

水培条件下 NaCl 胁迫 对坪山柚实生苗生理生化特性的影响

马翠兰¹, 刘星辉¹, 庄伟强¹, 陈素英²

(1. 福建农林大学园艺学院, 福建 福州 350002; 2. 莆田学院环境与生命科学系, 福建 莆田 351100)

摘要: 采用水培法研究了不同浓度 NaCl 对坪山柚 (*Citrus grandis* 'Pingshanyou') 实生苗生理生化特性的影响。结果表明, 120 mmol · L⁻¹ NaCl 胁迫 10 d 或 80 mmol · L⁻¹ NaCl 胁迫 20 d, 坪山柚叶片大分子渗漏值和丙二醛 (MDA) 含量显著增加, 叶片相对含水量 (RWC) 显著下降。120 mmol · L⁻¹ NaCl 胁迫 10 d, 坪山柚叶片氨基酸含量、细胞汁液 pH 值和根系活力不受影响, 但 40 mmol · L⁻¹ NaCl 胁迫 20 d, 坪山柚根系活力明显降低, 而在 80 或 120 mmol · L⁻¹ NaCl 胁迫 20 d 时叶片氨基酸含量和细胞汁液 pH 值变化显著, 表明坪山柚根系可能对 NaCl 胁迫更敏感。NaCl 胁迫导致坪山柚叶片光合色素含量降低, 其中叶绿素 b 和类胡萝卜素含量下降幅度大, 对 NaCl 胁迫敏感。

关键词: 坪山柚; NaCl 胁迫; 生理生化特性; 耐盐性

中图分类号: S666.3; Q945.78 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0978(2005)03-0016-05

Effect of NaCl stress on the physiological and biochemical characteristics of *Citrus grandis* 'Pingshanyou' seedlings under hydroponic culture condition MA Cui-lan¹, LIU Xing-hui¹, ZHUANG Wei-qiang¹, CHEN Su-ying² (1. College of Horticulture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. Department of Environment and Life Sciences, Putian College, Putian 351100, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2005, 14(3): 16-20

Abstract: Effects of different concentrations of NaCl on the physiological and biochemical characteristics of *Citrus grandis* 'Pingshanyou' seedlings were studied by using hydroponic culture method. The results showed that the macromolecule leakage value and malondialdehyde (MDA) content in leaves of the seedlings increased significantly, but the relative water content (RWC) decreased obviously when treated by 120 mmol · L⁻¹ NaCl for 10 d or 80 mmol · L⁻¹ NaCl for 20 d. It had no effect on amino acid content, pH value of cell sap and root vitality of the seedlings stressed by 120 mmol · L⁻¹ NaCl for 10 d, but the root vitality decreased obviously under 40 mmol · L⁻¹ NaCl stress for 20 d, the amino acid content and the pH value of cell sap in leaves did not change significantly until treated by 80 or 120 mmol · L⁻¹ NaCl for 20 d, respectively. Therefore, it might be suggested that the root system of *C. grandis* 'Pingshanyou' seedling is more sensitive to NaCl stress. The contents of photosynthetic pigments in leaves of the seedlings decreased when stressed by different concentrations of NaCl for 30 d, the decreasing of contents of chlorophyll b and carotenoid were obviously, so photosynthetic pigments are sensitive to NaCl stress.

Key words: *Citrus grandis* 'Pingshanyou'; NaCl stress; physiological and biochemical characteristics; salt tolerance

盐碱土以土壤溶液中 Na⁺、Mg²⁺、Ca²⁺ 及 CO₃²⁻、HCO₃⁻、Cl⁻ 和 SO₄²⁻ 含量高为主要特征, 尤其是高含量 Na⁺ 和 Cl⁻。中国是世界盐碱地大国之一, 盐碱地主要分布在山东、江苏、浙江、辽宁、广东、福建和河北等省区, 因而对植物的耐盐性进行研究具有重要意义。有关盐胁迫对不同果树叶片细胞膜透性、活性氧代谢、光合色素、蛋白质及脯氨酸含

量^[1-5]等生理特性的影响已有许多研究。柚是亚热带名优佳果, 在柑橘品种结构调整中发挥了重要作用, 已成为中国柑橘类生产发展的热点。研究表明,

收稿日期: 2004-12-27

基金项目: 福建农林大学青年教师基金资助项目 (03A03)

