

土壤盐度对加拿利海枣幼苗生长与生理指标的影响

廖启料

(厦门市绿化管理中心, 福建 厦门 361004)

摘要: 将加拿利海枣(*Phoenix canariensis* Hort. ex Chab.)幼苗培养在不同盐度(1.2 ~ 14.5)的土壤中, 探讨土壤含盐量对其生长及生理指标的影响。结果表明: 随基质盐度的提高, 幼苗新生叶片数降低且叶片死亡数增加。随基质盐度的提高, 叶绿素含量增加, 叶绿素 a/b 在低盐度时增加而当盐度超过 5.1 时下降。土壤盐度在 1.2 ~ 5.1 时, MDA 含量约为 $4.30 \mu\text{mol g}^{-1}$, 以后随土壤盐度的升高而升高。SOD 活性在低盐时升高, 土壤盐度超过 10.8 时, SOD 活性迅速下降。盐胁迫下叶片 Na^+ 和 Cl^- 含量升高, K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量及 K^+/Na^+ 下降。盐胁迫导致加拿利海枣生长下降的主要原因是叶片有效光合面积减少, 离子平衡破坏。这些表明加拿利海枣具有很高的耐盐能力, 其幼苗在土壤盐度 5.1 时生长正常, 当土壤盐度为 10.8 时才开始出现受害症状, 适宜在滨海地区推广应用。

关键词: 加拿利海枣; 耐盐性; 渗透调节; 离子平衡

doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2012.02.010

Influence of Soil Salinity on Growth and Physiological Indexes of *Phoenix canariensis* Seedlings

LIAO Qi-liao

(Xiamen Greening Administration Center, Xiamen 361004, China)

Abstract: The growth and physiology characteristics of *Phoenix canariensis* seedlings were studied cultured on different soil salinity ranged from 1.2 to 14.5. The results showed that the number of new leaves decreased and death leaves increased with soil salinity increment. The chlorophyll content increased under high soil salinity, while chlorophyll a/b increased under low salinity and declined under high salinity more than 5.1. MDA content maintained about $4.30 \mu\text{mol g}^{-1}$ under salinity from 1.2 to 5.1, then increased with soil salinity. The SOD activity increased under low salinity, while decreased rapidly when salinity higher than 10.8. Under salt stress, Na^+ and Cl^- contents in leaves increased, while K^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+} contents and ratio of K^+/Na^+ declined. The main reasons of growth decline under salt stress were effective photosynthetic area decrease and destroy of ions balance. These indicated that *Phoenix canariensis* displayed high resistance to salt stress was suitable to plant widely in coastal districts, which could grow normally under soil salinity lower than 5.1 and only shown damage symptoms above salinity of 10.8.

Key words: *Phoenix canariensis*; Salt resistance; Osmotic regulation; Ion balance

棕榈科(Palmae)植物因其独特的热带风情, 成为热带景观的象征, 它在园林工程中的应用也越来越广泛^[1]。加拿利海枣(*Phoenix canariensis* Hort.

ex Chab.)是热带亚热带地区广泛应用的园林绿化植物^[2]。野外调查表明, 加拿利海枣是一种耐盐能力很高的植物, 因此在滨海地区具有较大的推广潜

收稿日期: 2011-07-20 接受日期: 2011-10-15

基金项目: 厦门市科技与管理局科技项目(2011-1-8); 厦门市科技局基金项目(3502Z 20064026)资助

作者简介: 廖启料(1971 ~), 男, 研究员, 从事园林植物资源保护与应用、风景名胜区建设与管理以及城市绿地生态系统构建与维护等方面的研究和管理工作。E-mail: liao_jin@263.net

力^[3-6]。目前对棕榈科植物耐盐机理的研究报道并不多,仅集中于伊拉克蜜枣(*Phoenix dactylifera*)和白菜棕(*Sabal palmetto*)等少数种类^[7-8],加拿利海枣耐盐性方面的研究报道未见,这在一定程度上限制了棕榈植物在盐土地区的推广和应用。本文探讨加拿利海枣的耐盐性及其机制,为加拿利海枣在我国华南滨海地区的推广应用提供依据。

