129.
- [11] 张金凤, 孙明高, 夏阳, 等. 盐胁迫对石榴和樱桃脯氨酸含量和硝酸还原酶活性及电导率的影响[J]. *山东农业大学学报: 自然科学版*, 2004, **35**(2): 164 – 168.
ZHANG Jinfeng, SUN Minggao, XIA Yang, *et al.* Salt stresses affect proline content, nitrate reductase activities and electrical conductivity of seedling leaves of megranate and cherry[J]. *J Shandong Agric Univ Nat Sci*, 2004, **35** (2): 164 – 168.

- [12] 袁祖华, 蔡雁平. 盐胁迫下嫁接黄瓜幼苗有机渗透调节物质含量及膜脂过氧化水平研究[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2007, **33**(2): 180 – 182.
- YUAN Zuhua, CAI Yanping. Content of organic osmorugulatory substances and level of membrane lipid peroxidation level in grafted cucumber seedlings under salt stress [J]. *J Hunan Agric Univ Nat Sci*, 2007, **33** (2): 180 – 182.
- [13] HAGEMETER J. Salt [G]//PRASAD M N V. *Plant Ecophysiology*. New York: Wiley, 1997: 173 – 205.
- [14] PREMACHANDRA G S, SANEOKA H, FUJITA K, *et al.* Leaf water relations osmotic adjustment, cell membrane stability. epicuticular wax load and growth asaffected by increasing water deficits in *Sorghum* [J]. *JExp Bot*, 1992, **43**: 1569 – 1576.
- [15] 刘萍, 李明军. 植物生理学实验技术[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [16] 刘会超, 贾文庆. 盐胁迫对白三叶幼苗叶片叶绿素含量和细胞膜透性的影响[J]. 广东农业科学, 2008, **35** (12): 58 – 60.
- LIU Huichao, JIA Wenqing. Study on some physiological characteristics of *Trifolium repens* leaves under salt stress [J]. *Guangdong Agric Sci*, 2008, **35**(12): 58 – 60.
- [17] 苗海霞, 孙明高, 夏阳, 等. 盐胁迫对苦楝根系活力的影响[J]. 山东农业大学学报: 自然科学版, 2005, **36** (1): 9 – 12.
- MIAO Haixia, SUN minggao, XIA Yang, *et al.* Effects of salt stress on root activity of *Melia azedarach* L. seedlings [J]. *J Shandong Agric Univ Nat Sci*, 2005, **36**(1): 9 – 12.
- [18] 吴薇, 高捍东, 蔡伟建. 盐碱胁迫和 NO 处理对杂交新美柳根系活力的影响[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2008, **32**(4): 59 – 62.
- WU Wei, GAO Handong, CAI Weijian. Effects of alkali-saline stress and NO treatment on root activity of *Salix hybrid*[J]. *J Nanjing For Univ Nat Sci*, 2008, **32**(4): 59 – 62.
- [19] 白玉娥, 易津, 谷安琳, 等. 盐胁迫对 11 种禾本科牧草根细胞膜透性的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2000, **15**(5): 51 – 54.
- BAI Yu'e, YI Jin, GU Anlin, *et al.* Effects of salt stress on the cell membrane penetration of root system in 11 grasses[J]. *J Arid Land Resour Environ*, 2000, **15**(5): 51 – 54.
- [20] HASEGAWA P, BRESSAN R A, ZHU J K, *et al.* Plant celluler and moleculer responses to high salinity [J]. *Ann Rev Plant Mol BioI*, 2000, **51**: 463 – 499.
- [21] 何奇江, 李楠, 王波, 等. 盐胁迫下雷竹的离子选择性吸收能力研究 [J]. 浙江林业科技, 2010, **30** (2): 56 – 59.
- HE Qijiang, LI Nan, WANG Bo, *et al.* Study on ionic selective absorption of *Phyllostachys praecox* 'Prevernalis' under salt stress [J]. *J Zhejiang For Sci Technol*, 2010, **30**(2): 56 – 59.
- [22] HORIE T, SCHROEDER J I. Sodium transporters in plants: diverse genes and physiological function [J]. *Plant Physiol*, 2004, **136**: 2457 – 2462.
- [23] 何奇江, 李楠, 王波, 等. 盐胁迫对雷竹生理生化特性的影响[J]. 浙江林业科技, 2011, **31**(1): 44 – 48.
- HE Qijiang, LI Nan, WANG Bo, *et al.* Effect of NaCl treatment on phisiochemical properties of *Phyllostachys praecox* 'Prevernalis' [J]. *J Zhejiang For Sci Technol*, 2011, **31**(1): 44 – 48.
- [24] 夏阳, 梁慧敏, 束怀瑞, 等. NaCl 胁迫下苹果幼树叶膜透性、脯氨酸及矿质营养水平的变化[J]. 果树学报, 2005, **22**(1): 1 – 5.
- XA Yang, LIANG Huimin, SHU Huairui, *et al.* Changes of leaf membrane penetration, proline and mineral nutrient contents of young apple tree under NaCl stress [J]. *J Fruit Sci*, 2005, **22**(1): 1 – 5.
- [25] 曹辉, 于晓英, 邱收, 等. 盐胁迫对萱草生长及其相关生理特性的影响[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2007, **33**(6): 690 – 693.
- CAO Hui, YU Xiaoying, QIU Shou, *et al.* Effects of salt stress on growth and related physiological characteristic in *Hemerocallis fulva* [J]. *J Hunan Agric Univ Nat Sci*, 2007, **33**(6): 690 – 693.