作者简介: 马翠兰 (1970-), 女, 内蒙古呼和浩特人, 博士, 副教授
主要从事果树生理生态方面的研究。

柚在柑橘类中耐盐性是比较强的^[6-9],马翠兰等^[7-9]从种子萌发、幼苗生长、离子吸收特性等方面对坪山柚的耐盐性进行了研究,但有关盐胁迫下柚生理生化特性的变化及相关的耐盐机理的研究尚未见报道。由于水培法具有简便、快速、易控制等优点,在果树逆境生理研究中已被广泛应用,因此本实验采用水培法对 NaCl 胁迫下坪山柚 (*Citrus grandis* 'Pingshanyou') 幼苗生长状况、叶片细胞膜透性、细胞汁液 pH 值、叶片相对含水量 (RWC)、丙二醛 (MDA) 含量、氨基酸含量、光合色素含量及根系活力等方面的变化进行了研究,以期对柑橘的耐盐性机理研究及耐盐栽培提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料

供试柚品种为坪山柚,由福建省华安县农技站提供。

1.2 方法

1.2.1 幼苗培养及处理 实验于 2000 年 5—6 月进行,2001 年 5—6 月重复 1 次。种子经洗净,播于装有洗净河沙的木箱中,待苗长至 4 片真叶时,洗净细沙,移入装有 500 mL 全营养液^[7]的瓷培养钵中,每钵 3 株,于实验室内预培养 7 d,温度 18℃ ~ 28℃。7 d 后,于 5 月 25 日采样测定生理生化指标并进行盐胁迫处理。实验共设 5 个处理,在全营养液中分别加入一定量分析纯 NaCl,使溶液中 NaCl 浓度分别达到 0 (对照)、20、40、80 和 120 mmol · L⁻¹,每处理 10 个重复,每重复 15 株苗,共 150 株苗 (每年)。水培过程中,每天用 ACO-003 型通气泵通气 2 h,每 7 天更换 1 次培养液。从 5 月 25 日起每隔 10 d 于上午 8:00—10:00 取样,每处理每次取样 6 株。全部叶片经混合后取样,用于叶片细胞膜透性、叶片细胞汁液 pH 值、叶片相对含水量、丙二醛及氨基酸含量测定;全部根系经混合后用于根系活力测定,共测定 4 次。NaCl 胁迫 30 d 后,每处理各取余下 6 株苗的叶片进行光合色素含量测定。

1.2.2 测定方法 叶片细胞膜透性以大分子渗漏值表示,用直径 0.5 cm 打孔器钻取 10 枚叶圆片,加去离子水 6 mL,抽气 20 min,室温振荡 4 h,用 751-GW 型紫外分光光度计比色测定 OD₂₅₄,得渗漏值;

叶片细胞汁液 pH 值测定时称取剪碎的叶片 0.5 g,加入 5 mL 蒸馏水研磨至匀浆,以 15 000 g 离心 5 min,上清液加 5 mL 蒸馏水后用 pHSJ-4 型 pH 计测定 pH 值;叶片相对含水量 (RWC) 测定参照文献 [10] 的方法;丙二醛 (MDA) 含量测定采用硫代巴比妥酸比色法^[11];氨基酸含量测定采用茚三酮比色法,样品制备时取叶片 0.3 g,加 10 mL 80% 乙醇研磨至匀浆,以 5 000 g 离心 15 min,取上清液蒸发至干,得固形物,用 3 mL 蒸馏水溶解即为待测液,以亮氨酸为标准氨基酸;根系活力测定采用 α-萘胺氧化法^[12];叶片光合色素含量测定参照文献 [13],并计算叶绿素 [Chl(a+b)]、叶绿素 a (Chla)、叶绿素 b (Chlb) 和类胡萝卜素 (Car) 含量。

2 结果和分析

2.1 NaCl 胁迫下坪山柚幼苗的生长状况

水培条件下坪山柚幼苗盐害症状始见于植株基部老叶,然后向上部叶扩展。叶尖、叶缘首先变黄,叶面产生黄色枯斑,随症状的发展,枯斑面积增大直至落叶。各浓度 NaCl 胁迫 10 d,坪山柚幼苗叶片无明显变化;胁迫 20 d 至 30 d,80 和 120 mmol · L⁻¹ NaCl 处理的幼苗叶片变黄和枯焦的面积逐步扩大,且 120 mmol · L⁻¹ NaCl 处理抑制了植株的生长和新叶的长大,并出现落叶;20 和 40 mmol · L⁻¹ NaCl 处理的幼苗有新叶的生长且株高有所增加,但 40 mmol · L⁻¹ NaCl 处理 20 d 后,老叶开始出现少量枯斑,而 20 mmol · L⁻¹ NaCl 处理的植株仍保持绿色。