1 材料和方法

1.1 材料和处理

供试材料为加拿利海枣(*Phoenix canariensis* Hort. ex Chab.)的播种苗,苗龄 16 个月,选取生长状况较一致的幼苗,定植于底部及侧面有排水孔的黑色塑料营养袋内,每个营养袋定植 1 棵苗。营养袋置于黑色塑料桶内,培养基质为人工配制的沙质壤土。幼苗在塑料大棚中培养,控制浇水频率以保持土壤湿润,驯化 4 周后开始盐处理。盐度是指 1kg 水中溶解物质的克数,本文采用目前广泛使用的用样品与标准 KCl 溶液的导电性之比来计算实用盐度值的方法。盐度是无量纲的量,如海水的盐度值为 35‰,实用盐度记为 35。

我们 2009 年对厦门市耐盐园林植物进行调查,厦门筼筮湖导流堤的土壤盐度达 5.8 (40~60 cm 土层盐度高达 9.3),属强度滨海盐土。实验设 1 个对照,4 个处理,每处理 4 个重复,随机排列,所用盐为日晒细盐。盐分 2 次加入,盐先用少量水溶解后直接浇于土壤中,控制浇水方式使盐分不至于沉积于底层土壤或积聚于土壤表面。盐处理时间为 5 个月。土壤盐度以实验结束时实测为准,分别为 1.2、5.1、7.7、10.8 和 14.5,达到并超过华南滨海地区的盐度。

1.2 方法

盐处理前记录每株幼苗的叶片数量,并挂牌标

记最上一片叶片,盐处理结束后统计标记叶上下的成活叶片数。取成熟叶片(从上往下第 3 片叶)中部羽片小叶,测定叶绿素、超氧化物歧化酶(SOD)、丙二醛(MDA)、无机渗透调节剂及元素含量等指标。

土壤盐度测定按电导率法^[9];叶绿素含量采用乙醇-丙酮混合液提取法测定^[10];可溶性糖含量测定采用蒽酮比色法^[11]。

丙二醛(MDA)含量和超氧化物歧化酶(SOD)活性测定时,分别取 2 g 鲜重叶片,剪碎,加入 10 mL 62.5 mmol/L 磷酸缓冲液(pH 7.8)于冰浴研磨,在 15000 × g 下 4℃ 离心 20 min。取上清液采用硫代巴比妥酸法^[12]测定 MDA 含量,单位为 μmol g⁻¹ FW;按 NBT 光还原法^[12]测定 SOD 活性,以每分钟内抑制光还原 50% 的氮蓝四唑(NBT)作为 1 个酶活性单位(U),用 U mg⁻¹ protein 表示。

叶片中 Cl⁻ 含量用 AgNO₃ 滴定法^[13-14] 测定。叶片经 HNO₃-HClO₄ 消化后,用 WFX-1B 型原子吸收分光光度计(北京第二分析仪器厂)测定 K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺ 含量,以 mg g⁻¹ DW 表示。无机渗透调节剂测定参照赵可夫等方法^[17]。

2 结果和分析

2.1 土壤盐度对叶片生长和死亡的影响

从图 1 可知,加拿利海枣叶片生长速率随土壤盐度的提高而下降,但其叶片生长速率受土壤盐度的影响相对较小;当土壤盐度低于 5.1 时,叶片生长速率不受影响,每月均能增加新叶 1.00 片;而当土壤盐度高于 5.1 时,叶片生长速率随土壤盐度的提高而下降。加拿利海枣死亡叶片数量与土壤盐度呈显著正相关,当土壤盐度为 14.5 时,每株死亡叶片数为 5.00 片,平均每月 1 片,是对照的 5 倍。

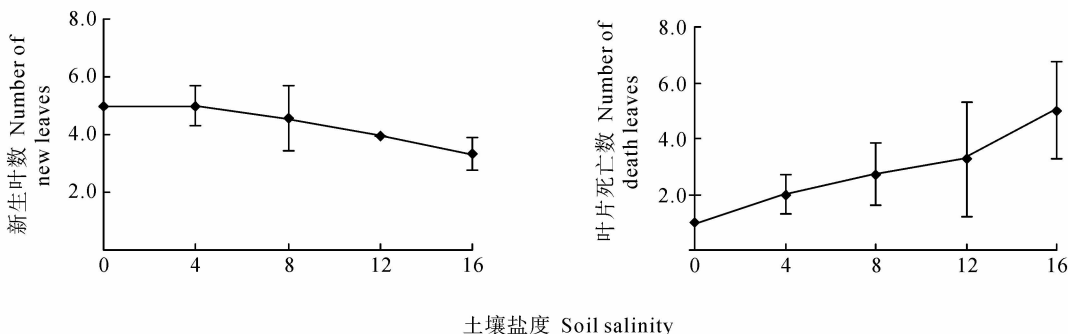


图 1 土壤盐度对加拿利海枣幼苗叶片生长的影响(培养 5 个月)

Fig. 1 Effect of soil salinity on leaf growth of *Phoenix canariensis* seedlings cultured for 5 months

2.2 土壤盐度对叶绿素含量的影响

盐胁迫有利于加拿利海枣叶片叶绿素的积累(表 1)。随土壤盐度的提高,叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量均提高。土壤盐度为 14.5 时,叶片总

叶绿素含量比对照增加了 62.0%。当盐度小于 5.1 时,随土壤盐度的提高,加拿利海枣叶片的叶绿素 a/b 提高,此后,叶绿素 a/b 迅速下降,土壤盐度为 14.5 时,叶绿素 a/b 仅为 1.41。

表 1 土壤盐度对加拿利海枣幼苗叶片叶绿素含量的影响(培养 5 个月)
Table 1 Effect of soil salinity on chl contents in leaves of *Phoenix canariensis* seedlings cultured for 5 months

土壤盐度 Soil salinity	Chl a (mg g ⁻¹ FW)	Chl b (mg g ⁻¹ FW)	Chl a + b (mg g ⁻¹ FW)	Chl a/b
1.2	1.25 ± 0.11	0.64 ± 0.10	1.89 ± 0.21	1.97 ± 0.13
5.1	1.41 ± 0.08	0.61 ± 0.14	2.02 ± 0.22	2.33 ± 0.31
7.7	1.65 ± 0.21	1.00 ± 0.27	2.64 ± 0.48	1.71 ± 0.27
10.8	1.98 ± 0.59	1.13 ± 0.16	3.11 ± 0.72	1.75 ± 0.34
14.5	1.76 ± 0.34	1.30 ± 0.47	3.07 ± 0.81	1.41 ± 0.25

2.3 土壤盐度对 MDA 含量和 SOD 活性的影响

从图 2 可知,叶片 MDA 含量在低盐时受土壤盐度影响不大。土壤盐度为 1.2 ~ 5.1 时,叶片 MDA 含量为 4.30 μmol g⁻¹ FW;当土壤盐度超过 5.1 时,MDA 含量显著升高;而当土壤盐度超过 7.7

时,叶片 MDA 含量的变化不明显。随土壤盐度的提高,加拿利海枣叶片 SOD 活性的变化呈抛物线形。在低盐下 SOD 活性随土壤盐度的提高而提高,当土壤盐度超过 10.8 时,SOD 活性迅速下降,在土壤盐度 14.5 时叶片 SOD 活性与对照相当。

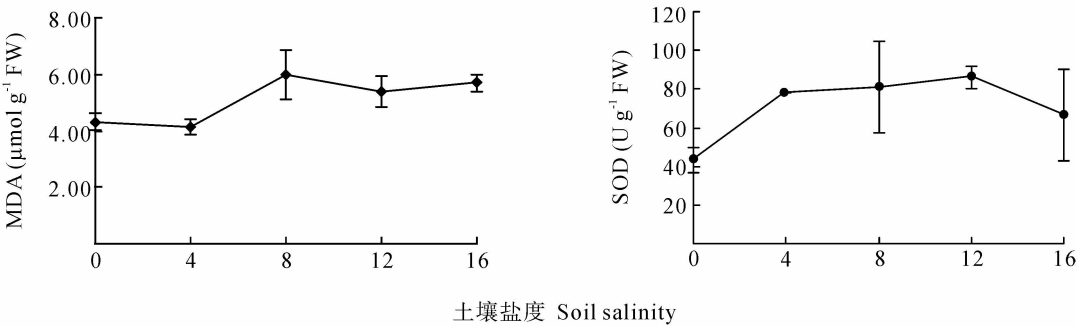


图 2 土壤盐度对加拿利海枣幼苗叶片 MDA 含量和 SOD 活性的影响(培养 5 个月)
Fig. 2 Effect of soil salinity on MDA content and SOD activity in leaves of *Phoenix canariensis* seedlings cultured for 5 months