2.2 NaCl 胁迫对坪山柚幼苗叶片细胞膜透性和丙二醛含量的影响

NaCl 胁迫下,坪山柚幼苗叶片大分子渗漏值和丙二醛 (MDA) 含量变化见表 1。结果表明,在较高浓度 NaCl 处理下,随 NaCl 胁迫时间延长,坪山柚叶片大分子渗漏值增加。NaCl 胁迫 10 d,20 ~ 80 mmol · L⁻¹ NaCl 处理对叶片大分子渗漏值无明显影响;而 120 mmol · L⁻¹ NaCl 处理导致叶片大分子渗漏值增加;胁迫 20 和 30 d,经 80 或 120 mmol · L⁻¹ NaCl 处理,叶片大分子渗漏值显著增加。80 mmol · L⁻¹ NaCl 胁迫 20 和 30 d,叶片大分子渗漏值分别增加 31.7% 和 81.1%;120 mmol · L⁻¹ NaCl 胁迫 20 和 30 d,叶片大分子渗漏值分别增加 38.3% 和 82.0%。

从表1还可以看出,40 mmol · L⁻¹ NaCl 胁迫30 d,坪山柚幼苗叶片MDA含量无明显变化;80 mmol · L⁻¹ NaCl 胁迫20 d或120 mmol · L⁻¹ NaCl 胁迫10 d,叶片MDA含量显著增加。经80或120 mmol · L⁻¹ NaCl 处理30 d,坪山柚叶片MDA含量分别增加131.8%和191.7%。表明高浓度NaCl胁迫较长时间,坪山柚幼苗叶片膜质过氧化程度增加。

2.3 NaCl胁迫对坪山柚幼苗叶片相对含水量和细胞汁液pH值的影响

植物组织的相对含水量(RWC)是植物生理状态的指标之一。NaCl胁迫下,坪山柚幼苗叶片

RWC变化见表2。结果表明,随NaCl胁迫时间的延长,叶片RWC下降,且高浓度NaCl胁迫下,叶片RWC下降幅度大。经40、80和120 mmol · L⁻¹ NaCl处理30 d的坪山柚幼苗叶片RWC降幅分别达13.3%、39.1%和43.4%。120 mmol · L⁻¹ NaCl胁迫10 d或80 mmol · L⁻¹ NaCl胁迫20 d,叶片的RWC也显著下降。

由表2还可以看出,不同浓度NaCl处理10 d对坪山柚叶片细胞汁液pH值无明显影响;120 mmol · L⁻¹ NaCl胁迫20 d或80 mmol · L⁻¹ NaCl胁迫30 d,坪山柚叶片细胞汁液pH值显著降低。

表1 NaCl胁迫对坪山柚幼苗叶片大分子渗漏值和丙二醛(MDA)含量的影响¹⁾
Table 1 Effect of NaCl stress on the macromolecule leakage value and MDA content in leaf of *Citrus grandis* 'Pingshanyou' seedling¹⁾

NaCl 浓度/mmol · L ⁻¹ Conc. of NaCl	不同胁迫时间的大分子渗漏值(OD ₂₅₄) Macromolecule leakage value under different time of stress				不同胁迫时间的MDA含量/μmol · g ⁻¹ MDA content under different time of stress			
	0 d	10 d	20 d	30 d	0 d	10 d	20 d	30 d
0	0.262a	0.273b	0.267bc	0.278b	17.96a	17.42b	16.58b	16.05b
20	0.256a	0.253b	0.242c	0.275b	15.24a	13.73b	16.10b	15.84b
40	0.243a	0.268b	0.297b	0.335b	15.46a	15.64b	18.91b	23.63b
80	0.259a	0.284b	0.341a	0.469a	18.17a	22.08ab	26.37a	42.11a
120	0.266a	0.314a	0.368a	0.484a	17.51a	24.77a	32.96a	51.08a

¹⁾ 每列不同的小写字母表示 $P < 0.05$ 差异显著水平 The different letters in each row indicate the significant difference at $P < 0.05$.