2.4 土壤盐度对渗透调节剂含量的影响

从图 3 可知,加拿利海枣叶片的无机渗透调节剂总量维持在 0.8 ~ 0.9 mol/L 之间,平均为 0.86 mol/L,受土壤盐度的影响不明显。随土壤盐度的升高,加拿利海枣叶片中可溶性糖含量升高,相关分析表明,加拿利海枣叶片可溶性糖含量与土壤盐度之间呈显著正相关($r=0.8253, P<0.05$)。

2.5 土壤盐度对叶片元素含量的影响

从图 4 可知,加拿利海枣叶片中 Na⁺ 含量随土壤盐度的升高而升高,它们之间存在极显著的正线性相关关系($r=0.9762, P<0.01$)。整体上,加拿利海枣叶片中 Cl⁻ 含量也随土壤盐度的升高而升高,

当土壤盐度从 1.2 上升至 5.1 时,叶片 Cl⁻ 含量从 4.55 mg g⁻¹ 迅速升至 7.64 mg g⁻¹,此后,叶片 Cl⁻ 含量保持在 8.00 mg g⁻¹ 的较高水平。
与 Na⁺ 和 Cl⁻ 含量变化相反,加拿利海枣叶片中 K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺ 和 K⁺/Na⁺ 比随土壤盐度的提高而下降。当土壤盐度从 5.1 提高到 7.7 时,K⁺ 含量下降了 28%,而土壤盐度高于 7.7 时,叶片中 K⁺ 含量的变化不大,保持在 10.5 mg g⁻¹ 的水平。不同盐胁迫处理的加拿利海枣叶片 K⁺/Na⁺ 比均大于 1。随土壤盐度的增加,加拿利海枣叶片 K⁺/Na⁺ 比均下降,低盐时 K⁺/Na⁺ 比快速降低,而高盐时 K⁺/Na⁺ 比受土壤盐度的影响相对较小。

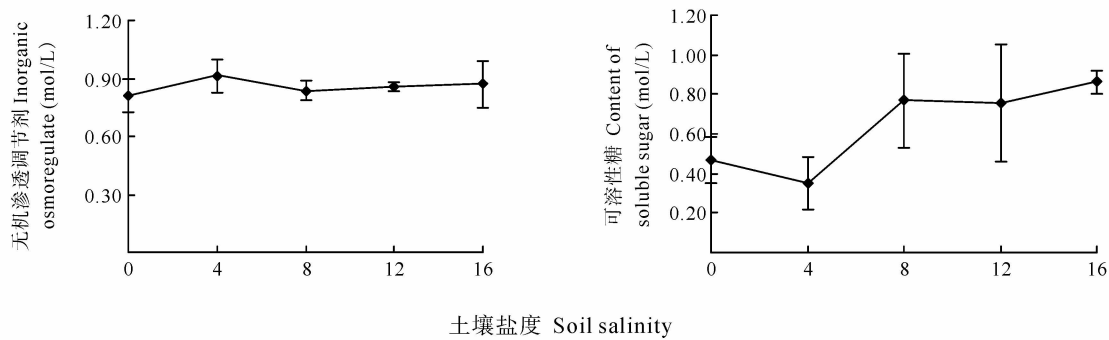


图 3 土壤盐度对加拿利海枣幼苗叶片渗透调节剂和可溶性糖含量的影响(培养 5 个月)
Fig. 3 Effect of soil salinity on osmotic regulator and soluble sugar contents in leaves of *Phoenix canariensis* seedlings cultured for 5 months

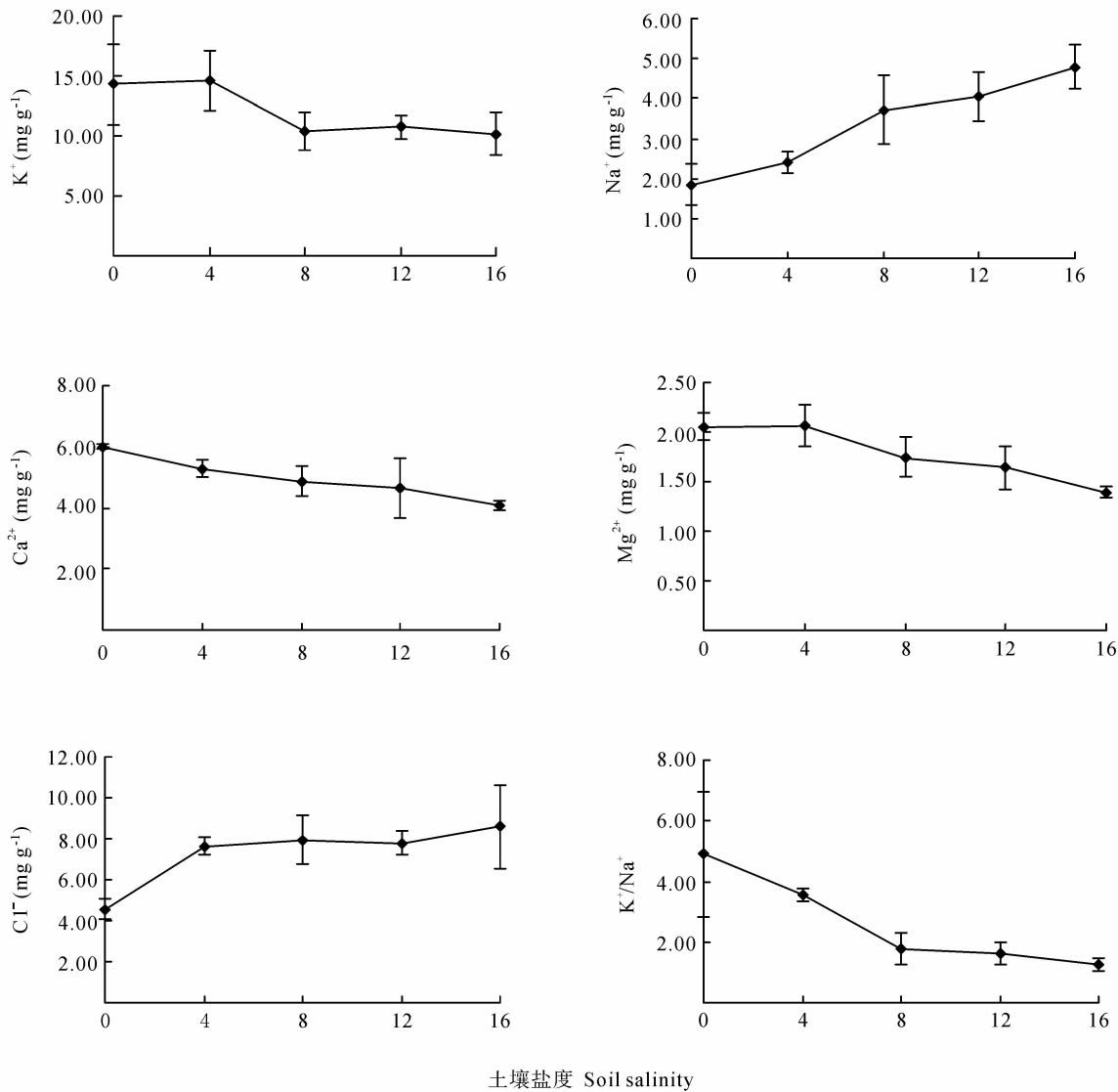


图 4 土壤盐度对加拿利海枣幼苗叶片中元素含量的影响(培养 5 个月)
Fig. 4 Effect of soil salinity on ion contents in leaves of *Phoenix canariensis* seedlings cultured for 5 months