表2 NaCl胁迫对坪山柚幼苗叶片相对含水量(RWC)和细胞汁液pH值的影响¹⁾
Table 2 Effect of NaCl stress on the relative water content (RWC) and the pH value of cell sap in leaf of *Citrus grandis* 'Pingshanyou' seedling¹⁾

NaCl 浓度/mmol · L ⁻¹ Conc. of NaCl	不同胁迫时间的叶片相对含水量/% Relative water content under different time of stress				不同胁迫时间的细胞汁液pH值 pH value of cell sap under different time of stress			
	0 d	10 d	20 d	30 d	0 d	10 d	20 d	30 d
0	91.26a	92.37a	91.79a	92.54a	6.43a	6.49a	6.54ab	6.64a
20	93.28a	91.61a	92.44a	90.66a	6.47a	6.56a	6.73a	6.74a
40	92.41a	86.32a	82.88ab	80.09a	6.53a	6.58a	6.76a	6.77a
80	92.73a	80.48ab	74.41b	56.45b	6.40a	6.52a	6.21b	6.06b
120	92.11a	78.64b	66.16b	52.14b	6.51a	6.44a	5.88c	5.52c

¹⁾ 每列不同的小写字母表示 $P < 0.05$ 差异显著水平 The different letters in each row indicate the significant difference at $P < 0.05$.

2.4 NaCl胁迫对坪山柚幼苗叶片氨基酸含量的影响

NaCl胁迫下,坪山柚幼苗叶片氨基酸含量呈下降趋势(表3)。较高浓度NaCl胁迫较长时间,叶片氨基酸含量下降明显。40、80和120 mmol · L⁻¹ NaCl胁迫20 d,坪山柚叶片氨基酸含量分别下降15.8%、36.1%和49.3%;胁迫30 d,叶片氨基酸含量分别下降33.8%、50.4%和70.5%。

2.5 NaCl胁迫对坪山柚幼苗叶片光合色素含量的影响

光合色素在光能的吸收、传递和转换中起着重要作用,高等植物中的光合色素主要包括叶绿素和类胡萝卜素,它们以色素蛋白复合体的形式存在于叶绿体中。不同浓度NaCl胁迫30 d,坪山柚幼苗叶片光合色素含量的变化见表4。结果表明,NaCl胁迫下坪山柚叶片叶绿素[Chl(a+b)]含量和类胡萝

卜素(Car)含量减少,但用20或40 mmol·L⁻¹ NaCl处理后,叶片叶绿素和类胡萝卜素含量的下降均未达显著水平;而在80或120 mmol·L⁻¹ NaCl胁迫下,叶片叶绿素和类胡萝卜素含量显著降低。经80 mmol·L⁻¹ NaCl处理后,坪山柚叶片叶绿素a(Chla)、叶绿素b(Chlb)和类胡萝卜素含量分别下降17.9%、39.3%和30.4%;经120 mmol·L⁻¹ NaCl处理后,坪山柚叶片叶绿素a、叶绿素b和类胡萝卜素含量分别下降26.5%、55.7%和49.1%。上述结果表明,叶绿素b和类胡萝卜素对NaCl胁迫敏感,易受较高浓度NaCl胁迫的破坏。120 mmol·L⁻¹ NaCl胁迫下叶片叶绿素与类胡萝卜素含量的比值显著升高,这可能与高浓度NaCl胁迫下类胡萝卜素含量明显减少有关。

表3 NaCl胁迫对坪山柚幼苗叶片氨基酸含量的影响¹⁾
Table 3 Effect of NaCl stress on amino acid content in leaf of *Citrus grandis* 'Pingshanyou' seedling¹⁾

NaCl 浓度/ mmol·L ⁻¹ Conc. of NaCl	不同胁迫时间的氨基酸含量/mg·g ⁻¹ Amino acid content under different time of stress			
	0 d	10 d	20 d	30 d
0	1.21a	1.36ab	1.41a	1.56a
20	1.44a	1.32ab	1.11ab	1.18ab
40	1.39a	1.45a	1.17ab	0.92b
80	1.33a	1.13b	0.85b	0.66b
120	1.46a	0.98b	0.74b	0.43b

¹⁾ 每列不同的小写字母表示 P < 0.05 差异显著水平 The different letters in each row indicate the significant difference at P < 0.05.