虽然加拿利海枣叶片中 Ca^{2+} 含量与土壤盐度之间存在极显著的负相关关系($r = -0.9929$, $P < 0.001$), 但所有处理的叶片 Ca^{2+} 含量均高于

4.00 mg g^{-1} 。低盐时加拿利海枣叶片 Mg^{2+} 含量稳定在 2.00 mg g^{-1} , 当土壤盐度超过 5.1 时, Mg^{2+} 含量随盐度的提高而迅速降低。

3 讨论和结论

有效光合作用面积和光合速率是决定植物生长状况的主要因素,其中有效光合作用面积往往起决定性的作用^[15]。许多研究已经证明,盐胁迫下植物有效光合面积的减少是生长下降的主要原因^[16]。加拿利海枣叶片生长数与土壤盐度呈显著负相关,叶片死亡数与土壤盐度呈极显著正相关,导致叶片寿命缩短,单株叶片数随土壤盐度的提高而显著下降。我们虽没有直接测定叶片面积,但随土壤盐度的升高,植株叶片上的羽片数均减少,盐胁迫抑制了加拿利海枣的叶片干物质的积累。有研究结果表明盐胁迫下非盐生植物叶片光合速率下降^[17]。虽然随土壤盐度的升高,叶片叶绿素含量略微增加,但叶绿素含量和叶片净光合速率之间并不存在必然的关系^[16]。盐胁迫使加拿利海枣叶片数减少,叶片生长速率下降,死亡速率增加,导致有效光合作用面积减小,这可能是盐胁迫下加拿利海枣生长下降的主要原因之一。

盐胁迫主要是渗透胁迫和离子毒害,为了抵御盐分的胁迫,植物体形成了一系列的调节适应机制^[18]。植物的盐害机理主要是盐胁迫造成的渗透胁迫、离子毒害和营养缺乏所致^[19-20]。在盐渍条件下,加拿利海枣根系在吸收水分、矿质营养的同时不可避免地吸收过多 Na^+ ,随土壤盐度的升高,体内的 Na^+ 含量也逐渐增加,而 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量则逐渐下降(图4)。这些表明,加拿利海枣和其它耐盐植物一样,能吸收较多 Na^+ 来进行渗透调节;同时,过多的 Na^+ 限制了其根对 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的吸收以及 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 由根向茎和叶的运输,造成植株的 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 营养亏缺,从而造成伤害效应,引起生长量下降^[20]。这也是盐胁迫下加拿利海枣生长下降的原因之一。

MDA 是植物在环境胁迫下膜脂过氧化而产生的一种具有细胞毒性的物质,它是由体内自由基引发的,MDA 的积累能够反映植物体内自由基的活动状况^[21],在植物逆境生理研究中,MDA 普遍地作为一种伤害指标^[22]。典型盐地植物盐爪爪(*Kalidium foliatum*)和盐角草(*Salicornia etropaea*) 在盐渍环境下细胞内脂质过氧化产物 MDA 含量增加,SOD 活性也同样增加,且 SOD 与 MDA 二者之间保持一定比例^[23]。本研究中,加拿利海枣叶片 MDA 含量随土壤盐度的升高而升高,但 MDA 含量在低盐和高盐时受土壤盐度影响不大,暗示膜脂过

氧化不是造成伤害的主要原因。考察不同盐度下 SOD 活性和 MDA 含量之间的关系表明,SOD 活性和 MDA 含量之间并不存在简单的负相关关系,在土壤盐度低于 7.7 时,MDA 含量升高的同时 SOD 活性也提高;加拿利海枣叶片 SOD 活性先随土壤盐度的升高而升高,而后又下降,SOD 活性在土壤盐度为 10.8 时最高,在高盐下叶片还具有较高的 SOD 活性,说明加拿利海枣是一种比较耐盐的棕榈科植物。

可溶性糖在许多盐生植物体内作为渗透调节剂,同时也是合成其它有机溶质的碳架和能量来源,对细胞质膜和原生质胶体有稳定作用,还可在细胞内无机离子浓度高时起保护酶类的作用^[17,24]。随土壤盐度的提高,加拿利海枣叶片的可溶性糖含量大幅度增加,无机渗透调节剂总量则基本不受影响,表明可溶性糖是加拿利海枣体内的渗透调节物质之一^[25],由此看来,加拿利海枣可能是通过积累有机渗透调节剂来维持渗透平衡,呈现典型的单子叶盐生植物特征^[26]。

大多数木本观赏植物对 Na^+ 、 Cl^- 极为敏感,当 Cl^- 含量达叶片干重的 0.5% ~ 1.0% 时,通常可使叶片出现独特的叶缘坏死,或叶尖坏死;当叶片 Na^+ 含量达叶片干重的 0.25% ~ 0.5% 时,也会发生叶片坏死^[27]。但是,本研究结果表明,几乎所有盐处理下的加拿利海枣叶片 Cl^- 含量均超过 0.5%, Na^+ 含量超过 0.25%,但只在较高盐度下植物才出现较明显的盐害症状,这说明加拿利海枣对 NaCl 有较高的耐性。虽然盐胁迫导致加拿利海枣叶片 K^+/Na^+ 降低,但 K^+/Na^+ 均大于 1。这也是它们具较高耐盐能力的原因之一,因为高 K^+ 含量对盐胁迫下植物保持光合作用系统的完整性非常重要^[28]。

致谢 厦门大学生命科学院王文卿副教授参与了本研究工作,并在实验中给予诸多帮助,谨此致谢!

参考文献

- [1] Chen R S(陈榕生), Liao Q L(廖启料). Current situation of cultivation, application and prospects of palms in China [M]// Gao J P(高俊平), Jiang W X(姜伟贤). Twenty Years Floriculture in China. Beijing: Science Press, 2000: 657-667. (in Chinese)
- [2] Liao Q L(廖启料), Ding Y L(丁印龙), Yang S C(杨盛昌), et al. Change of membrane lipid peroxidation and activities of cell defense enzyme in leaves of *Phoenix canariensis* seedling under low temperature stress [J]. J Xiamen Univ (Nat Sci)(厦门大学