表4 NaCl胁迫对坪山柚幼苗叶片光合色素含量的影响(胁迫30 d)¹⁾
Table 4 Effect of NaCl stress on the content of photosynthetic pigments in leaf of *Citrus grandis* 'Pingshanyou' seedling (stressed for 30 d)¹⁾

NaCl 浓度/ mmol·L ⁻¹ Conc. of NaCl	含量/μg·cm ⁻² Content				Chl/Car
	Chl(a+b)	Chla	Chlb	Car	
0	64.00a	43.36a	20.64a	10.27a	6.23b
20	62.94a	43.02a	19.92a	9.86ab	6.38b
40	57.18ab	40.81ab	16.37ab	9.34ab	6.12b
80	48.12b	35.59b	12.53b	7.15b	6.73b
120	41.01b	31.86b	9.15b	5.23b	7.80a

¹⁾ Chl(a+b): 叶绿素 Chlorophyll; Chla: 叶绿素 a Chlorophyll a; Chlb: 叶绿素 b Chlorophyll b; Car: 类胡萝卜素 Carotenoid. 每列不同的小写字母表示 P < 0.05 差异显著水平 The different letters in each row indicate the significant difference at P < 0.05.

2.6 NaCl胁迫对坪山柚幼苗根系活力的影响

不同浓度NaCl处理对坪山柚幼苗根系活力的影响不同(见图1)。NaCl胁迫10 d,各浓度NaCl处

理对坪山柚根系活力的影响不明显;经40、80和120 mmol·L⁻¹ NaCl处理20或30 d,根系活力降幅较大;120 mmol·L⁻¹ NaCl处理20或30 d,坪山柚幼苗根系活力分别下降35.3%和58.2%。

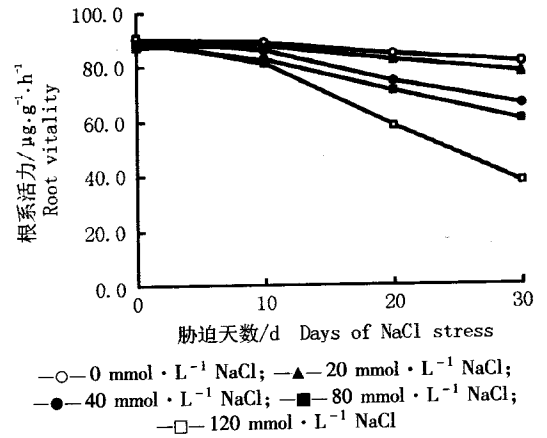


图1 不同浓度NaCl胁迫对坪山柚幼苗根系活力的影响
Fig. 1 Effect of NaCl stress on root vitality of *Citrus grandis* 'Pingshanyou' seedling

3 讨论

盐胁迫影响植物的各种生理过程,细胞膜系统是植物受盐害的主要部位^[14]。MDA作为膜脂过氧化的重要产物,其含量与质膜相对透性具有相关性,是植物受伤害程度的指标之一,一般说来,MDA含量越高,表示植株受伤害程度越大^[15]。实验结果表明,120 mmol·L⁻¹ NaCl胁迫10 d及80 mmol·L⁻¹ NaCl胁迫20 d,坪山柚叶片大分子渗漏值和MDA含量显著增加,叶片RWC显著下降,这种变化早于外部可见的伤害症状(不同浓度NaCl胁迫10 d,坪山柚叶片无明显受害症状)。

NaCl直接作用于根系,因而对根系活力必然产生直接的影响。汪贵斌等^[16]研究表明,0.1% NaCl处理下,银杏(*Ginkgo biloba* L.)根系活力变化小;但在0.2%和0.3% NaCl处理下,银杏各品种根系活力明显下降。本研究中,40 mmol·L⁻¹ NaCl胁迫20 d,坪山柚根系活力即明显降低;80和120 mmol·L⁻¹ NaCl胁迫下,柚根系活力继续下降;120 mmol·L⁻¹ NaCl胁迫下,坪山柚根系活力最低。表明根系比地上部叶片对NaCl胁迫更敏感,根系活力降低也是坪山柚植株受NaCl胁迫后最早出现的伤害反应。在正常情况下,植物通过根系分泌H⁺、有机酸等,在根表面进行微环境的pH值调节,但当环

境胁迫强度超过根的调节能力时,进行体内的pH值调节。研究表明,随NaCl浓度增加,坪山柚幼苗地上部及根部 Na^+ 和 Cl^- 含量明显增加, K^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 含量降低^[8,17],因此,坪山柚叶片细胞汁液pH值的降低可能与根系大量吸收 Na^+ 和 Cl^- 而使地上部 K^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 等碱性离子含量下降有关。

盐胁迫下细胞可通过积累小分子有机溶质如脯氨酸、可溶性糖、甜菜碱等来维持细胞渗透势的平衡,但本实验中坪山柚幼苗经较高浓度NaCl胁迫达一定时间(10 d以上),氨基酸总量下降,这可能是根系活力下降,根系吸收矿质营养的能力降低,造成合成氨基酸的底物缺乏所致。