- 学报: 自然科学版), 2002, 41(5): 570–573. (in Chinese)
- [3] Wang L M(王良睦), Wang W Q(王文卿), Wang J(王瑾). Selection of salt-tolerant landscaping plant in the areas of Xiamen [J]. J Chin Landscape Archit(中国园林), 2001, 17(6): 65–67. (in Chinese)
 - [4] Bian A N(卞阿娜), Wang W Q(王文卿). Configuration and selection of salt-tolerant landscaping plant in the Gulf Boulevard of Xiamen [J]. J Zhangzhou Norm Univ (Nat Sci)(漳州师范学院学报: 自然科学版), 2009, 22(3): 125–129. (in Chinese)
 - [5] Li G X(李恭学), Li J(李俊), Chen Y T(陈益泰), et al. Coastal tree species selection and key planting measures with new tideland reclamation [J]. Prot For Sci Techn(防护林科技), 2010(1): 14–16. (in Chinese)
 - [6] Liao Q L(廖启焯). Comparative analysis on the salt tolerance of 8 palms seedlings [J]. Chin Agri Sci Bull(中国农学通报), 2010, 26(16): 362–369. (in Chinese)
 - [7] Perry L, Williams K. Effects of salinity and flooding on seedlings of cabbage palm (*Sabal palmetto*) [J]. Oecologia, 1996, 105(4): 428–434.
 - [8] Ramoliya P J, Pandey A N. Soil salinity and water status affect growth of *Phoenix dactylifera* seedlings [J]. New Zealand J Crop Horti Sci, 2003, 31(4): 345–353.
 - [9] Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences(中国科学院南京土壤研究所). Soil Physical and Chemical Property Analysis [M]. Beijing: Science Press, 1980: 211–212. (in Chinese)
 - [10] Zhang X Z(张宪政). Measurement of chlorophyll in plant-method of acetone, ethanol mixture solution soaking extraction [J]. Liaoning Agri Sci(辽宁农业科学), 1986(3): 26–28. (in Chinese)
 - [11] Gao J F(高俊凤). Experiments on Plant Physiology [M]. Beijing: Higher Education Press, 2006: 1–210. (in Chinese)
 - [12] Liu Z Q(刘祖祺), Zhang S C(张石城). Plant Resistance Physiology(植物抗性生理学) [M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 1994: 160–170. (in Chinese)
 - [13] Boqinnox X H. Translated by Jin J H(荆家海), Ding Z R(丁钟荣). Analytical Methods of Plant Biochemistry [M]. Beijing: Science Press, 1981: 203–206. (in Chinese)
 - [14] Agricultural Chemistry Subject Committee of Chinese Soil Society(中国土壤学会农业化学专业委员会). Soil Physical and Chemical Analysis [M]. Beijing: Shanghai Science and Technology Press, 1978: 62–136. (in Chinese)
 - [15] Kriedemann P E. Stomatal and photosynthetic limitations to leaf growth [J]. Aust J Plant Physiol, 1986, 13(1): 15–32.
 - [16] Ungar I A. Ecophysiology of Vascular Halophytes [M]. Florida, USA: CRC Press, 1991: 9–48.
 - [17] Zhao K F(赵可夫). Plant Salt Resistance Physiology [M]. Beijing: China Science Technology Press, 1993: 284–290. (in Chinese)
 - [18] Bohnert H J, Nelson D E, Jensen R G. Adaptations to environmental stresses [J]. Plant Cell, 1995, 7(7): 1099–1111.
 - [19] Liu Y L(刘友良), Wang L J(汪良驹). Response and tolerance to salt stress of plant [M]// Yu S W(余叔文), Tang Z C(汤章城). Plant Physiology and Molecular Biology. Beijing: Science Press, 1998: 752–769. (in Chinese)
 - [20] Liu A R(刘爱荣), Zhang Y B(张远兵), Chen Q Y(陈庆榆), et al. Effects of salt stress on the growth and the photosynthesis in *Alternanthera philoxeroides* (Amaranthaceae) [J]. Acta Bot Yunnan(云南植物研究), 2007, 29(1): 85–90. (in Chinese)
 - [21] Yang S S(杨淑慎), Gao J F(高俊凤). Influence of active oxygen and free radicals on plant senescence [J]. Acta Bot Boreali-Occid Sin(西北植物学报), 2000, 21(2): 215–220. (in Chinese)
 - [22] Jia H X(贾恢先), Zhao M R(赵曼容), Ma Y(马莹). The study on cell lipid over-oxidation injuries and changes of plasmalemma ultrastructure in typical saline plants [J]. Acta Bot Boreali-Occid Sin(西北植物学报), 1994, 14(6): 1–5. (in Chinese)
 - [23] Guo S L(郭水良), Fang F(方芳), Qiang S(强胜). Influences of temperature on physiological indices of seven exotic weeds and their adaptive significance [J]. Guihaia(广西植物), 2003, 23(1): 73–76. (in Chinese)
 - [24] Shi F C(石福臣), Bao F(鲍芳). Effects of salinity and temperature stress on ecophysiological characteristics of exotic cordgrass, *Spartina alterniflora* [J]. Acta Ecol Sin(生态学报), 2007, 27(7): 2733–2741. (in Chinese)
 - [25] Xiao Q(肖强), Zheng H L(郑海雷), Chen Y(陈瑶), et al. Effects of salinity on the growth and proline, soluble sugar and protein contents of *Spartina alterniflora* [J]. Chin J Ecol(生态学杂志), 2005, 24(4): 373–376. (in Chinese)
 - [26] Zhao K F(赵可夫), Fan H(范海). Comparative study on osmotica and their contributions to osmotic adjustment in eu-halophytes and recretohalophytes [J]. Chin J Appl Environ Biol(应用与环境生物学报), 2000, 6(2): 99–105. (in Chinese)
 - [27] Bernstein L, Zhang C G(张承圭). Salt tolerance of plants [J]. Plant Physiol Commun(植物生理学通讯), 1981(5): 47–49. (in Chinese)
 - [28] Chow W S, Ball M C, Anderson J M. Growth and photosynthetic responses of spinach to salinity: Implication of K⁺ nutrition for salt tolerance [J]. Aust J Plant Physiol, 1990, 17(5): 563–578.