光合作用作为植物最重要的生命活动之一,是植物合成有机物和获得能量的根本途径。类胡萝卜素既是植物的光合色素又是重要的抗氧化物质,在吸收光能、保护叶绿素和猝灭活性氧方面起着重要作用。有研究表明,盐胁迫能导致叶片光合色素降解,净光合速率降低^[4,18],且随NaCl处理时间的增加,叶片中叶绿素含量下降的幅度与品种的耐盐性呈负相关^[19]。本实验结果表明,NaCl胁迫导致坪山柚叶片光合色素含量下降,经80或120 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl胁迫30 d,坪山柚叶片叶绿素b和类胡萝卜素含量大幅度下降,表明叶绿素b和类胡萝卜素对NaCl胁迫的敏感性较叶绿素a强,从而易受NaCl胁迫的影响。坪山柚叶片光合色素含量的下降可能与捕光色素蛋白复合体受损伤和色素降解加快有关,同时也与活性氧的伤害有关。

参考文献:

- [1] 廖祥儒,贺普超,万怡震. 盐胁迫对葡萄新梢叶片的伤害作用[J]. 果树科学, 1996, 13(4): 211-214.
- [2] 姜卫兵,马凯,朱建华. 多效唑提高草莓耐盐性的效应[J]. 江苏农业学报, 1992, 8(4): 13-17.
- [3] 廖祥儒,贺普超. 盐胁迫对葡萄叶片 H_2O_2 清除系统的影响[J]. 园艺学报, 1996, 23(4): 389-391.
- [4] 廖祥儒,贺普超,朱新产. 盐渍对葡萄光合色素含量的影响[J]. 园艺学报, 1996, 23(3): 300-302.

- [5] 汪良驹,王业遵,刘友良. 盐逆境中叶片蛋白质合成与脱落酸及脯氨酸积累的关系[J]. 江苏农业学报, 1991, 7(1): 38-44.
- [6] 陈竹生,聂华堂,计玉,等. 柑桔种质的耐盐性鉴定[J]. 园艺学报, 1992, 19(4): 289-295.
- [7] 马翠兰,刘星辉,杜志坚. 盐胁迫对柚、福橘种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2003, 32(3): 320-324.
- [8] 马翠兰,刘星辉,陈素英. NaCl胁迫对坪山柚、福橘实生苗矿质营养吸收特性的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2004, 13(4): 11-14.
- [9] 马翠兰,刘星辉. 盐对柚幼苗胁迫效应分析[J]. 热带作物学报, 2004, 25(1): 28-31.
- [10] 华东师范大学生物系植物生理教研组. 植物生理学实验指导[M]. 上海:人民教育出版社, 1980. 2-3.
- [11] 赵世杰,许长成,邹琦,等. 植物组织中丙二醛测定方法的改进[J]. 植物生理学通讯, 1994, 30(3): 207-210.
- [12] 沈曾佑. 根系活力的测定[A]. 张志良. 植物生理学实验指导(第二版)[M]. 北京:高等教育出版社, 1990. 59-62.
- [13] 马翠兰,李舒婕,郝涌泉,等. 枇杷叶片越冬期光合色素及矿质营养含量的变化[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2004, 33(3): 326-329.
- [14] 刘友良,汪良驹. 植物对盐胁迫的反应和耐盐性[A]. 余叔文,汤章城. 植物生理与分子生物学(第二版)[M]. 北京:中国科学技术出版社, 1998. 752-769.
- [15] 何开跃,李晓储,黄利斌,等. 干旱胁迫对木兰科5树种生理生化指标的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2004, 13(4): 20-23.
- [16] 汪贵斌,曹福亮,张往祥. 银杏品种耐盐能力的研究[J]. 林业科学, 2003, 39(5): 168-172.
- [17] 马翠兰,刘星辉,王湘平. 盐胁迫下柚实生苗生长、矿质营养及离子吸收特性研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(3): 319-323.
- [18] Romero-Aranda R, Syvertsen J P. The influence of foliar-applied urea nitrogen and saline solution on net gas exchange of citrus leaves[J]. J Amer Soc Hort, 1996, 121(3): 501-506.
- [19] 王连君,皇甫淳,王铭,等. 盐碱胁迫下山葡萄的叶绿素含量与耐盐性关系的研究[J]. 葡萄栽培与酿酒, 1995(4): 1-3.

(责任编辑:惠红)